

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра агрометеорології та
агроекології

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **Оцінка продукційного процесу картоплі в умовах зміни**
клімату в Західному Лісостепу

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

Освітня програма Агрометеорологія
(назва)

Дроздова Поліна Олександрівна
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

Керівник к.геогр.н., доцент

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

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

Рецензент к. геогр. н., доцент

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

Одеса 2018 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

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

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

Дроздовій Поліні Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оцінка продукційного процесу картоплі в умовах зміни клімату в Західному Лісостепу

керівник роботи Свидерська Світлана Михайлівна, к.геогр.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Строк подання студентом роботи 10 грудня 2018 року

3. Вихідні дані до роботи: 1. Агрокліматичні дані по Лісостеповій зоні України за 1986-2005 рр.;

2. Кліматичні умови періоду за сценаріями змін клімату А2 та А1В; – кліматичні умови періоду + збільшення CO₂ в атмосфері;

3. Програма динамічної моделі формування урожайності сільськогосподарських культур.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Описати біологічні особливості картоплі по відношенню до навколишнього середовища; 2. Надати фізико-географічний опис Західного Лісостепу; 3. Розглянути сучасний стан моделювання та прогнозування урожайності картоплі; 4. Описати динамічну модель формування урожайності; 5. Оцінити зміну фотосинтетичної продуктивності картоплі в умовах зміни клімату

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

1. Графіки динаміки площі листя, чистої продуктивності фотосинтезу, приростів рослинної маси, загальної біомаси та маси бульб.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	завдання прийняв
	Немає		

7. Дата видачі завдання 29 жовтня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання. Ознайомлення з літературними джерелами. Збір даних для виконання роботи. Вивчити фізико-географічні умови Західного Лісостепу	29.10.2018 р.- 4.11.2018 р.	90	5(відмінно)
2	Описати агрокліматичні умови вегетації культур картоплі	5.11.2018 р. - 8.11.2018 р.	90	5(відмінно)
3	Описати біологічні особливості картоплі та основні сорти картоплі	9.11.2018 р. - 14.11.2018 р.	90	5(відмінно)
4	Описати динамічну модель формування урожайності	15.11.2018 р.- 18.11.2018 р.	90	5(відмінно)
	Рубіжна атестація	19.11.2018 р.- 24.11.2018 р.	90	5(відмінно)
5	Оцінити зміну фотосинтетичної продуктивності картоплі при зміні кліматичних умов за сценаріями	25.11.2018 р. - 2.12.2018 р.	90	5(відмінно)
6	Опис отриманих результатів	3.12.2018 р. - 6.12.2018 р.	90	5(відмінно)
7	Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи.	7.12.2018 р. - 10.12.2018 р.	90	5(відмінно)
8	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.	13.12.2018 р.	90	5(відмінно)
9	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту	-		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	-	90,0	

Студентка _____ Дроздова П.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Свидерська С.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дроздова П.О. Оцінка продукційного процесу картоплі в умовах зміни клімату в Західному Лісостепу

Актуальність теми зумовлена тим, що в умовах зміни клімату через зростання потепління важливим чинником підвищення ефективності сільського господарства України є науково обґрунтоване розміщення посівних площ сільськогосподарських культур з врахуванням кліматичних змін, адаптації рослинництва до цих змін. Культура картоплі є важливою продовольчою культурою, вона вважається «другим хлібом». Картопля має значення і як технічна культура. Вона використовується на виробництво крохмалю, декстрину, патоки, глюкози, спирту. Висока екологічна пластичність сприяє широкому поширенню цієї культури в Україні, але основні посіви сконцентровані в Лісостеповій та Поліській зонах. В умовах зміни клімату проблема розміщення посадок картоплі з врахуванням умов вирощування набуває особливого значення.

Метою дослідження є моделювання впливу змін клімату на фотосинтетичну продуктивність картоплі в Західному Лісостепу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішувались наступні завдання:

1. Вивчити фізико-географічні умови Західного Лісостепу;
2. Описати агрокліматичні умови вегетації с.-х. культур;
3. Описати біологічні особливості картоплі по відношенню до факторів навколишнього середовища, сорти картоплі;
4. Виконати аналіз сучасного стану моделювання і прогнозування урожайності картоплі;
5. Описати динамічні моделі формування урожайності картоплі;
6. Оцінити зміну фотосинтетичної продуктивності картоплі в умовах зміни клімату.

Об'єкт дослідження – агрокліматичні умови формування урожайності картоплі.

Предмет дослідження – оцінка впливу змін клімату на продуктивність картоплі в Західному Лісостепу України.

Методи дослідження – метод математичного моделювання продукційного процесу рослин.

Обсяг роботи – 89 сторінок, 5 рисунків, 6 таблиць. Магістерська робота містить 4 основних розділів, висновок, список використаної літератури.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: погодні умови, картопля, сорти, фотосинтетична продуктивність, урожай, агрокліматичні умови, базова модель, бульби.

SUMMARY

Drozdova P. A. Estimation of process of products of potato in the conditions of change of climate in Western to Forest-steppe

Actuality of theme is predefined by that in the conditions of change of climate through the increase of rise in temperature of increase of efficiency of agriculture of Ukraine an important factor is placing of sowing areas of agricultural cultures taking into account climatic changes, adaptation of plant-grower to these changes. A culture of potato is an important food culture, she is by the "second bread". A potato matters and as an industrial crop. She is used on the production of starch, dextrin, treacle, glucose, alcohol. High ecological plasticity assists wide distribution of this culture in Ukraine, but the basic sowing is concentrated in the Forest-steppe and Polesye areas. In the conditions of change of climate the problem of placing of landings of potato taking into account the terms of growing takes on the special significance.

A research purpose is a design of influence of changes of climate on the photosynthetic productivity of potato in Western to Forest-steppe.

For achievement of the put purpose it is necessary next tasks decided:

1. To learn the geografical terms of Western Forest-steppe;
2. To describe the agroclimatic terms of vegetation of agricultures;
3. To describe the biological features of potato in relation to the factors of environment, sorts of potato;
4. To execute the analysis of the modern state of design and prognostication of the productivity of potato;
5. To describe the dynamic models of forming of the productivity of potato;
6. To estimate the change of the photosynthetic productivity of potato in the conditions of change of climate.

A research object is agroclimatic terms of forming of the productivity of potato.

The article of research is an estimation of influence of changes of climate on the productivity of potato in Western to Forest-steppe of Ukraine.

Research methods are a method of mathematical design of production process of plants.

Volume of work - 89 pages, 5 figures, 6 tables. Master's degree work contains 4 basic divisions, conclusion, list of the used literature.

KEY WORDS: weather terms, potato, sorts, photosynthetic productivity, harvest, agroclimatic terms, base model, tubers.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КАРТОПЛІ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	10
1.1 Ботанічна характеристика картоплі.....	11
1.2 Відношення картоплі до температури.....	12
1.3 Відношення картоплі до світла та вологи.....	14
1.4 Вимоги картоплі до ґрунту та елементів мінерального живлення....	17
1.5 Сорти картоплі.....	24
2 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ.....	27
2.1 Особливості біогеографічного розташування Лісостепової зони України.....	27
2.2 Рельєф та ґрунти Лісостепової зони України.....	29
2.3 Річкова мережа Лісостепової зони України.....	31
2.4 Клімат Лісостепової зони України.....	32
2.5 Природно-заповідний фонд та геологія Лісостепу України.....	33
3 СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ Й ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ.....	34
3.1 Базова динамічна модель формування урожаю сільськогосподарських культур. Концепція моделювання.....	41
3.2 Моделювання радіаційного та теплового режимів рослинного покриву.....	43
3.3 Моделювання водного режиму рослинного покриву.....	46
3.4 Моделювання процесів фотосинтезу, дихання та старіння рослин...	50
3.5 Моделювання мінерального живлення рослин.....	52
3.6 Моделювання росту рослин.....	57
4 ОЦІНКА ПРОДУЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ.....	61

4.1 Оцінка агрокліматичних умов вегетації картоплі.....	69
4.2 Порівняльна характеристика продуктивності картоплі в умовах зміни клімату в Західному Лісостепу.....	75
ВИСНОВКИ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	85

ВСТУП

Сьогодні факт глобального потепління не викликає сумнівів і вважається експериментально доведеним: збільшення глобальної температури повітря та океанів, зменшення площі морського льоду, підвищення рівня Світового океану підтверджено довготривалими інструментальними спостереженнями. Кліматичні зміни, що відбуваються протягом останніх десятиліть, не перестають хвилювати вчених. У зв'язку з тим, активніше розвиваються методи прогнозування глобальних змін клімату та їх можливих наслідків, серед яких на попередній план виступають математичні методи моделювання атмосферних процесів [7].

Клімат у вузькому значенні визначається як статистичний опис з точки зору середніх значень і мінливості відповідних кількісних показників (в більшості випадків, приземної температури, опадів і т. д.) за період часу від декількох місяців до тисяч або мільйонів років, а в більш широкому сенсі – як стан кліматичної системи, що складається з п'яти основних компонентів: атмосфери, гідросфери, кріосфери, земної поверхні та біосфери. Зміна клімату означає статистично значущу варіацію або середнього його стану чи його мінливості, що зберігається протягом тривалого періоду часу (зазвичай десятиліття або більше), і яке може бути викликане внутрішніми природними процесами або зовнішніми впливами, або постійними антропогенними змінами в складі атмосфери або землекористуванні [7].

Зміна клімату внаслідок глобального потепління є однією із проблем XXI століття. Вона характеризується різними проявами, серед яких провідними є зміна частоти та інтенсивності кліматичних аномалій та екстремальних (небезпечних) погодних явищ. За прогнозами провідних вчених та спеціалістів у найближчі десятиріччя зміни клімату за своїми розмірами та інтенсивністю будуть переважати ті тенденції, які спостерігались в останнє десятиріччя [33].

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

Для прогнозів можливих змін клімату міжнародною спільнотою розроблена ціла низка сценаріїв [4].

Сценарії являють собою альтернативні прогнози можливого розвитку подій у майбутньому, вони також є слушним засобом для аналізу того, яким чином визначальні фактори можуть впливати на показники майбутніх викидів, а також оцінки пов'язаних з ними. Вони сприяють аналізу змін клімату, включаючи моделювання клімату та оцінку наслідків, адаптацію та пом'якшення наслідків [4,12,17].

В умовах зміни клімату через зростання потепління важливим чинником підвищення ефективності сільського господарства України є науковообґрунтоване розміщення посівних площ сільськогосподарських культур з врахуванням кліматичних змін, адаптації рослинництва до цих змін, що дозволить найбільш ефективно використовувати природні ресурси в

нових кліматичних умовах, добиватися стійкого зростання величини і якості врожаю, підвищувати віддачу сировинних, енергетичних і трудових ресурсів.

Для оцінки можливих змін клімату було використано 3 сценарії: «м'який» – GFDL - 30 % – це сценарій з альтернативним кількісним визначенням збільшення викидів CO₂ в атмосферу на 30 % [4]. (Так званий еквівалент CO₂ – це показник, що визначає рівень впливу окремих парникових газів на глобальне потепління, перерахований на одиницю концентрації CO₂, яка б мала подібний ефект.) [12], «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 використовують аналогічні припущення стосовно визначальних факторів [4,12,17].

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 даній магістерській роботі ми будемо надавати оцінку впливу зміни клімату на продуктивність картоплі в Західному Лісостепу. Тенденції зміни агрокліматичних ресурсів розглядались нами у розрізі основних агрокліматичних зон за різні проміжки часу. Для оцінки змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату було використано результати побудови сценаріїв зміни клімату A1B і A2.

Для дослідження впливу кліматичних змін на темпи розвитку та формування продуктивності картоплі в Україні на фоні зміни кліматичних умов нами розглядались такі варіанти: – базовий; – кліматичні умови періоду за сценаріями змін клімату A2 та A1B; – кліматичні умови періоду + збільшення CO₂ в атмосфері. За періоди: 1986–2005 рр. (прийнятий як базовий період), 2011–2030 рр. (перший розрахунковий період); 2031–2050 рр. (другий розрахунковий період).

1 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КАРТОПЛІ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Картопля має значення і як технічна культура. Вона використовується на виробництво крохмалю, декстрину, патоки, глюкози, спирту.

Батьківщиною картоплі є Південна і Центральна Америка, на території якої ще 14 тис. років тому почали її культивувати. Найбільшого ж поширення на Земній кулі набули два види - андійський (*Solanum andigenum*) і європейський, або чилійський, (*Solanum tuberosum*). До останнього виду картоплі належать всі вітчизняні сорти.

Світові площі цієї культури складають близько 23 млн. га. В Україні основні посіви сконцентровані в Лісостеповій та Поліській зонах. Середня врожайність бульб становить 150-200 ц/га. На Тернопільщині щорічно висаджується 50-70 тис. га картоплі.

Широке поширення картоплі в світі свідчить про його високу екологічну пластичність. Картопля - культура досить широких температур; чим більше температура середовища росту картоплі відрізняється від температури батьківщини картоплі, тим більше знижується його врожайність. За агрометеорологічною класифікацією він відноситься до культур помірного, вологого клімату і пухких ґрунтів [24].

На батьківщині культурної картоплі Чилі, вона обробляється в перебігу багатьох тисячоліть в умовах рясного зволоження (до 3000 мм), при середніх добових температурах до 15-16 °С, тривалості дня 12-15 годин, вкрай рідкісних заморозків в період вегетації і відносній вологості повітря більше 75 %. Отже, картопля в філогенезі пристосувалася до знижених температур, рясного зволоження і середній довжині дня [10].

1.1 Ботанічна характеристика картоплі

Картопля (*Solanum tuberosum* L.) багаторічна рослина родини пасльонових (*Solanaceae*). В умовах помірного клімату вирощується як однорічна культура.

Коренева система може бути мичкуватою або стрижневою. Під час розмноження картоплі бульбами формується мичкувата коренева система, а насінням - стрижнева. Корені проникають у ґрунт на глибину 1,5 м.

Стебло прямостояче висотою від 0,5 до 1,5 м, галузиться, ребристе. Картопля утворює кущ з 4-8 стебел. З видозмінених підземних пагонів (столонів) утворюються бульби.

Поверхня бульби вкрита вторинною покривною тканиною - корком, на поверхні якого багато невеликих отворів, так званих сочевичок, і вічок. Кожне вічко має три-чотири і більше бруньок [2].

У бульбі розрізняють верхівку, яка є кінцем, що росте, протилежну частину - пуповидний, або столонний кінець. Розрізняють також верхній більш опуклий і нижній плоскіший боки бульби.

Форма бульб буває різною - видовженою, овальною, округлою та ін. Забарвлення - біле, жовте, рожеве, червоне, синє. М'якуш - білий, жовтий, червоний, синій. Форма бульби та її забарвлення, поряд з іншими характеристиками, є сортовими ознаками культури.

На використанні бульб та їх частин, як садивного матеріалу, ґрунтується вегетативне розмноження картоплі.

Листки картоплі черешкові переривчасто-пірчасто-розсічені. В їх будові виділяють долі, дольки і долечки. Особливості будови листка є характерною ознакою кожного сорту картоплі.

Квітки картоплі п'ятірного типу samozapiľni, зібрані в суцвіття завиток. Забарвлення пелюсток різне - від білого до фіолетового та рожевого.

Плід - м'ясиста багатонасінна ягода. Насіння дрібне, плескате. Маса 1000 насінин близько 0,5 г.

Основними фазами росту картоплі є: садіння, сходи, утворення бокових пагонів, поява суцвіть, цвітіння, кінець цвітіння, в'янення бадилля.

1.2 Відношення картоплі до температури

В умовах достатньої вологості при проростанні бульб коренева система розвивається вже при температурі ґрунту 2 – 4 °С. Ріст пагонів починається при 6 – 7 °С. Якщо температура ґрунту на глибині загортання бульб (6-12 см) нижче цієї межі, їх проростання йде повільно, у зв'язку з чим посилюється ураження рослин ризоктоніозом, чорною ніжкою та іншими хворобами, що призводить іноді до загибелі рослин. Від температури ґрунту залежить не тільки початок зростання паростків, а й поява сходів [19].

Рослина картоплі досить чутлива до дії негативних температур. Сходи пошкоджуються і частково гинуть при температурі -1,5;-2,0 °С. При поступовому зниженні температури в рослинах збільшується вміст цукру, що підвищує їх стійкість до заморозків до -2,0;-3,0 °С. Цьому ж сприяє внесення під картоплю підвищених доз калійних добрив, а також і її розвиток в умовах зниженої вологості повітря. Пошкоджені заморозками сходи мають високу регенерацію. Ефективна підгодівля таких посівів азотними добривами (40-60 кг/га діючої речовини).

Бульби картоплі гинуть від заморозків інтенсивністю до -6,0 °С, але в певних умовах вони здатні переохолоджуватися і переносити без шкоди температури до -7,0 °С.

До теперішнього часу накопичилася значна кількість даних, що вказують на порівняно високі вимоги бульб до температури в процесі зростання. Встановлено, що бульби, пройшли період спокою і висаджені у ґрунт, починають проростати при температурі не нижче 3,0-5,0 °С. Але при цих температурах корені утворюються слабо, а бульби легко уражуються грибними хворобами. При збереженні на протязі тривалого часу температури на такому рівні нерідко замість проростків у материнській бульбі передчасно

утворюються stolони, з великою кількістю молодих бульб, тобто відбувається виростання бульб [5].

Нормальне виростання бульб відзначається при збільшенні температури до 7,0-8,0 °C. У міру подальшого підвищення температури активність виростання бульб картоплі, особливо у вологому ґрунті, різко збільшується.

Краща температура для проростання бульб 18-20 °C. Сходи в цьому випадку з'являються на 10-12 день після посадки, в той час як при стійкому падінні температури нижче 7,0 °C сходи нерідко з'являються через 30-35 днів і навіть через 50 днів [26].

Знижені температури також негативно впливають на ріст рослини картоплі. Так, наростання вегетативної маси майже повністю припиняється при температурі нижче 7 °C, а фотосинтез, хоча і триває аж до заморозків, відбувається дуже повільно.

Менш небезпечні знижені температури на початку вегетації, так як у молодому віці рослини картоплі мають гарну регенераційну здатність.

Бадилля картоплі (листя і стебла) при вирощуванні його на помірно вологих ґрунтах краще розвиваються при температурі повітря 18 -25 °C. У таких умовах асиміляція двоокису вуглецю і утворення вуглеводів також відбувається найбільш інтенсивно. При температурі повітря 40 – 41 °C фотосинтез повністю припиняється [10]. Для ранніх сортів картоплі найбільш сприятливою для утворення бульб являється температура 17 °C, для середньостиглих сортів 19 °C.

Рівень оптимальних температур для утворення бульб змінюється і ці зміни в певних межах залежать не тільки від скоростиглості сорту, а й від комплексу зовнішніх умов.

Високі температури гнітюче діють на утворення бульб картоплі. Невельми сприятливо такі температури впливають на ранні сорти. При вирощуванні картоплі на протязі 2-х місяців при різних температурах і однакових інших умовах відзначено повне припинення утворення бульб у

варіантах з температурою ґрунту 29 °С. У цих дослідях різке гальмування процесу утворення бульб відзначено вже при температурі ґрунту вище 20 °С.

Як встановлено експериментально [10], рівень температури, крім безпосереднього впливу, має велике значення для ферментативних перетворень вуглеводів, що забезпечують накопичення крохмалю в бульбах.

Недостатня температура повітря і ґрунту також негативно позначається на фотосинтетичній діяльності рослин і засвоєнні ними найважливіших елементів живлення. При зниженні температури ґрунту в орному горизонті з 15-20 °С до 10 – 14 °С істотно зменшується поглинання нітратів (на 20-60 %) і фосфорної кислоти (на 19-33 %), внаслідок чого бадилля розвивається слабо [19].

Високі температури в поєднанні з довгим днем викликають «кліматичне виродження» картоплі [34]. Особливо несприятливо діють підвищені температури в нічний час доби. «Кліматичне виродження» картоплі починається при середній температурі повітря в період утворення бульб, що перевищує 18 °С. При середній добовій температурі від 19 до 21 °С число дуже тонких і ниткоподібних паростків на бульбах картоплі збільшується і доходить до 20 %. При температурі 24 °С виродження бульб досягає 50 % і більше. При температурі вище 25 °С спостерігається виродження 70 % рослин і більше.

1.3 Відношення картоплі до світла і вологи

Рослина картоплі пред'являє високі вимоги до умов освітленості, вона дуже світлолюбна. Навіть при невеликому ослабленні освітлення спостерігається пожовтіння бадилля, ослаблення або відсутність цвітіння, зниження врожайності [10]. Експериментами з штучним затемненням посадок встановлено, що освітленість вважається недостатньою, якщо вона знижується у порівнянні з природною на 33 %. При освітленості, відповідної приблизно 30 % природної, відзначено зменшення сухої маси рослин на 38%.

При цьому суха маса стебел збільшувалася на 57 %, а суха маса бульб знизилася на 80 % у результаті чого співвідношення бульби - бадилля різко зменшилося.

За характером фотоперіодичної реакції, картопля віднесена до нейтральних рослин, тобто до таких, які здатні проходити цикл індивідуального розвитку при будь-якій довжині дня. У зв'язку з тим, що у культурних сортів картоплі при короткому дні утворення бульб прискорюється, а цвітіння при цьому затримується, деякі дослідники відносять її до рослин короткого дня.

В даний час вважається, що всі сорти культурної картоплі здатні зав'язувати бульби і утворювати зачатки квіток при будь-якої тривалості світлового дня, але при короткому дні в температурних умовах середніх широт прискорюється процес утворення бульб і скорочується тривалість вегетаційного періоду. У таких умовах раніше закінчується ріст стебла, раніше утворюються бульби, але рослини також раніше і відмирають [10].

На ранніх етапах утворення бульб, за цими ж даними, маса бульб в умовах короткого дня вище, ніж в умовах довгого. Але у зв'язку з тим, що при довгому дні формується більш потужне бадилля, визначальна кількість продуктів фотосинтезу, що використовуються при зростанні бульб, загальний урожай бульб при довгому дні найчастіше виявляється вище, ніж при короткому.

Основним процесом утворення органічних речовин рослинами картоплі є фотосинтез. На частку органічних речовин, що утворюються в процесі фотосинтезу рослин, припадає більше 90% ваги сухих речовин, синтезованих рослинами. При нестачі світла урожай картоплі знижується.

Підвищена вимогливість картоплі до умов освітленості викликає необхідність суворого дотримання оптимальної густоти посадки. В умовах середніх широт потужність світлового потоку у вегетаційний період становить: 55-60 тис. лк в період масових сходів і 41-58 тис. лк в період інтенсивного утворення бульб [24], тобто вона майже в 2 рази підвищує

рівень, при якому в польових умовах спостерігається світлове насичення фотосинтезу і тому не є лімітуючим фактором. Встановлено, що оптимальна освітленість у посівах, що забезпечує максимальну продуктивність фотосинтезу при оптимальних умовах тепло- і вологозабезпеченості, створюється при площі листової поверхні 30-40 тис. м²/га. У таких випадках достатня освітленість рослин забезпечує найбільш повне поглинання сонячної радіації.

Світло і тепло мають значення для розвитку, росту і формування врожаю при наявності достатнього зволоження ґрунту й повітря в період вегетації. Вода входить до складу органічних речовин та бере участь у всіх фізіологічних і біологічних процесах. Завдяки транспірації забезпечується рух водного розчину поживних речовин з кореня в листя.

На різних етапах життєвого циклу рослина картоплі пред'являє різні вимоги до ґрунтової вологи і опадів. Потреба картоплі у волозі визначається біологічними особливостями культури, хімічним складом і значним обсягом надземної маси, а також врожайністю бульб.

Культура картоплі характеризується і як вельми вимоглива до вологості ґрунту і одночасно як стійка до посухи [30]. Високе споживання картоплею вологи на певних етапах онтогенезу значною мірою визначається тим, що коренева система інших рослин. Розвивається коренева система переважно до глибини 60-70 см.

Експериментально доведено, що на початку і в кінці онтогенезу - періоди сівба - сходи і відмирання бадилля - потреба рослин картоплі у волозі незначна. У період від сходів до бутонізації вона дещо збільшується, але продовжує залишатися на порівняно невисокому рівні. Критичним періодом щодо споживання вологи є період від бутонізації до початку в'янення бадилля, тобто період початку та інтенсивного утворення бульб.

Оптимальні умови для накопичення врожаю бульб створюються при безперебійному постачанні рослин вологою, що можливо в тому випадку,

якщо вологість ґрунту в зоні поширення основної маси коренів в цей період підтримується на рівні 70-80 % повної вологоємності [44].

Як зазначає А.Г. Лорх [22, 23], урожай бульб картоплі ранніх сортів визначається опадами червня, середньостиглих - опадами липня і серпня, а пізніх - опадами липня, серпня і вересня.

1.4 Вимоги картоплі до ґрунту та елементів мінерального живлення

Картопля - культура інтенсивна і найкраще для картопляних плантацій створювати агроземи, тобто ґрунти з потужним технологічним горизонтом, властивості якого наведені до оптимальних параметрів засобами меліорації й агротехніки. Дуже добре відзивається на поглиблення технологічного горизонту ґрунту до 60-90 см - це істотно спрощує завдання забезпечення особливо високого врожаю належною кількістю елементів мінерального живлення, тому що при недостатньо потужному технологічному горизонті концентрація ґрунтового розчину виступає обмеженою. Потрібну кількість мінеральних добрив неможливо внести в тонкий технологічний горизонт через те, що концентрація іонів навколо всмоктувальних коренів перевищить припустимий рівень. Крім того при підвищених концентраціях добрив у ґрунті збільшує непродуктивні втрати – вимивання [40].

Картопля висуває підвищені вимоги до ґрунту. Ні в одній іншій культурі величина врожаю і особливо збирання не залежать так сильно від водно-фізичних властивостей ґрунту та рівня його родючості.

Найкраще картопля росте на пухких, добре розпушених ґрунтах. Коренева система картоплі інтенсивно дихає, поглинаючи кисню у 5-10 разів більше, порівняно з іншими рослинами.

Картопля - культура пухких, повітряно- і водопроникних, вологоємних, родючих ґрунтів (піщаних, супіщаних, легко- і середньо суглинкових). Чим менше щільність ґрунту в зоні бульбоутворення і краще постачання кореневої системи киснем, тим вище урожай. Для насичення ґрунту

достатньою кількістю кисню, його потрібно утримувати в досить розпушеному стані з об'ємною масою не більше 1,0-1,2 г/см³. У перезволожених, ущільнених ґрунтах вміст кисню зменшується до 2%, а вміст вуглекислого газу різко збільшується. За таких умов бульби задихаються і загнивають. На ущільнених ґрунтах погано розвиваються столони, картопля формує дрібні, деформовані бульби [31].

Менш придатні для картоплі - легкі, які швидко втрачають вологу піщані ґрунти, важкі суглинки й перезволожені торфовища.

Краще інших рослин переносить підвищену кислотність ґрунту, але найбільш придатні для нього слабокислі ґрунти.

На більш щільних ґрунтах сходи затримуються й у ряді випадків посадкові бульби загнивають. Тому важливо підтримувати ґрунт у пухкому стані протягом усього вегетаційного періоду. У пухких ґрунтах краще проходить газообмін між ґрунтовим і атмосферним повітрям.

Потреба у кисні бульб, що проростають, в багато разів більше, ніж у насінні інших рослин. Нестача кисню в ґрунті може привести до загибелі бульб, які проростають, а в більш пізній період і дорослі рослини.

Картоплю вирощують на удобрених супіщаних і суглинистих чорноземах, дерново-підзолистих, сірих лісових ґрунтах. Для вирощування насіння добре підходять окультурені торфовища. При внесенні високих норм органіки картопля добре родить на легких піщаних ґрунтах. Добрива не можна вносити в піщані ґрунти великими дозами - вони вимиваються. Внесення дрібними дробовими дозами не завжди є повноцінною заміною, тому що без своєчасного дощу такі дози не спрацюють і таке дроблення ускладнює технологію. Оптимальний компроміс для оброблення картоплі на легких ґрунтах - в орієнтації на порівняно менший урожай, але одержуваний з мінімальними витратами праці й засобів. Такий принцип реалізований у суспільному виробництві. Самі великі плантації картоплі розміщуються на легких ґрунтах [28].

Малопридатні для вирощування картоплі важкі глинисті ґрунти, особливо з близьким заляганням ґрунтових вод. Не підходять також засолені ґрунти, оскільки картопля має дуже низьку солестійкість. Найкраще росте на слабокислих і нейтральних ґрунтах. При рН нижче 5,0 і вище 8,0 вона росте погано. Добова потреба в кисні корінь становить близько 1 мг/г сухої речовини. Ще більш високу потребу в кисні потребують столони й ростучі бульби.

Вміст повітря в ґрунті залежить від його шпаруватості та пористості. На добре оброблених структурних ґрунтах шпаруватість становить до 65% об'єму ґрунту.

Шпаруватість значною мірою залежить від щільності ґрунту. Чим ґрунт пухкіше, тим більше його шпаруватість і повітроємність. Для нормального подиху корінь концентрація кисню повинна бути не менш 5 %, для формування й росту бульб - не менш 20 % обсягу ґрунтового повітря [27].

Для росту й розвитку картоплі необхідно підвищена кількість поживних речовин. У складі сухої речовини картоплі налічується 26 різних хімічних елементів. Найбільше потрібні картоплі азот, фосфор, калій, кальцій й магній. Потреба в елементах живлення зростає в міру росту бадилля й досягає максимуму у фазу цвітіння. Картопля відноситься до калієлюбивої культури, на 1 тону бульб він виносить із ґрунту 5 кг азоту, 2 кг P_2O_5 і 9 кг K_2O . З початком відмирання бадилля потреба в елементах живлення поступово зменшується і після його засихання припиняється. У середньому для формування 1 т бульб рослини із ґрунту виносять 5-6 кг азоту, 8-10 кг калію, 1,5-2 кг фосфору, близько 4 кг кальцію і 2 кг магнію.

При низькій агротехніці та невеликому урожаї картопля споживає живильних речовин на одиницю врожаю відносно більше. З поліпшенням умов росту й розвитку, а отже зі збільшенням врожаїв бульб картоплі живильні речовини використовуються ощадливіше. Найбільш інтенсивне споживання мінеральних речовин картоплею припадає на період інтенсивного наростання надземної маси і бульбоутворення.

За зовнішніми ознаками рослини можна судити про нестачу того або іншого елементу живлення.

Головними умовами оптимізації кореневого живлення картоплі є достатня насиченість ґрунту фосфатами, максимальна калієм і мінімальна азотом.

Азот для картоплі особливо важливий навесні, у літній період звичайно вистачає азоту, продукційного ґрунтом, тому мінеральні азотні добрива потрібно вносити ранньою весною, до посадки.

При нестачі в ґрунті азоту підземні органи картоплі розвиваються слабо, листя здобувають блідо - зелене забарвлення й стирчить нагору, знижується врожай і крохмальність бульб. При надлишку азоту спостерігається надмірний ріст бадилля, затримується утворення бульб і подовжується період вегетації. Рослині шкідливі як нестача, так і надлишок азоту. При нормальному азотному харчуванні рослина краще засвоює калій і фосфор.

Достатнє живлення фосфором сприяє кращому розвитку кореневої системи, раніше настає період бульбоутворення, збільшується врожай і крохмальність бульб, поліпшуються їхня легкість і насінні якості. При нестачі фосфору затримується розвиток рослин, особливо цвітіння й дозрівання, сповільнюється ріст пагонів і корінь, листи дрібні й вузькі.

Найбільшої уваги вимагає забезпечення картоплі достатнім запасом легкозасвоюваного калію, тому що він не виносить підвищеного вмісту хлору в ґрунті, але з високим урожаєм вимагає так багато калію, що це не можна внести за один раз, обов'язково потрібні підгодівлі. З обліком викладеного під картоплю з осені необхідно вносити 2/3 загальної необхідної дози калію у вигляді хлористого калію, щоб надлишок хлору вийшов з осінньо-весняними водами, що залишилася калій дають у міжряддя після появи сходів, у безхлорній формі, у вигляді сульфату калію. Калій відіграє важливу роль у процесах фотосинтезу, білкового й вуглеводного обмінах, істотно впливає на врожайність й якість картоплі, підвищує стійкість до

заморозків і хвороб. При нестачі калію листи здобувають бронзове забарвлення, стають зморшкуватими й передчасно відмирають, коренева система розвивається слабкіше, бульби набувають трохи подовжену форму, бувають дрібними.

Для нормального росту й розвитку картоплі й одержання високих урожаїв бульб, необхідні кальцій, магній, залізо, марганець, сірка, мідь, цинк.

Тільки при наявності всіх цих елементів у ґрунті для розвитку картоплі забезпечується його найвища продуктивність [10].

Оптимальна реакція середовища для картоплі - рН 5,5- 6,0, хоча вона здатна краще інших польових культур переносити слабокислу реакцію. Картопля добре озивається на вапнування сильно- і середньокислих ґрунтів помірними нормами вапна. При вапнуванні ґрунту повною нормою - за гідролітичною кислотністю - картопля може сильно заражатися паршою, що знижує його товарні й продовольчі якості. Однак у сівозмінах нечорноземної зони поряд з картоплею вирощують культури, строго вимогливі до нейтральної реакції середовища. Без вапнування кислих ґрунтів неможливо забезпечити одержання стійких високих урожаїв таких культур, як пшениця, ячмінь, конюшина, кукурудза, коренеплоди й т.д. Тому при наявності навіть двох-трьох полів картоплі краща сумарна продуктивність сівозміни досягається при вапнуванні кислих ґрунтів по 2/3-3/4 повної норми за гідролітичної кислотності.

Картопля споживає значно більше живильних речовин, чим зернові культури, але менше, ніж цукровий буряк і кормові коренеплоди.

При високій агротехніці в основній зоні оброблення із урожаєм картоплі на кожні 100 ц бульб і відповідна кількість бадилля виноситься 40-60 кг N, 15-20 кг P₂O₅ й 70-90 кг K₂O.

Картопля володіє слаборозвиненою кореневою системою й у перший період росту погано засвоює важкорозчинні живильні речовини із ґрунту. Це обумовлює підвищену чутливість картоплі на внесення добрив. Поглинання елементів живлення картоплею відбувається протягом усього вегетаційного

періоду, більше швидкими темпами споживання живильних речовин мають ранні сорти. Найбільша кількість живильних речовин поглинається скоростиглими сортами картоплі під час бутонізації й цвітіння, а середньо- і пізньостиглими - у період інтенсивного росту бадилля й початку бульбоутворення. Достатнє забезпечення рослин всіма основними елементами живлення в цей період має виняткове значення для формування врожаю. надлишкове, особливо однобічне, живлення азотом викликає стовбуріння в бадиллі й затримує бульбоутворення. Для утворення бульб використовуються живильні речовини, які надходять у цей період із ґрунту й добрива, так і раніше накопичені в бадиллі. Внаслідок реутилізації живильних речовин до моменту збирання картоплі в бульбах утримується близько 80 % азоту, 90 % фосфору й практично весь калій.

Ефективність добрив залежить від ґрунтово-кліматичних умов, рівня агротехніки й сорту картоплі.

Перше місце по ефективності на дерново-підзолистих ґрунтах, опідзолених і вилужених чорноземах займають азотні добрива. Фосфор на цих ґрунтах нерідко діє сильніше, ніж калій.

На звичайних і потужних чорноземах часто на першому місці по ефективності стоїть фосфор, па другому - азот. Незважаючи на велике споживання картоплею калію, ефективність калійних добрив на більшості ґрунтів слабкіше, ніж азотних, а часто й фосфорних добрив. Потреба в калії збільшується при внесенні високих норм азоту й фосфору. В той же час на заплавних і торф'яних ґрунтах калійні добрива по ефективності займають перше, на піщаних й супіщаних дерново-підзолистих ґрунтах - друге місце після азотних. На цих ґрунтах необхідно вносити більш високі норми калійних добрив навіть при застосуванні гною.

Картопля добре відзивається на внесення гною на всіх ґрунтах, але найбільш високого збільшення врожаю від гною одержують на дерново-підзолистих ґрунтах, особливо піщаних і супіщаних. На потужних чорноземах південних і південно-східних.

Середня норма гною під картоплю на дерново-підзолистих ґрунтах - 30-40 т на 1 га, на чорноземах - 15-20 т на 1 га. Поряд із гноєм під картоплю можна вносити торф'янонавозні, торфожижеві, торфофекальні та інші компости.

Найбільш високі збільшення врожаю картоплі одержують при спільному внесенні гною або компостів з мінералами, насамперед з азотними й азотно-фосфорними добривами.

На тлі високих норм гною (30-40 т і більше на 1 га) на добре окультурених ґрунтах можна обмежитися внесенням тільки азотних або азотно-фосфорних добрив. Якщо гній під картоплю не вносять, то необхідно застосовувати повне мінеральне добриво в підвищених кількостях.

Ранні сорти картоплі характеризуються більше інтенсивним споживанням живильних речовин і сильніше реагують на добриво. Тому норми мінеральних добрив на тлі гною повинні бути вище під ранні, чим під пізні, сорти картоплі. При цьому особливо важливо вибрати правильне співвідношення між окремими видами добрив. Для одержання ранньої товарної продукції необхідний більш високий рівень фосфорного живлення рослин.

Гній й інші органічні добрива, фосфорні й калійні мінеральні добрива найкраще вносити з осені під зяблеву оранку. Тільки на легких ґрунтах у районах достатнього зволоження весняне внесення добрив дає кращі результати, чим осіннє, що порозумівається вимиванням калію із ґрунту.

Азотні добрива доцільно вносити навесні під переорювання зябу або передпосівну культивуацію. Амонійні й аміачні форми добрив можна застосовувати також з осені.

Велике значення для забезпечення більш сприятливих умов живлення в початковий період росту має локальне внесення добрив у лунки при посадці картоплі. При посадці в гнізда вносять гранульований суперфосфат й аміачну селітру, а також складного й комплексного добрива з розрахунку 20-30 кг буд. в. NPK на 1 га.

На піщаних і супіщаних ґрунтах частина азоту й калію ($1/4 - 1/3$ загальної норми) доцільно перенести в підгодівлю. На інших ґрунтах перенесення частини добрив з основного в підгодівлю, як показують досвіди, викликає зниження ефективності. Тому вносити добрива в підгодівлю картоплі треба тільки, якщо вони не застосовувалися в достатній кількості до посіву. Для підгодівлі картоплі можна використати місцеві добрива - гнойову рідоту (5-10 т на 1 га), пташиний послід (5-8 ц на 1 га), які вносять із негайним закладенням у ґрунт при розпушуванні міжрядь.

Під картоплю рівною мірою застосовують всі форми промислових азотних добрив. На кислих ґрунтах поряд із суперфосфатом як основне добриво можна застосовувати фосфоритне борошно (у полуторних або подвоєних дозах у порівнянні із суперфосфатом), а також інші фосфорні добрива. По своїй дії на врожай картоплі сульфатні й хлористі форми калійних добрив, як при разовому, так і тривалому застосуванні в сівозміні практично рівноцінні. Однак хлористі форми калійних добрив можуть знижувати відносний зміст крохмалю в бульбах картоплі. Внесення хлорвмісних калійних добрив з осені значною мірою усуває шкідливу дію хлору на картоплю (у результаті вимивання хлору із ґрунту з опадами).

Під впливом фосфорних добрив відносний вміст крохмалю в бульбах може підвищуватися, а під впливом азотних - трохи знижуватися. Однак внаслідок збільшення врожаю картоплі при застосуванні добрив валовий збір крохмалю з одиниці площі завжди зростає [2].

1.5 Сорти картоплі

Сорти картоплі підрозділяються по напрямку використання:

- 1) їдальні, або продовольчі;
- 2) промислові, або заводські;
- 3) кормові, або фуражні;

4) універсальні і по строках дозрівання (ранні, або ранньостиглі; середньоранні; середні; середньопізні й пізні).

Сорти столового напрямку (продовольчі) найрізноманітніші по строках дозрівання, від дуже ранніх до пізніх. Така розмаїтість обумовлена повсюдною потребою в продовольчій картоплі, бажанням мати свіжу картоплю якомога раніше влітку й необхідністю закладати на зимове зберігання, для чого краще годиться пізня картопля. На вибір сорту по скоростиглості впливає клімат, у районах з коротким безморозним періодом вимушено обробляються тільки ранні, скоростиглі сорти. Головні вимоги до столових сортів стосуються їхньої форми, стану поверхні (потрібні рівні гладкі бульби із дрібними вічками, зручні для чищення), смакових якостей, відповідності технології готування різних блюд. Селекціонери активно працюють над підвищенням вмісту білка в картоплі, але про успіхи поки не повідомляється. Проблема в тому, що при підвищенні вмісту білка генетичними засобами в картоплі різко погіршуються смакові якості, по консистенції м'якоть стає схожою на мило [49].

Промислові (заводські) сорти виводяться для одержання найбільшого виходу крохмалю. Крохмаль широко застосовується сам і служить сировиною для спирту і синтетичного каучуку. Смакові якості й скоростиглість для столових сортів вважаються другорядними.

Кормові сорти повинні давати найбільшу кількість кормових одиниць, містити більше білка, давати високий урожай у будь-яких погодних умовах. Це істотна відмінність від заводських сортів - кормову картоплю не можна сконцентрувати в районах з підходящим для нього кліматом, де й побудувати завод або фабрику. Худобу треба годувати скрізь, де живуть люди і у будь-яку погоду. Смакові якості й скоростиглість також вважаються другорядними, тому що картопля коштує у вигляді свіжого корму взимку (улітку свіжих кормів вистачає), а смаки тварин не збігаються з людськими. Одержувати ранню картоплю на корм не вигідно економічно, трава виросте раніше.

Універсальні сорти поєднують якості різних напрямків. Звичайно це досить смачні столові сорти з гарною врожайністю. Застосовуються там, де потреба в кормах невелика. Нераціонально вирощувати спеціалізовані кормові сорти.

2 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ

2.1 Особливості біогеографічного розташування Лісостепової зони України

На Південь від Українського Полісся розташована Лісостепова зона, або Лісостеп, який простягається майже на 1100 км від Передкарпаття на Заході до західних відрогів Середньоросійська, височини на сході. Вона охоплює всю центральну частину території України завширшки в середньому 110 км і займає 34 % території України [11].

За особливостями поширення ландшафтів Лісостепова зона України поділяється на чотири провінції: Західноукраїнську, Дністровсько-Дніпровську, Лівобережно-Дніпровську, Середньоросійську. Внаслідок неоднакової висоти поверхні, помітних відмінностей у кліматі, ґрунтах і рослинному світі в різних частинах зони виділяють фізико-географічні провінції: Західноукраїнську - широколистяних лісів; Дністровсько-Дніпровську - лісостепових і лучно-степових височинних ландшафтів; Лівобережно-Дніпровську - лісостепових і лучно-степових низовинних ландшафтів; Середньоросійську - лісостепових височин [8].

Західноукраїнська Лісостепова провінція займає західну частину Лісостепової зони. Охоплює Волинську, значну частину Подільської височини, Мале Полісся, частину Розточчя, Опілля і Хотинську Височину.

Мале Полісся - територія, що розташована між Волинською і Подільською Височинами; Розточчя - горбисте пасмо на кордоні нашої країни з Польщею; Опілля - територія західної частини Подільської височини (опіллями з часів Київської Русі називають безлісі або мало лісисті території з родючими ґрунтами в межах Лісової зони).

Західноукраїнська Лісостепова провінція розташована в Тернопільській, Львівській, Волинській, Рівненській областях. Вона простягається від Передкарпаття і західних кордонів України на Схід, де на поверхню виходять кристалічні породи Українського щита. Вона є найбільш підвищеною провінцією Лісостепової зони [8].

Лісостепова зона - регіон інтенсивного сільськогосподарського і промислового виробництва, великих територіально виробничих комплексів, переважно літніх видів оздоровчої і пізнавальної рекреації.

Середньоросійська Лісостепова провінція (край) своєю більшою частина виходить за межі України. У Харківській та Сумській схилово-височинних фізико-географічних областях переважають полого-хвилясті розчленовані лісостепові межиріччя з чорноземами малогумусними (Північ) і середньогумусними (Південь), ділянками дубових і дубово-липових лісів, різноманітними проявами ерозії [8].

Середньоросійська Лісостепова провінція займає крайню східну частини Лісостепової зони України, охоплює відроги Середньоросійської височини. Поверхня провінції горбиста і дуже розчленована, з висотами 180-185 м. У долинах річок відслонюються крейдові породи. Кліматичні умови суворіші ніж в інших Лісостепових провінціях. Середні температури січня сягають 5–8 °С, липня – 19-20 °С. Середні річні суми опадів 450-500 мм. Поширені сірі лісові ґрунти, чорноземі опідзолені. Переважають дубові та липово-дубові насадження. Основні напрями природокористування - сільськогосподарський, гірничодобувний та рекреаційний.

У межах Середньоросійської провінції виділяють дві фізико-географічні області: Сумську і Харківську - схилово-височинні. У них переважають пологовий-хвилясті розчленовані лісостепові межиріччя и схили з чорноземами малогумусними на Півночі і середньогумусними на Півдні, масивами дубових і дубово-липових лісів, з різноманітними проявами ерозії [18].

2.2 Рельєф та ґрунти Лісостепової зони України

Своєрідність природи Лісостепової зони виражається в складному перемежуванні широколистяно-лісових ландшафтів з опідзоленими ґрунтами та лучно-степових ландшафтів із типовими чорноземами, що розвинулись у схожих кліматичних умовах, за середнього співвідношення опадів і випаровування близького до 0,1. Основне зональне тло створюють широколистяно-лісові ландшафти, які в минулому обіймали великі площі на височинах, а лучні різно-травно-злакові степові ландшафти поступилися місцем сільськогосподарським угіддям. Опідзолені чорноземи й темно-сірі лісові ґрунти сформувалися на правобережжі Дніпра по периферії типових чорноземів, на Придніпровській низовині - на розчленованих правобережжях приток Дніпра, вони містять 3,8 - 6,0 % гумусу. Сірі та світло-сірі лісові ґрунти утворилися на Волинській і Подільській височинах, вершинних поверхнях Придніпровської височини, вздовж річок Псла, Ворскли та ін. На давніх терасах, в широких зниженнях сформувалися лучно-чорноземні ґрунти, в заплавах річок – лучні, дернові та болотні ґрунти. А втім, загальна заболоченість зони незначна – 1,6 %. Лісостепова зона займає територію, на якій переважають височини: із заходу на схід змінюють одна одну Розточчя. Подільська, Волинська, Придніпровська та Середньоросійська височини. Плато-подібні поверхні височин чергуються з горбогір'ями, окраїни височин сильно почленовані ярами і балками. Низовини займають невеликі території на Лівобережжі (Придніпровська низовина). Висоти поверхні коливаються від 100 м до 471 м (гора Камула). Загалом поверхня із заходу та сходу нахилена до Дніпра, абсолютні висоти змінюються від 380 м на Подільській височині і 230 м на Середньоросійській височині до 50 м біля русла Дніпра.

Характерною ознакою краєвиду є високі праві береги річок, сильно розчленовані ярами, і низькі ліві береги з терасами. Заплави річок і низькі тераси нерідко заболочені, вищі тераси займають поля та населені пункти [1].

Різноманітність ландшафтів залежить від контрастів рельєфу, складу покривних порід, історії розвитку території. Тут знаходяться Волинська, Подільська та Придніпровська височини, Придніпровська низовина, західні відроги Середньоросійської височини. Всі вони дуже розчленовані.

Поширеними ґрунтами в Лісостепу є мало- і середньогумусні типові чорноземи, опідзолені чорноземи і темно-сірі ґрунти, сірі та ясно-сірі лісові ґрунти. На терасах Дніпра трапляються солонцюваті ґрунти, солонці та солончаки, в річкових долинах - лучні, дернові та болотні ґрунти.

Чорноземи сформувалися на вододільних поверхнях центральної і Південної частинах Придніпровської височини, на лівобережній терасовій низовинній рівнині. В умовах оптимального співвідношення тепла і вологи в Лісостепу сформувалися різні типи ландшафтів: 1) широколисто-лісові з сірими і темно-сірими лісовими ґрунтами; 2) лісостепові з опідзоленими чорноземами; 3) луко-степові з типовими чорноземами, лучно-чорноземними ґрунтами, суцільно перетвореними в сільськогосподарські угіддя. Для річкових долин, улоговин характерні мішано-лісові та болотні ландшафти, площі яких порівняно невеликі. У Лісостепу ландшафти сформувалися на лесових породах, що легко розмиваються дощовими та сніговими водами.

Оскільки одним з основних несприятливих для господарства природних процесів у Лісостепу є ерозія, для збереження продуктивності сільськогосподарських ландшафтів необхідне регулювання поверхневого стоку, запровадження протиерозійних лісомеліоративних заходів, особливої агротехніки [8].

Західноукраїнська Лісостепова провінція (край) є найбільш підвищеною частиною Лісостепу, а за гідротермічними показниками, переважно за площею ґрунтів має риси ландшафтів широколистяно-лісового типу, серед яких поширені мішано-лісові і лучно-степові ландшафти. Волинська височина – область, яка характеризується перевагою опільських рівнинно-горбистих ландшафтів. Мале Полісся є акумулятивно-

денудаційною рівниною з ландшафтами мішано-лісового та лісостепового типів.

Ростоцько-Опільська горбогірна область вирізняється поєднанням контрастних типів ландшафтів: розчленованих лісостепових, лісових горбогірних, поліських суборових. Західно-подільська височинна область характеризується поширенням вододільних, останцево-горбистих і яружно-балкових ландшафтів. Середньо-подільська височинна область вирізняється структурно-денудаційними горбогірними ландшафтами (Кременецький кряж), вододільними рівнинними, хвилястими, яружно-балковими комплексами (Авратинська височина) та ін. Прут-Дністровській височинній області властиві складні поєднання рівнинно-хвилястих і горбисто-грядових ландшафтів із долинно-терасовими та яружно-балковими комплексами, поширення дубово-букових лісів, розвиток карстових процесів [1].

2.3 Річкова мережа Лісостепової зони України

У Лісостеповій зоні густа річкова мережа. Це - Дніпро, Південний Буг, Дністер із притоками. Всі річки мають долини з асиметричними берегами та повільні течії. У місці перетину твердих порід Українського щита, де виходить граніт, перегороджують русла Південного Бугу і Гірського Тікича, утворюються пороги. Вони мають мішане живлення і найбільш повноводні навесні та у червні. На Дністрі, що починається в горах, нерідко бувають повені і паводки. Судноплавним є Дніпро. У минулі часи судноплавство було можливим і на його лівих притоках, таких, як Сула, Псел, Ворскла. Але через знищення лісів у їх долинах вони сильно обміліли. Праві притоки Дніпра - Рось, Тясмин також маловодні [1]. Лісостепову зону перетинають річки басейнів Дніпра, Сіверського Дінця, Південного і Західного Бугу, Дністра. Весняний стік річок досягає 42 - 60 % річного. Переважають снігове та дощове живлення, частка підземних вод незначна (до 10 %) [1].

Озер у Лісостепу мало. Вони є у заплавах великих лівих приток Дніпра. Численні озера-стариці, які колись були в заплаві самого Дніпра, залиті водами Канівського та Кременчуцького водосховищ. Брак природних водойм компенсується ставками, які створені біля багатьох населених пунктів.

2.4 Клімат Лісостепової зони України

За рік зона отримує 4190 МДж/км^2 сонячної радіації, а річний радіаційний баланс становить $1800\text{-}1850 \text{ МДж/км}^2$. Середня температура липня на північному заході зони 18°C , на півдні підвищується до 22°C ; середня температура січня $-5, -8^\circ\text{C}$, абсолютний мінімум на сході -36°C . Тривалість періоду з середньодобовими температурами від 5 до 15°C становить на заході 100-110 днів, на лівобережжі Дніпра 80-90 днів. Безморозний період триває 190-180 днів на заході і 160-150 на сході. Річна сума опадів зони 550-700 мм, на сході – 450 мм, а випаровуваність - відповідно 550 і 750 мм. Найбільша кількість опадів (65-75 %) - із квітня по вересень. Коефіцієнт зволоження (відношення суми опадів до випаровуваності) змінюється від 2,8 (Львів), 2,0 (Хмельницький) до 1,4 - 1,2 на півдні [1].

У межах Лісостепу простежуються деякі кліматичні відмінності з північного заходу на схід і південний схід. Так, пересічна річна температура повітря у Львові, розміщеному на заході лісостепової зони, становить $7,4^\circ\text{C}$, у Полтаві $6,8^\circ\text{C}$, у Харкові $6,7^\circ\text{C}$. Як бачимо, пересічна річна температура повітря в східному напрямі поступово знижується. Досить помітними є також зміни цього показника між північними і південними частинами зони. У східних районах випадає значно менше опадів (близько 450 мм), ніж у західних (до 750 мм). Вегетаційний період триває 200-210 днів. Із заходу на схід зменшується густота річкової сітки. Пересічний багаторічний річковий стік у межах Лісостепової зони скорочується як у південний, так і у східному напрямках. Серед провінцій Лісостепової зони Захід неукраїнська є найбільш

зволоженою. В середньому за рік тут буває 600-620 мм опадів. Середня температура січня $-4,5^{\circ}\text{C}$, літо помірно тепле, вегетаційний період триває 200-212 днів. У минулому великі площі займали широколисто-лісові ландшафти. За особливостями поширення сучасних ландшафтів Західноукраїнська провінція поділяється на такі фізико-географічні області: Волинську височинну, Мале Полісся, Ростоцько-Опільську горбогірну, Західно-подільську височинну, Середньоподільську височинну, Прут-Дністровську височинну [18].

2.5 Природно-заповідний фонд та геологія Лісостепу України

У межах Лісостепу залягають поклади бурого вугілля (Дніпровський басейн), нафти і природного газу (Дніпровсько-Донецька нафтогазоносна область), природних будівельних матеріалів (гіпс, вапняк, каолін, мергель, пісок). У місцях виходу на поверхню порід Українського щита є родовища мармуру, лабрадоритів, доломітів, графіту, горючих сланців, а у болотах - бурштину.

У Лісостеповій зоні зосереджено багато об'єктів і територій природно-заповідного фонду, зокрема Канівський заповідник. Для збереження цінних об'єктів природи, рідкісних видів рослин і тварин у зоні створено природні національні парки «Подільські Товтри», Яворівський, заповідники - «Розточчя», «Медобори», Канівський. Канівський природний заповідник - один з найдавніших в Україні, який було створено 1923 року. Він охоплює частину яри та пагорби на правому березі Дніпра та дніпровські острови. Важливими об'єктами заповідника є геологічні утворення, грабовий ліс та Чернеча гора (100 м над Дніпром), де було перепоховано Тараса Шевченка. Михайлівська цілина - філія Українського степового заповідника, де оберігається єдина в Україні ділянка лучного степу в межах Лісостепової зони [11].

3 СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ Й ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ

Розробка теорії фотосинтетичної продуктивності посівів сільськогосподарських культур стимулювала інтенсивний розвиток робіт по моделюванню продукційного процесу рослин, серед яких особливий інтерес для практики становлять довгоперіодні динамічні моделі формування урожаю, на основі яких створюються оперативні методи оцінки агрометеорологічних умов росту і розвитку сільськогосподарських культур та прогнозування їхньої урожайності [6,29,43].

Розвиток автоматизованих методів обробки агрометеорологічної інформації (добової та щоденної) зробив можливим створення Автоматизованого робочого місця агрометеоролога – прогнозиста (АРМ–агрометеоролога). Відкрилась можливість наповнення АРМ–агрометеоролога моделями формування продуктивності сільськогосподарських культур для виконання в автоматизованому режимі оперативної кількісної оцінки агрометеорологічних умов вирощування та прогнозування урожайності на основі використання стандартної оперативної агрометеорологічної інформації.

Теоретичною основою цих моделей є базова динамічна модель формування урожаю сільськогосподарських культур А.М. Польового [35,36].

SUBSTOR, імітаційна модель картоплі, яка використовується для вирощування картоплі в Чеській Республіці. За допомогою моделі SUBSTOR були проведені дослідження, які були зосереджені на оцінці імітаційної моделі SUBSTOR, та її використанні в картоплярстві Чеської Республіці [48].

Експериментальне дослідницьке поле, яке використовувалося для оцінки моделі, було розташоване в Південній Моравії, на висоті 179 метрів над рівнем моря. Вихід бульб служив як еталон для оцінки моделей. Дев'ять років експериментальні дані (1994 – 2002 рр.) використовувалися для

перевірки моделей. Ранньостиглі сорти картоплі Rosara, Карін приймали участь в експерименті. Порівняння між даними, що спостерігалися і змодельованими даними врожайності бульб картоплі представлено процесом оцінки моделі картоплі SUBSTOR. Урожайність бульб картоплі, які були змодельовані за допомогою моделі показали високу точність ($R^2 = 0,97$) для сорту Rosara, але тільки для чотирьох з протестованих років (1997, 1998, 1999 і 2002). Сорту Карін відповідає менше значення ($R^2 = 0,43$). Модель, як правило, недооцінює урожай бульб картоплі при несприятливих умовах (тобто сухі роки - низька кількість опадів і нерівномірний їх розподіл в період вегетації або висока середня температура повітря) і все це в моделі показало чутливість до обраних сортів. Дослідження імітаційної моделі картоплі SUBSTOR виявилися придатними для використання її при вирощуванні картоплі, однак, потенційні відмінності можна було б очікувати при використанні моделі в екстремальних погодних умовах [43].

В імітаційній моделі для росту солодкої картоплі зростання врожаю було розділено на три етапи, тобто, на першому етапі від посадки до утворювання бульб, середній етап з початку утворювання бульб до закінчення утворення бульб і заключний етап з початку утворення бульб до збору врожаю [29]. Темпи зростання були розроблені для всіх фаз. Ріст листя передбачалося, що буде пов'язаний з тривалістю життя окремих листків. Середня площа листя була в зворотній залежності від кількості листя. Був розроблений новий алгоритм прогнозування. Сонячна радіація і фотосинтез були розраховані з використанням стандартних методів. Частина фотосинтезу, була використана для забезпечення енергією та для підтримання процесів росту. Решта була виділена на листя, стебла і бульби пропорційно їх швидкості зростання. Модель передбачає, що в більшості випадків врожаї відповідали спостережуваним значенням. Прогнозування кількості бульб було також досить точним. Проте, передбачення кількості листя значно відхиляється від спостережуваного значення.

В математичній моделі процесів росту рослин на прикладі картоплі, розглядаються основні кількісні характеристики процесів росту та підтримання стійкості врожаїв культурних рослин. Побудована математична модель росту ваги рослин картоплі та оцінки врожаїв при впливі регуляторів росту та збудників інфекційних хвороб. Модель дає можливість імітувати процес росту рослини й оцінити вплив екологічних факторів на урожай. Основними факторами, які впливають на ріст рослин картоплі, в моделі обрано наявність регуляторів росту та інфекційних агентів, які здатні вражати рослинний організм. Регулятори росту не лише підвищують урожайність рослин, а також підвищують стійкість проти хвороб. Показано, що стійкість рослин підвищується завдяки збільшенню енергії проростання бульб, наростанню площі листової поверхні, інтенсивному бульбоутворенню [43].

Великий інтерес представляють дослідження по аналізу змін серед сортів картоплі з точки зору поглинання світла та використання світла. Розглядається ріст і формування урожаю п'яти сортів картоплі, за якими спостерігали два роки. Різницю в урожайності було проаналізовано з точки зору поглинання світла, ефективності використання світла та сухого розділення матерії. Ранні сорти були виділені вже на ранній стадії, вони оброблялися струмом і більшу частину струму засвоюють бульби, тобто починається ріст бульб. Однак, це викликає раннє старіння листя. В результаті ранні сорти менше поглинали світло та мали більшу масу бульб. Процедура аналізу зростання формулюється як проста модель росту сільськогосподарських культур. Щодня темпи росту розраховуються від падаючого світла та середньої ефективності використання світла [32].

Виснаження водних ресурсів і збільшення потреби в їжі вимагає більшої ефективності водокористування в зрошуваному землеробстві. Регульований дефіцит зрошення забезпечує засоби, які зменшують витрати води при мінімізації негативних наслідків на урожай. Моделі можуть грати корисну роль у справі розробки практичних рекомендацій щодо оптимізації

виробництва сільськогосподарських культур в умовах дефіцитного водопостачання.

CROPWAT це комп'ютерна програма для планування зрошення та управління, розроблена відділом освоєння водних ресурсів FAO (FAO, 1992). Його основні функції включають в себе розрахунок еталонної евапотранспірації, вимоги культур у воді, а також врожай і схеми зрошення. Користувач може моделювати різні умови водопостачання і оцінки скорочення врожаю, а також ефективність опадів. Типові області застосування водного балансу включають розробку зрошення для різних культур і різні методи зрошення [43].

Дослідження показали, що модель CROPWAT може адекватно передбачити наслідки нестачі води, але вимагає калібрування основних параметрів сільськогосподарських культур. Були розроблені процедури для калібрування різних параметрів культур, заснованих на результатах досліджень. Дослідження показали, що ця модель може бути корисна у вдосконаленні конструкції експериментальних методів у наукових дослідженнях і у виявленні невідповідностей в процедурах і в результатах. Крім того, модель дозволяє більш систематичний аналіз результатів, більш рівномірне подання даних, і велику сумісність результатів.

Модель CROPWAT може адекватно моделювати зниження прибутковості в результаті нав'язаного дефіциту води. Необхідно налаштувати стандартні значення, наведені в CROPWAT, щоб передбачити зниження стресу. Покрокова процедура, розроблена для калібрування і регулювання параметрів культур, дала задовільні результати в процесі моделювання.

Модель виявилася корисною у виявленні невідповідностей у розробці та можливих недоліків чи помилок у записах даних. Таким чином, модель може бути потужним інструментом, що допомагає дослідникам аналізувати результати і робити висновки. Використання моделей допоможе домогтися

більш рівномірної реєстрації даних і дозволяє значущі порівняння отриманих даних у різних дослідженнях і країнах.

Важливим атрибутом моделі CROPWAT є те, що вона дозволяє розширити результати і висновки з досліджень в умовах, які не треба перевіряти у полі. Таким чином, вона може забезпечити практичні рекомендації для фермерів і співробітників в різних умовах водопостачання, ґрунту і умов обробітку культур [43].

Для аналізу наслідків зміни клімату на зростання картоплі, були розроблені дві моделі, модель POTATOS, це проста модель зростання картоплі та комплексна модель NPOTATO. Обидві моделі були відкалібровані і перевірені з допомогою результатів експериментів і пройшли перевірку на різних сортах картоплі в Нідерландах. Чутливість результатів моделювання визначали при різних змінах погодних умов. Порівняння результатів обох моделей свідчить про ті умови, в яких результати моделей відрізнялись і могли стати менш надійними. Середній рівень урожаю бульб і щорічна урожайність були розраховані в чисельних експериментах для обох моделей, в моделі NPOTATO результати чисельних експериментів показали добрі результати, а в моделі POTATOS вони були занадто високі. Змодельована врожайність для обох моделей, у різних сортів картоплі на глинистих ґрунтах була досить добра протягом останніх чотирьох років, періоду (1974 – 1988). Однак, у випробуваннях в більш ранні роки врожайність була значно нижча, ніж при розрахунках. Ця різниця може бути викликана факторами, які не були описані в моделях. Урожай бульб в обох моделях значно збільшується при зрошенні і сприятливих погодних умовах.

Вирощування картоплі дуже скоротилося у Німеччині, в останні роки врожай картоплі складає приблизно 208 – 415 га, тому тема фітофторозу картоплі залишається актуальною. Німецькими вченими SCHRUDTER та ULLRICH була розроблена модель для боротьби з фітофторозом картоплі.

Фітофтора - одна з найшкідливіших хвороб картоплі. Фітофтора широко поширена і відома там, де розводять картоплю. Особливо великої

шкоди завдає хвороба в зонах з рясним випаданням опадів в другу половину літа. Збудник хвороби - гриб *Phytoththora intestans de Bary*. Фітофтора вражає листя, стебла і бульби, іноді бутони і ягоди картоплі. Перші ознаки хвороби з'являються на нижніх листках картопляного куща у вигляді темно-бурих мокрих плям. На нижній стороні листя на межі здорової та ураженої тканини утворюється білий наліт, який добре видно в дощову погоду або вранці до висихання роси. За сприятливих умов, коли часто випадають опади і помірна температура, хвороба на полі поширюється дуже швидко і протягом 7-10 днів може знищити все бадилля картоплі. За літературними даними, початок появи фітофтори на ранніх сортах, слід очікувати через 7-10 днів після того, як в кожен з цих днів, спостерігалася середня добова температура повітря біля 13-20 °C, при відносній вологості повітря більше 75 % і сумі опадів за декаду більше 20 мм.

В моделі для боротьби з фітофторозом картоплі, моделюється температура повітря, відносна вологість повітря та опади і вплив цих факторів на поширення захворювання. За допомогою цієї моделі, можна вичислити вплив температури повітря, відносної вологості повітря та опадів на розвиток захворювання за мінімальний період і тоді поширення епідемії захворювання можна уникнути. Модель не прогнозує чи відбудеться епідемія спалаху захворюваності, чи ні, вона тільки прогнозує, що в найкоротші терміни може початися розвиток захворювання. За допомогою моделі, користувачу не треба проводити будь-яких заходів по боротьбі з фітофторозом, до того часу коли це буде потрібно, до цього часу рекомендується проводити на полі візуальну перевірку картопляних кущів [39].

Численними авторами були проведені дослідження по впливу екстремально-високих температур повітря та попереднього проростання бульб картоплі на врожайність картоплі для північно-кліматичних умов [38]. Екстремально-високі температури і попереднє проростання бульб картоплі може збільшити початковий розвиток картоплі, що дозволяє отримати врожаї

картоплі в більш ранні строки. Вирощування ранніх сортів картоплі без попереднього проростання бульб, це не можливо в північно-кліматичних умовах. Метою цього дослідження було визначити, який буде врожай картоплі, яка буде вага бульб, якщо їх до посадки попередньо пророщують під впливом екстремально-високих температур. Основні висновки цієї роботи були такі, сходи картоплі, бульби яких оброблялися екстремально-високими температурами до посадки, появлялися на 2-5 днів раніше, сходів картоплі, бульби яких не оброблялися екстремально-високими температурами до посадки. Проростання оброблених бульб картоплі скоротилося на 7-12 днів, порівняно с необробленими бульбами картоплі. Крім того, при впливі екстремально-високих температур значно збільшується кількість бульб картоплі, хоча їх середня вага була нижча, ніж у бульб попередньо пророслих рослин, які не оброблялися екстремально-високими температурами до посадки.

LINTUL - це імітаційна модель картоплі, яка була використана для гірської місцевості і низовини невеликої держави в східній Африці Бурунді. В Бурунді, картопля культивується в нагір'ї. Більшість досліджень, які проводяться в Бурунді стосовно врожайності картоплі, були проведені в гірській місцевості, де традиційно вирощують картоплю. З 2005 по 2008 роки проводились дослідження в різних контрастних середовищах. Розрахунки цих експериментів знаходяться у базі даних, ця база даних може бути використана для проведення чисельних експериментів імітаційної моделі LINTUL, для того щоб пояснити систему і протестувати нові гіпотези. Багато моделей росту сільськогосподарських культур існують у всьому світі, модель LINTUL використовується для картоплі і була розроблена Kooman і Haverkort у 1995 році, за основу цієї моделі були взяті моделі авторів Spitters і Schapendonk, яка була розроблена у 1990 році і модель Monteith, яка вважається однією з піонерських робіт Monteith у 1977 році [43].

За допомогою моделі LINTUL розраховувалась потенційна врожайність картоплі, яку порівнювали с потенційною врожайністю

отриманою в результаті експериментів, які проводили в відповідних областях з використанням СІР генотипів картоплі. СІР генотипи картоплі були адаптовані до тропічних умов. Відхилення потенційного врожаю картоплі, за якими спостерігали, варіювалися у зв'язку з генотипом і місцем розташування. Ці відхилення були використанні для характеристики поведінки СІР генотипів та їх адаптації в даному регіоні. В Бурунді спостерігаються високі температури повітря, що зменшує врожайність картоплі та вагу бульб картоплі, спостереження які проводились в даній місцевості це підтвердили. В імітаційній моделі LINTUL правильно моделюються ці процеси. Відхилення показали зміну врожайності картоплі, СІР генотипи картоплі сильно відрізнялися різною врожайністю в залежності від температури повітря, але інші фактори, такі як відмінності в чутливості до хвороб, появи шкідників і т.п., можливо також зіграли свою роль. СІР генотипи картоплі, які придатні для гірської місцевості, були також визначені і для низовини. Вибрані генотипи для низовини, де температура повітря вище на 8°C в рівнянні з гірською місцевістю, можуть бути корисними навіть і у більш холодних районах, де температура може зростати у зв'язку з глобальним потеплінням. В імітаційній моделі LINTUL були показані масштаби подальших втрат врожаю картоплі в низинах, якщо засуха не розглядається належним чином [43].

3.1 Базова динамічна модель формування урожаю сільськогосподарських культур. Концепція моделювання

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

Основні концептуальні положення такі:

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

Модель складається із 8 блоків:

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 мінерального живлення.
7. Блок росту (розподіл структуроутворюючих компонентів – вуглеводів і азоту).
8. Блок формування площі листя.

Розглядається, що рослина складається з двох функціонально пов'язаних частин: надземної (shoot) і підземної (root), які у свою чергу

поділяються на окремі органи або їх складові частини. Виділяються: функціонуючі листки (l_{func}), пожовклі листки (l_{yel}), відмерлі листки (l_{mor}), зелені стебла (s_{gr}), пожовклі стебла (s_{yel}), функціонуючі корені (r_{func}), відмерлі корені (r_{mor}), функціонуючі репродуктивні органи (p_{func}), дозріваючі репродуктивні органи (p_{rip}).

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

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

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

Модель реалізовано в двох варіантах – з добовим кроком в часі та з декадним кроком [36,37].

3.2 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

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

де

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

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

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

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 вологоемність 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, яка характеризує вплив геометричної структури РП на пропускання сонячної радіації.

Величини балансу довгохвильової радіації визначаються за такими формулами:

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

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

де F_A – противипромінювання атмосфери

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.

3.3 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 води;

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

$K(\Theta)$ – гідравлічна провідність;

Θ – об'ємна вологість;

$S(\psi)$ – поглинання води коренями;

t – час; z – вертикальна координата.

Як початка умова ($t = 0$) задається

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

За граничні умови приймається:

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

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

– на рівні ґрунтових вод величини

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

– на поверхні ґрунту z_o (верхня межа)

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

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

де P_s – кількість опадів, які досягли поверхні ґрунту;

E – випаровування з поверхні ґрунту;

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

Кількість опадів, які досягли поверхні ґрунту, знаходиться як

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

де P_o – кількість опадів, що випали;

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

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

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

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

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

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

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

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

Транспірація рослинного покриву визначається за формулою Пенмана

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

де 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 вологи у ґрунті;

ET – сумарне випаровування;

V_{max} – максимально можливе підживлення зони аерації з ґрунтових вод;

k_w – коефіцієнт водовіддачі.

3.4 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

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

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

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

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

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

C_{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.

3.5 Моделювання мінерального живлення рослин

Формування фонду вільного азоту розглядається на кожному часовому кроці як поглинання азоту з ґрунту, продуктів розпаду рослинної тканини і витрат на відновлення активних структур тканини

$$\frac{dN_{lab}}{dt} = N_{abs} + N_{hydr} - N_{sen}, \quad (3.37)$$

де N_{lab} – фонд вільного азоту;

N_{abs} – кількість поглиненого з ґрунту азоту;

N_{hydr} – кількість азоту, що утвориться при розпаді білкових структур;

N_{sen} – витрати на відновлення білків.

Процес поглинання азоту рослиною з ґрунту йде активним шляхом і пасивним – виносом азоту з транспіраційним потоком

$$dN_{abs} = D_{ef}^{Nr} N_{soil} L_{funk}^r K_{dif}^N(T_S) + Tr \bar{N}_{s.w.}, \quad (3.38)$$

де N_{soil} – концентрація азоту у ґрунті (NH_4 , NO_3);

D_{ef}^{Nr} – ефективний коефіцієнт дифузії азоту у ґрунтовому розчині (NH_4 , NO_3);

L_{funk}^r – довжина життєдіяльних коренів;

$\bar{N}_{s.w.}$ – концентрація азоту у ґрунтовому розчині;

Tr – транспірація;

$K_{dif}^N(T_S)$ – функція впливу температури ґрунту на швидкість дифузії азоту у ґрунтовому розчині.

Процеси поглинання амонію і поглинання нітратів розглядаються в моделі окремо.

Приймається, що швидкість відновлення білків кожного органа рослини пропорційна вмісту азоту у тканині цього органа

$$\frac{dN_{isen}}{dt} = \alpha_{sen} N_i, \quad (3.39)$$

де α_{sen} – відносна швидкість відновлення білків;

N_i – вміст азоту у тканинах i -го органа.

У моделі розглядаються основні процеси трансформації азоту у ґрунті: амоніфікація, нітрифікація, іммобілізація амонію і нітратів, денітрифікація.

Кількість легкогідролізуємого азоту у ґрунті N_{tof} описується рівнянням

$$N_{tof} = P_{hum} K_{hum}^N K_{hydr}^N, \quad (3.40)$$

де P_{hum} – вміст гумусу в ґрунті;

K_{hum}^N – вміст органічного азоту в гумусі ґрунту;

K_{hydr}^N – коефіцієнт гідролізації азоту в ґрунті.

Трансформація форм азоту ґрунту описується наступною системою рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} dN_{NH} &= A_{NH} N_{tof} F_{am}(T_S) F_{am}(W), \\ dN_{NO} &= A_{NO} N_{soil}^{NH} F_{nitr}(T_S) F_{nitr}(W), \\ dN_{im}^{NH} &= A_{im}^{NH} N_{soil}^{NH}, \\ dN_{im}^{NO} &= A_{im}^{NO} N_{soil}^{NO}, \\ dN_{den} &= A_{den} N_{soil}^{NO} F_{den}(T_S) F_{den}(W), \end{aligned} \right\} \quad (3.41)$$

де dN_{NH} – швидкість амоніфікації;

A_{NH} – коефіцієнт швидкості амоніфікації;

$F_{am}(T_S)$ і $F_{am}(W)$ – функції впливу температури і вологості ґрунту на швидкість амоніфікації;

dN_{NO} – швидкість нітрифікації;

$F_{nitr}(T_S)$ і $F_{nitr}(W)$ – функції впливу температури і вологості ґрунту на швидкість нітрифікації;

dN_{im}^{NH} , dN_{im}^{NO} – швидкість іммобілізації азоту;

A_{im}^{NH} і A_{im}^{NO} – коефіцієнт швидкості іммобілізації азоту з амонійних і нітратних форм азоту;

dN_{den} – швидкість денітрифікації;

A_{den} – коефіцієнт швидкості денітрифікації;

$F_{den}(T_S)$ і $F_{den}(W)$ – функції впливу температури і вологості ґрунту на швидкість денітрифікації.

Баланс амонійних форм азоту у ґрунті може бути описаний таким рівнянням

$$N_{soil}^{NH(j+1)} = N_{soil}^{NH(j)} + dN_{NH} - dN_{NO} - dN_{im.}^{NH} - dN_{abs}^{NH} + NH_m^{fert} + NH_{org.}^{fert} + NH_{atm.}, \quad (3.42)$$

де NH_m^{fert} і $NH_{org.}^{fert}$ – амоній мінеральних і органічних добрив;

$NH_{atm.}$ – амоній, що надходить з атмосферними опадами.

На відміну від амонійних форм азоту легкорухливі нітратні форми азоту ефективно переміщуються (пересуваються) від одного шару ґрунту до іншого дифузійним шляхом чи з потоками води. Дифузія нітратів dN_{dif} описується рівнянням

$$dN_{dif}^{NO} = D_{ef}^{NO} \frac{\bar{N}_{NO}^{\omega+1} - \bar{N}_{NO}^{\omega}}{h_{\omega}}, \quad (3.43)$$

де dN_{dif} – дифузія нітратів;

D_{ef}^{NO} – ефективний коефіцієнт дифузії нітратів у ґрунтовому розчині;

$\bar{N}_{NO}^{\omega+1}, \bar{N}_{NO}^{\omega}$ – концентрація нітратів у суміжних шарах ґрунту;

h_{ω} – відстань між серединою суміжних шарів ґрунту.

Рівняння, що описує переміщення нітратів з потоками води $dN_{I_w}^{NO}$ записується у вигляді

$$dN_{I_w}^{NO} = \frac{\bar{N}_{NO}^{\omega+1} + \bar{N}_{NO}^{\omega}}{2} I_w^{\omega}, \quad (3.44)$$

де $dN_{I_w}^{NO}$ – переміщення нітратів з потоками води;

I_w^{ω} – інфільтрація води із одного шару в інший шар ґрунту.

Баланс нітратів у ґрунті записується як

$$N_{soil}^{NO(j+1)} = N_{soil}^{NO(j)} + dN_{NO} - dN_{im.}^{NO} - dN_{abs}^{NO} + \\ + NO_{m.}^{fert} + NO_{org.}^{fert} + NO_{atm} - dN_{dif}^{NO} - dN_{I_w}^{NO}, \quad (3.45)$$

де $NO_{m.}^{fert}$ і $NO_{org.}^{fert}$ – нітрати органічних і мінеральних добрив;

NO_{atm} – нітрати, що надходять з атмосферними опадами.

Сумарний баланс гумусу у ґрунті визначається за методом О.С.Образцова

$$Hum = (m_l^{lit} K_C^{lit} K_{Hum}^{lit} + Org^{last} K_C^{Org} K_{Hum}^{Org} + Org^{last} K_N^{Org} K_{us}^{Org} + \\ + M_N^{last} K_{us}^M + (m_l^{lit} + m_r^{mort}) K_N^{lit(mort)} K_{us}^{lit(mort)} - m^{last} K_N^{last}) \cdot 1,724 \quad (3.46)$$

де Hum – баланс гумусу в ґрунті;

m_l^{lit}, m_r^{mort} – маса рослинних залишків і маса відмерлих коренів минулого року;

K_C^{lit}, K_C^{Org} – відносний вміст вуглецю в сухій речовині рослинних залишків і органічних добрив;

$K_{Hum}^{lit}, K_{Hum}^{Org}$ – коефіцієнт гуміфікації рослинних залишків і органічних добрив;

Org^{last}, M_N^{last} – кількість мінеральних добрив і доза внесення мінерального азоту минулого року;

$K_N^{Org}, K_N^{lit(mort)}$ – відносний вміст азоту в органічних добривах, рослинних залишках і відмерлих коренях;

$K_{us}^{Org}, K_{us}^M, K_{us}^{lit(mort)}$ – коефіцієнт використання азоту мінеральних і органічних добрив, рослинних залишків і відмерлих коренів;

m^{last} – урожай біомаси минулого року;

K_N^{last} – відносний вміст азоту у рослинній біомасі урожаю минулого року.

3.6 Моделивання 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:

$$\frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} = \left(1 - \beta_{root}^{mC(N)}\right) \frac{dC(N)_{lab}}{dt}, \quad (3.47)$$

$$\frac{dmC(N)_{root}}{dt} = \beta_{root}^{mC(N)} \frac{dC(N)_{lab}}{dt}, \quad (3.48)$$

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 структурообразуючих компонентів між надземними органами рослин та їх окремими частинами виконується за допомогою наступної системи рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} &= \beta_l^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} - v^{C(N)} mC(N)_{l_{func}}; \\ \frac{dmC(N)_{l_{yel}}}{dt} &= \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} \frac{1}{K_{st}^{C(N)}} \text{ при } \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} < 0; \\ \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} &= \beta_{s_{gr}}^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} - v_s^{C(N)} mC(N)_{s_{gr}}; \\ \frac{dmC(N)_{s_{yel}}}{dt} &= \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} \frac{1}{K_{st}^{C(N)}} \text{ при } \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} < 0; \end{aligned} \quad (3.49)$$

$$\begin{aligned} \frac{dmC(N)_{pfunc}}{dt} &= \beta_{pfunc}^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} + v_l^{C(N)} mC(N)_{lfunc} + \\ &+ v_s^{C(N)} mC(N)_{sgr} + v_r^{C(N)} mC(N)_{rfunc} \\ mC(N)_{prip} &= mC(N)_{pfunc} k_{prip}, \end{aligned}$$

де

де $mC(N)_{lfunc}, mC(N)_{lyel}, mC(N)_{sgr}, mC(N)_{sgr}, mC(N)_{sye}, mC(N)_{pfunc}, mC(N)_{prip}$

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

$\beta_l^{mC(N)}, \beta_{sgr}^{mC(N)}, \beta_{pfunc}^{mC(N)}$ – 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

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{dC_i}{dt} + \frac{dN_i}{dt}. \quad (3.50)$$

Приріст стебел у висоту визначається як

$$\frac{dh_s}{dt} = \frac{dm_s}{dt} \frac{1}{\rho_s \pi r_s^2} \frac{1}{N_s}, \quad (3.51)$$

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

$$m_{l\,fal} = m_{l\,yel} \quad \text{при} \quad t = t_{end}^{gr.s.}, \quad (3.52)$$

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

$$\frac{dmC(N)_{r\,func}}{dt} = \frac{dmC(N)_{root}}{dt}, \quad (3.53)$$

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

Маса відмерлих коренів знаходиться за співвідношенням

$$m_{r\,mor} = \beta_{r\,mor} m_{r\,funk}, \quad (3.54)$$

де $\beta_{r\,mor}$ – функція відмирання функціонуючих коренів рослин.

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

$$z_r = \frac{d_r m_r}{\rho_r} f_r, \quad (3.55)$$

$$\rho_r = \rho_r^{\max} \left(1 - e^{-d_r z}\right), \quad (3.56)$$

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.

Динаміка площі асимілюючої поверхні листя описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dL}{dt} = \frac{dm_{l_func}}{dt} \frac{1}{\sigma_L} & \text{при } \frac{dm_{l_func}}{dt} \geq 0 \\ \frac{dL}{dt} = \frac{dm_{l_func}}{dt} \frac{1}{\sigma_L k_s^l} & \text{при } \frac{dm_{l_func}}{dt} < 0 \end{cases}, \quad (3.57)$$

де $\frac{dL}{dt}$ – швидкість росту відносної площі поверхні листя;

σ_L – питома поверхнева щільність листя;

k_s^l – параметр, що характеризує частку життєдіяльних структур у загальній біомасі листя.

Приведена вище система рівнянь описує формування гідрометеорологічного режиму в системі ґрунт – рослина – атмосфера, основні процеси життєдіяльності рослин, їхній ріст та формування урожаю. Вона записана у загальному вигляді і трансформується в залежності від морфологічних та біологічних особливостей сільськогосподарських культур [29,35,36,37,38,39,43].

4 ОЦІНКА ПРОДУКЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Серед численних екологічних та соціально-економічних проблем людства на рубежі XX – XXI століть є і проблема глобального потепління клімату. Україна також належить до числа регіонів планети, де зміни клімату, що відбуваються, є відчутними, навіть без проведення спеціальних спостережень стало помітно, що тривалість зимових періодів значно скоротилась, а самі зими стали менш холодними. Почастішали посухи. В XX столітті на території України зафіксовано 43 посушливих роки, в тому числі 7 із них в останні 15 років минулого століття. В кінці минулого століття також почастишали прояви і інших природних стихій – суховіїв, злив, обледенінь, повеней, затоплень та підтоплення тощо, які в тій чи іншій мірі пов'язуються зі змінами клімату. Досить нагадати надзвичайне підтоплення півдня України в 1998 р., катастрофічні повені на Закарпатті в 1998 та 2001 роках, значні обледеніння в центральних та південних регіонах України в 1999–2001 рр. тощо [13].

Отже і на глобальному і на регіональному рівнях зміни клімату стали незаперечним фактом, наявність якого поставила перед людством проблему розв'язання цілої низки надзвичайно важливих і складних завдань, пов'язаних з розробкою та реалізацією стратегії свого практичного існування в умовах зміни клімату [45].

Важливою ланкою проблеми зміни глобального клімату є вирішення агрометеорологічної задачі – оцінки зміни агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур та впливу цих змін на їх продуктивність. Сільське господарство є найбільш вразливою галуззю економіки України до коливань та змін клімату. Враховуючи інерційний характер сільського господарства та залежність його ефективності від погодних умов, уже зараз необхідне прийняття своєчасних та адекватних

рішень щодо складних проблем, обумовлених змінами клімату. В зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря Північної півкулі продовольча безпека України в значній мірі буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату. Це передбачає завчасну оцінку впливу очікуваних змін клімату на агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур [25].

Сучасне потепління викликає значну зміну агрокліматичних умов росту, розвитку та формування продуктивності сільськогосподарських культур.

Воно супроводжується істотним підвищенням температури повітря у зимові місяці, збільшенням кількості тривалих відлиг, часового зрушення розвитку природних процесів, змінами тривалості сезонів року, подовженням безморозного періоду та тривалості вегетаційного періоду сільськогосподарських культур, збільшенням теплозабезпеченості вегетаційного періоду, дещо покращенням вологозабезпеченості майже усіх зон України. Можливе зростання частоти екстремальних погодних явищ, загальне зниження вологості ґрунтів та зменшення їхньої родючості, виснаження ресурсів прісної води у південних регіонах, деградація земель. Світовими вченими визнано той факт, що зміна клімату в останні десятиріччя явно збільшилася, одночасно збільшилася частота екстремальних явищ погоди [15].

Більше 30 % території України з кращими землями, де зосереджено виробництво близько 65 % товарного зерна, знаходиться у зоні недостатнього зволоження. Основною особливістю періоду потепління стала нерівномірність випадіння опадів у середині року і за окремі роки, що призвело до збільшення кількості засушливих явищ. Засухи нерідко збігаються із суховіями, спричиняючи пошкодження рослин у різних фазах розвитку та зменшують їх продуктивність [41,42].

Несприятливі кліматичні умови можуть посилити порушення структури ґрунтів і зменшення запасів гумусу у ґрунті, деградацію ґрунтів,

що може призвести до виникнення загрози опустелювання у Північному та Південному Степу України. .

Тенденції зміни агрокліматичних ресурсів розглядалась нами у розрізі основних агрокліматичних зон за різні проміжки часу. Для оцінки змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату було використано опубліковані в результаті побудови сценаріїв зміни клімату в Україні:

- розрахунків змін кліматичних показників за стаціонарними моделями загальної циркуляції атмосфери, які досліджують реакцію кліматичної системи на подвоєння вмісту CO₂: GFDL (модель Лабораторії геофізичної гідродинаміки США); UKMO (модель Метеорологічного бюро Сполученого Королівства);

- сценаріїв зміни температури повітря і кількості атмосферних опадів в Україні на основі результатів розрахунків за нестаціонарною моделлю, у якій моделюється відгук на поступове (як більш реалістичне) зростання вмісту парникових газів на 30 % (модель Лабораторії геофізичної гідродинаміки США – GFDL - 30 %).

Кліматичний сценарій GFDL - 30 % передбачає оцінку можливих змін режиму температури повітря та опадів по природним зонам України на період до 2030-2050 років. Так оцінка майбутніх змін клімату є і більш реалістичною як з точки зору поступовості зростання вмісту парникових газів на 30 %, так і з точки зору більш прикладного аспекту цієї оцінки, позаяк немає практичного сенсу розглядати зміну агрокліматичних ресурсів та продуктивності сільськогосподарських культур на сторіччя згідно кліматичних сценаріїв GFDL та UKMO .

Кліматичний сценарій GFDL - 30 % було прийнято нами як основний для оцінки зміни агрокліматичних ресурсів, умов росту, розвитку та формування продуктивності сільськогосподарських культур на період до 2030–2040 років [20,21] .Слід відмітити також, що для сценаріїв A1B та A2 швидкість зменшення сум опадів улітку перевищує швидкість їх приросту в зимовий сезон. Відомо, що сучасний річний хід опадів в Україні

характеризується літнім максимумом та зимовим мінімумом [14]. Тому зростання кількості опадів у зимовий період з одночасним їх зменшенням у літній сезон може призвести до зменшення амплітуди їх річного розподілу.

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 [46]. 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 (див. [46]). 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) [47]. 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° пн.ш. $\pm 2,5^{\circ}$ сх.д. [47], 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

CO₂, метан CH₄, закись азоту N₂O, гідрофторвуглеці HFCs, перфторвуглеці PFCs, сірчаний гексафторид SF₆, хлористі фторвуглеводні HCFCs, хлористі фторвуглеці CFCs, двооксид сірки SO₂, 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 [45]. Сценарії являють собою альтернативні прогнози можливого розвитку подій у майбутньому, вони також є слушним засобом для аналізу того, яким чином визначальні фактори можуть впливати на показники майбутніх викидів, а також оцінки пов'язаних з ними невизначеностей. Вони сприяють аналізу змін клімату, включаючи моделювання клімату та оцінку наслідків, адаптацію та пом'якшення наслідків. Дуже мало ймовірною є можливість того, що траєкторія якогось єдиного викиду збіжиться з описаною у сценаріях [41].

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 не кліматичних 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.

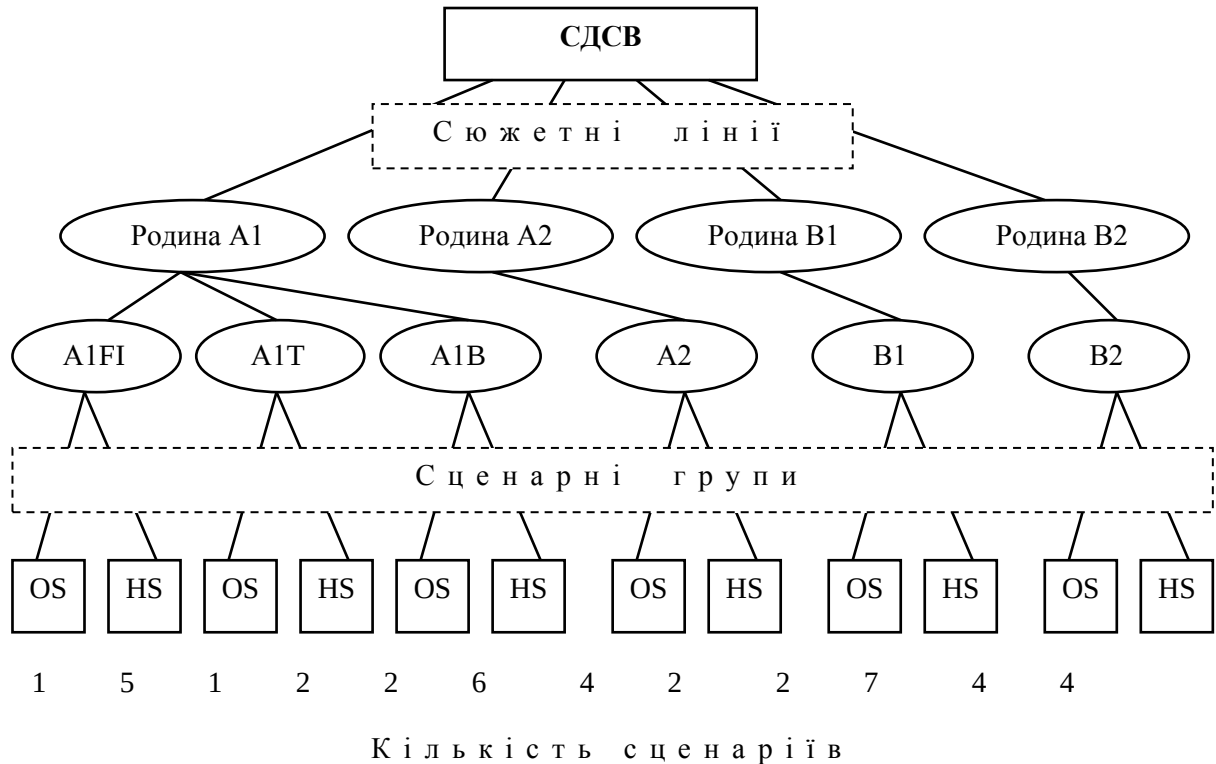


Рисунок 4.1 – Схематична ілюстрація сценаріїв СДСВ [4].

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

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.

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 (див. 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

ґрунтуючись 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 порівнянні 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 XXI 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 [46]. 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 2011–030 рр. та для трьох сценаріїв – «жорсткого» A2, «помірного» A1B і «м'якого» B1 – у вузлах регулярної сітки, обмеженої широтами 43,5° та 53,5° пн.ш. і довготами 21,25° та 41,25° сх.д. [4].

4.1 Оцінка агрокліматичних умов вегетації картоплі

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 роки у відповідності з агрокліматичним довідником України.

Аналіз тенденції впливу зміни клімату на показники фотосинтетичної продуктивності картоплі та на агрокліматичні умови вирощування картоплі виконано шляхом порівняння розрахованих за кліматичними сценаріями A1B і A2 сценарних показників та середньо багаторічних даних за три періоди: 1986 – 2005 рр. (базовий період), 2011 – 2030 рр. – перший сценарний період, 2031 – 2050 рр. – другий сценарний період.

Для характеристики показників фотосинтетичної продуктивності картоплі та агрокліматичних умов вирощування картоплі були розраховані:

- площа листя картоплі в період максимального розвитку;
- чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку;
- суми позитивних температур повітря за вегетаційний період картоплі;
- суми опадів за вегетаційний період картоплі;
- фотосинтетичний потенціал.

Розрахунки виконувались в природно-кліматичній зоні України в Західному Лісостепу.

За умов реалізації сценарію зміни клімату A2, терміни садіння картоплі змістяться на пізніші строки в Західному Лісостепу на 1 день в перший та другий сценарні періоди в порівнянні з середньо багаторічними даними (табл. 4.1).

Змістяться і строки появи сходів. В Західному Лісостепу сходи картоплі за середньо багаторічними даними спостерігалися 26.V, а в перший та другий сценарні періоди сходи будуть раніше і будуть спостерігатися 25.V, що на 1 день раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Цвітіння картоплі за середньо багаторічними даними спостерігалось 23.VII. В перший сценарний період цвітіння картоплі зміститься на більш пізні строки і буде 30.VII, що на 7 днів пізніше в порівнянні з середньо багаторічними даними. В другий сценарний період цвітіння також

спостерігається пізніше і буде 27.VII, що на 4 дні пізніше в порівнянні з середньо багаторічними даними.

В'янення бадилля за середньо багаторічними даними спостерігалось 08.VIII, в перший сценарний період 14.VIII, що на 6 днів пізніше, а в другий сценарний період в'янення бадилля спостерігалось 13.VIII, що на 5 днів пізніше в порівнянні з середньобагаторічними даними.

Тривалість вегетаційного періоду в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними склала 74 дні, а в перший та другий сценарні періоди 80 днів, що на 6 днів більше в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Таблиця 4.1 – Фази розвитку картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Садіння	Сходи	Цвітіння	В'янення бадилля	Тривалість вегетаційного періоду, дні
1986–2005	10.V	26.V	23.VII	08.VIII	74
2011–2030	11.V	25.V	30.VII	14.VIII	80
Різниця	+1	-1	+7	+6	+6
1986–2005	10.V	26.V	23.VII	08.VIII	74
2031–2050	11.V	25.V	27.VII	13.VIII	80
Різниця	+1	-1	+4	+5	+6

За умов реалізації сценарію зміни клімату A1B, терміни садіння картоплі змістяться на більш ранні строки в Західному Лісостепу на 6-9 днів, в перший та другий сценарні періоди в порівнянні з середньо багаторічними даними (табл. 4.2).

Відповідно змістяться і строки появи сходів. В Західному Лісостепу сходи картоплі за середньо багаторічними даними спостерігалися 26.V, в перший сценарний період сходи були 15.V, що на 11 днів раніше, а в другий сценарний період 18.V, що на 8 днів раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Цвітіння картоплі за середньо багаторічними даними спостерігалось 23.VII. В перший та другий сценарні періоди цвітіння картоплі в Західному Лісостепу відбувалося раніше на 7-8 днів в порівнянні з середньо багаторічними даними.

В'янення бадилля за середньо багаторічними даними спостерігалось 08.VIII, а в перший та другий сценарні періоди в'янення бадилля спостерігалось раніше, так в перший сценарний період на 8 днів 31.VII, а в другий сценарний період на 7 днів 1.VIII.

Тривалість вегетаційного періоду в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними склала 74 дня, а в перший сценарний період 77 днів, що на 3 дні більше, а в другий сценарний період тривалість вегетаційного періоду склала 75 дня, що на 1 день більше.

Таблиця 4.2 – Фази розвитку картоплі в Західному Лісостепу за середньобагаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A1B (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Садіння	Сходи	Цвітіння	В'янення бадилля	Тривалість вегетаційного періоду, дні
1986-2005	10.V	26.V	23.VII	08.VIII	74
2011-2030	1.V	15.V	15.VII	31.VII	77
Різниця	-9	-11	-8	-8	+3
1986-2005	10.V	26.V	23.VII	08.VIII	74
2031-2050	4.V	18.V	16.VII	1.VIII	75
Різниця	-6	-8	-7	-7	+1

За умов реалізації сценарію зміни клімату A2 період сходи – цвітіння буде проходити при знижених температурах на 0,4 °C в перший сценарний період та на 0,6 °C в другий сценарний період (табл. 4.3).

Зниженим буде і температурний режим в період цвітіння – в'янення бадилля на 1,7 °C в перший сценарний період, та на 1,5 °C в другий сценарний період.

Таблиця 4.3 – Агрокліматичні умови вирощування картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Період сходи – цвітіння			Період цвітіння – в’янення бадилля			Весь вегетаційний період		
	середня темп-ра, °С	сума тем-р, °С	сума опадів, мм	середня темп-ра, °С	сума тем-р, °С	Сума опадів, мм	середня темп-ра, °С	сума тем-р, °С	сума опадів, мм
1986 – 2005	17,2	577	112	19,9	775	116	18,5	1352	228
2011 – 2030	16,8	677	137	18,2	733	106	17,4	1410	243
Різниця	-0,4	+100	+25%	-1,7	-42	-10%	-1,1	+58	+15%
1986 – 2005	17,2	577	112	19,9	775	116	18,5	1352	228
2031 – 2050	16,6	569	94	18,4	835	112	17,6	1404	206
Різниця	-0,6	-8	-18%	-1,5	+60	-4%	-0,9	+52	-22%

Таким чином, середня температура повітря за весь вегетаційний період в перший сценарний період буде зниженою на 1,1 °С, в другий сценарний період буде зниженою на 0,9 °С.

Кількість опадів у період сходи – цвітіння збільшиться в Західному Лісостепу на 25 % в перший сценарний період, а в другий сценарний період кількість опадів зменшиться на 18 % в порівнянні з середньо багаторічними даними (табл. 4.3).

Для періоду цвітіння – в’янення бадилля кількість опадів зменшиться в Західному Лісостепу на 10 % в перший сценарний період, а в другий сценарний період на 4 %. Таким чином, кількість опадів за період сходи – в’янення бадилля збільшиться на 15 % в перший сценарний період, а в другий сценарний період зменшиться на 22 %.

Сума температур за період сходи – цвітіння в перший сценарний період збільшиться на 100 °С, а в другий сценарний період зменшиться на 8 °С.

Сума температур за період цвітіння – в’янення бадилля в перший сценарний період зменшиться на 42 °С, а в другий сценарний період збільшиться на 60 °С. Таким чином, сума температур за весь вегетаційний

період в перший сценарний період збільшиться на 58 °С, а в другий сценарний період на 52 °С (табл. 4.3).

За умов реалізації сценарію зміни клімату А1В період сходи – цвітіння буде проходити при знижених температурах на 0,5 °С в перший сценарний період, та на 0,8 °С в другий сценарний період (табл. 4.4).

Температурний режим в період цвітіння – в'янення бадилля буде зниженим на 0,4 °С в перший сценарний період, а в другий сценарний період температурний режим збільшиться на 0,7°С. Таким чином, середня температура повітря за весь вегетаційний період в перший сценарний період буде зниженою на 0,5 °С та на 0,8 °С в другий сценарний період.

Кількість опадів у період сходи – цвітіння зменшиться на 23 % в перший та другий сценарні періоди (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Агрокліматичні умови вирощування картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А1В (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Період сходи – цвітіння			Період цвітіння – в'янення бадилля			Весь вегетаційний період		
	середня тем-ра, °С	сума тем-ра., °С	сума опадів, мм	середня тем-ра., °С	сума тем-ра., °С	сума опадів, мм	середня тем-ра., °С	сума тем-ра., °С	сума опадів мм
1986 – 2005	17,2	577	112	19,9	775	116	18,5	1352	228
2011 – 2030	16,7	560	89	19,5	819	118	18,1	1379	207
Різниця	-0,5	-17	-23%	-04	+44	+2%	-0,4	+27	-21%
1986 – 2005	17,2	577	112	19,9	775	116	18,5	1352	228
2031 – 2050	16,4	559	89	20,6	806	98	18,5	1365	187
Різниця	-0,8	-18	-23%	+0,7	+31	-18%	0	+13	-41%

Для періоду цвітіння – в'янення бадилля кількість опадів збільшиться на 2 % в перший сценарний період, а в другий сценарний період зменшиться на 18 %. Таким чином, кількість опадів за період сходи – в'янення бадилля картоплі зменшиться на 21 % в перший сценарний період та на 41 % в другий сценарний період(табл. 4.4).

Сума температур за період сходи – цвітіння в перший сценарний період зменшиться в Західному Лісостепу на 17 °С та на 18 °С в другий сценарний період. Сума температур за період цвітіння – в'янення бадилля в перший сценарний період збільшиться на 44 °С та на 31 °С в другий сценарний

Таким чином, сума температур за весь вегетаційний період в перший сценарний період збільшиться на 27 °С та на 13 °С в другий сценарний період.

4.2 Порівняльна характеристика продуктивності картоплі в умовах зміни клімату в Західному Лісостепу

Для надання порівняльної характеристики продуктивності картоплі в умовах зміни клімату за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату A1B та A2 (2011-2030 pp.) та (2031-2050 pp.) були розраховані такі величини: площа листя картоплі, чиста продуктивність фотосинтезу, приріст маси в період максимального розвитку, а також суха біомаса цілої рослини картоплі та урожай картоплі, що наведено у (табл. 4.5 та 4.6), та побудовані графіки динаміки площі листя картоплі та сухої біомаси бульб картоплі в Західному Лісостепу (рис. 4.2 – 4.5).

Площа листя картоплі в період максимального розвитку за середньо багаторічними даними склала $2,38 \text{ м}^2/\text{м}^2$, за перший сценарний період площа листя картоплі трохи збільшиться і складатиме $2,81 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за другий сценарний період відбудеться ще деяке підвищення площі листя картоплі і становить $3,61 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (табл. 4.5).

Приріст маси картоплі в період максимального розвитку за середніми багаторічними даними дорівнює $279,99 \text{ г}/\text{м}^2$, за перший сценарний період приріст маси картоплі збільшиться і складатиме $340,49 \text{ г}/\text{м}^2$, а за другий сценарний період приріст маси картоплі ще трохи збільшиться і складатиме $372,39 \text{ г}/\text{м}^2$.

Таблиця 4.5 - Фотосинтетична продуктивність картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A1B (2011-2030 рр.) та (2031-2050 рр.)

Період	Площа листя картоплі в період максим. розвитку, $\text{м}^2/\text{м}^2$	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максим. розвитку, $\text{г}/\text{м}^2$	Приріст маси в період максим. розвитку, $\text{г}/\text{м}^2$	Суха біомаса цілої рослини картоплі, $\text{г}/\text{м}^2$	Урожай картоплі, ц/га
1986–2005	2.38	117.64	279.99	915.49	109.5
2011–2030	2.81	127.52	340.49	1123.98	139.1
2031–2050	3.61	115.83	372.39	1256.16	148.3

Урожай картоплі у Західному Лісостепу за сценарієм зміни клімату A1B за середніми багаторічними даними склав 109,5 ц/га, в перший сценарний період урожай картоплі збільшиться і складатиме 139,1 ц/га, в другий сценарний період урожай картоплі ще збільшиться і складатиме 148,3 ц/га.

Таблиця 4.6 - Фотосинтетична продуктивність картоплі в Західному Лісостепу за середньобагаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A2 (2011-2030 рр.) та (2031-2050 рр.)

Період	Площа листя картоплі в період максим. розвитку, $\text{м}^2/\text{м}^2$	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максим. розвитку, $\text{г}/\text{м}^2$	Приріст маси в період максим. розвитку, $\text{г}/\text{м}^2$	Суха біомаса цілої рослини картоплі, $\text{г}/\text{м}^2$	Урожай картоплі, ц/га
1986-2005	2.38	122.53	279.99	915.49	109.5
2011-2030	2.63	115.85	280.93	1003.61	114.7
2031-2050	2.55	117.27	279.69	982.94	113.6

Площа листя картоплі за сценарієм зміни клімату A2 в період максимального розвитку у Західному Лісостепу за середньобагаторічними даними склала $2,38 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в перший сценарний період площа листя картоплі збільшиться і складатиме $2,63 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в другий сценарний період площа листя

картоплі буде трохи більшою в порівнянні з середньобагаторічними даними, але меншою в порівнянні з першим сценарним періодом і становитиме $2,55 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Приріст маси картоплі в період максимального розвитку за середньо багаторічними даними складає $279,99 \text{ г}/\text{м}^2$, в перший сценарний період відбудеться збільшення приросту маси картоплі в порівнянні з середньо багаторічними даними і він складатиме $280,93 \text{ г}/\text{м}^2$, а в другий сценарний період приріст маси картоплі хоч незначно, але зменшиться в порівнянні з середньобагаторічними даними і становить $279,69 \text{ г}/\text{м}^2$.

Урожай картоплі у Західному Лісостепу за сценарієм зміни клімату A2 за середніми багаторічними даними складає $109,5 \text{ ц}/\text{га}$, в перший сценарний період урожай картоплі значно збільшиться і складатиме $114,7 \text{ ц}/\text{га}$, в другий сценарний період урожай картоплі збільшиться в порівнянні з середньо багаторічними даними та буде трохи нижчим в порівнянні з першим сценарним періодом і складатиме $113,6 \text{ ц}/\text{га}$.

Для надання порівняльної характеристики продуктивності картоплі в умовах зміни клімату за середньобагаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A1B (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.) у Західному Лісостепу було зображено динаміку площі листя картоплі (рис. 4.2).

На рис. 4.2 зображено динаміку площі листя картоплі за умов реалізації сценарію зміни клімату A1B (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.) та за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) в Західному Лісостепу. Особливо потужно динаміка площі листя картоплі збільшується у п'яту декаду вегетації з результатом $3,8 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в другий сценарний період за умов збільшення CO_2 та зі значенням $3,1 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в перший сценарний період за умов збільшення CO_2 .

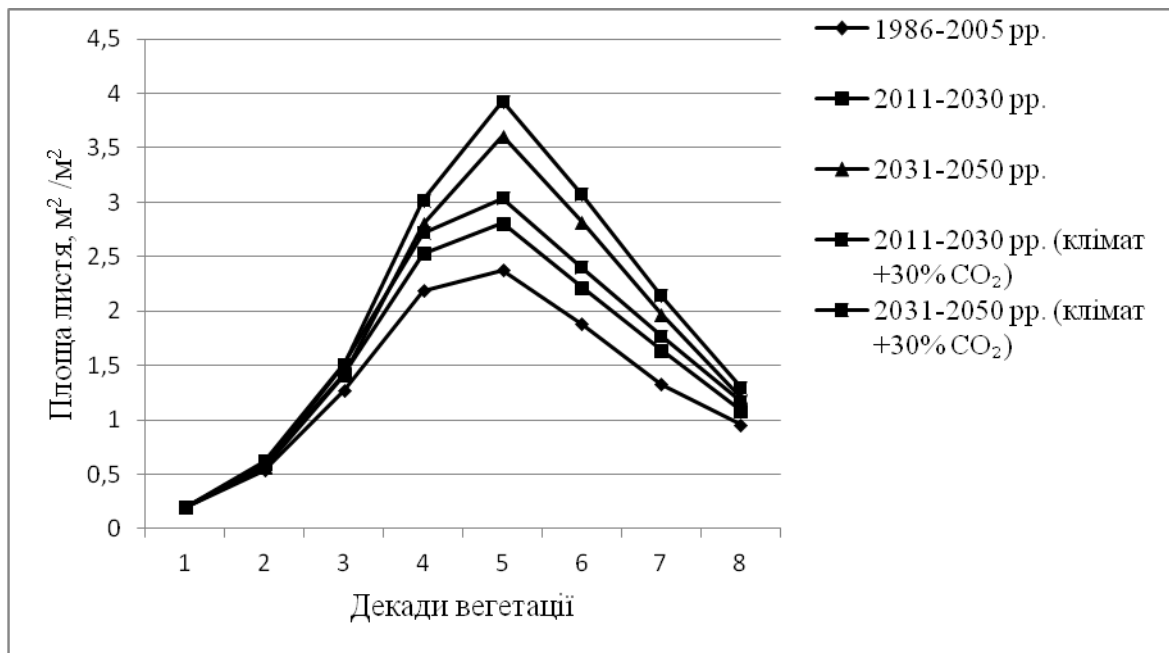


Рисунок 4.2 – Динаміка площі листя картоплі в Західному Лісостепу за умов реалізації сценаріїв зміни клімату A1B (2011-2030 pp.) і (2031-2050 pp.) та за середньо багаторічними даними (1986-2005pp.).

Площа листя картоплі в Західному Лісостепу в перший сценарний період склала $2,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$ та $3,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в другий сценарний період, якщо порівняти площу листя картоплі в перший та другий сценарні періоди та площу листя картоплі за умов збільшення CO_2 то різниця буде значна. Найменше значення площі листя картоплі $2,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$ спостерігається у п'яту декаду вегетації за середньо багаторічними даними. Починаючи з п'ятої декади вегетації динаміка площі листя йде на спад у перший та другий сценарні періоди та за середньо багаторічними даними.

Для надання порівняльної характеристики продуктивності картоплі в умовах зміни клімату за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) та за сценаріями зміни клімату A2 (2011-2030 pp.) і (2031-2050 pp.) у Західному Лісостепу було зображено динаміку площі листя картоплі (рис. 4.3).

На рис. 4.3 зображено динаміку площі листя картоплі в Західному Лісостепу за умов реалізації сценарію зміни клімату A2 (2011-2030 pp.) і (2031-2050 pp.) та за середніми багаторічними даними (1986-2005 pp.).

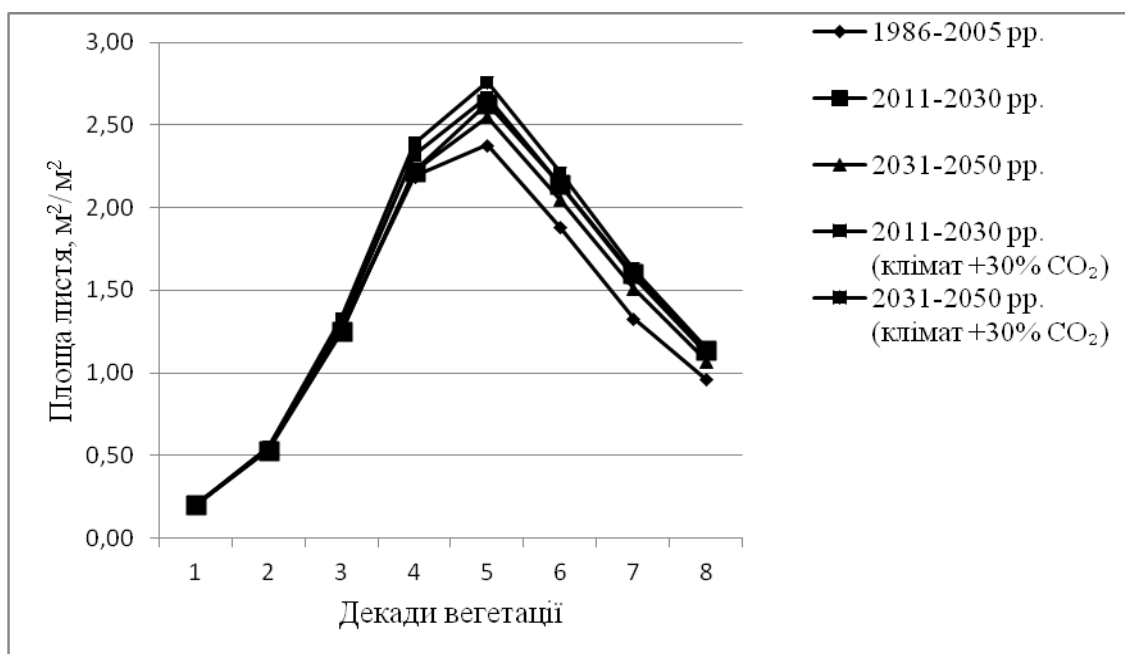


Рисунок 4.3 – Динаміка площі листя картоплі в Західному Лісостепу за умов реалізації сценаріїв зміни клімату A2 (2011-2030 pp.) і (2031-2050 pp.) та за середньобаторічними даними (1986-2005pp.).

Особливо потужно динаміка площі листя збільшується у п'ятій декаді вегетації з результатом $2,8 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в другий сценарний період за умов збільшення CO_2 , та зі значенням $2,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в перший сценарний період за умов збільшення CO_2 . Площа листя картоплі склала $2,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в перший сценарний період та $2,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в другий сценарний період це трохи менше, чим склала площа листя картоплі за умов збільшення CO_2 . Найменше значення площі листя картоплі спостерігається за середньо багаторічними даними та становить $2,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Починаючи з п'ятої декади вегетації динаміка площі листя йде на спад у перший та другий сценарні періоди та за середньо багаторічними даними.

Для надання порівняльної характеристики продуктивності картоплі у Західному Лісостепу (рис. 4.4) було зображено збільшення сухої біомаси бульб картоплі за умов реалізації сценаріїв зміни клімату A1B (2011-2030 pp.) і (2030-2050 pp.) та за середньобаторічними даними (1986-2005 pp.).

На рис. 4.4 зображено збільшення сухої біомаси бульб картоплі у Західному Лісостепу за умов реалізації сценаріїв зміни клімату A1B (2011-2030 pp.) і (2030-2050 pp.) та за середньобагаторічними даними (1986-2005 pp.).

На графіку чітко видно, що починаючи з четвертої декади вегетації ріст сухої біомаси бульб картоплі різко збільшується, досягаючи свого максимуму у восьму декаду вегетації зі значенням 940 г/м^2 в другий сценарний період за умов збільшення CO_2 та зі значенням 890 г/м^2 в перший сценарний період за умов збільшення CO_2 .

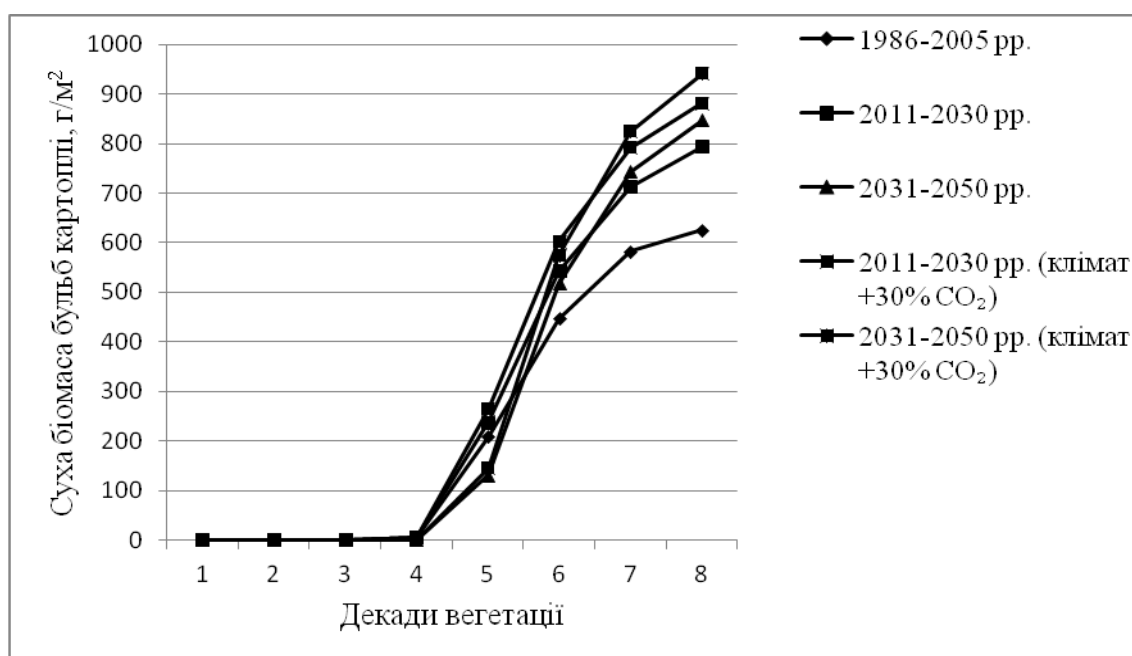


Рисунок 4.4 – Суха біомаса бульб картоплі у Західному Лісостепу за умов реалізації сценаріїв зміни клімату A1B (2011-2030 pp.) і (2030-2050 pp.) та за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.).

Суша біомаса бульб картоплі в перший сценарний період склала 800 г/м^2 та 830 г/м^2 в другий сценарний період. Якщо порівняти суху біомасу бульб картоплі в перший та другий сценарні періоди із сухою біомасою бульб картоплі за умов збільшення CO_2 , то різниця буде значна. В перший

сценарний період різниця буде складати 90 г/м^2 , а 110 г/м^2 в другий сценарний період. Найменше значення сухої біомаси бульб картоплі – 620 г/м^2 буде спостерігатися за середньо багаторічними даними.

Для надання порівняльної характеристики продуктивності картоплі у Західному Лісостепу (рис. 4.5) було зображено збільшення сухої біомаси бульб картоплі за умов реалізації сценаріїв зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) і (2030-2050 рр.) та за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.)

На рис. 4.5 зображено збільшення сухої біомаси бульб картоплі у Західному Лісостепу за умов реалізації сценарію зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) і (2030-2050 рр.) та за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.).

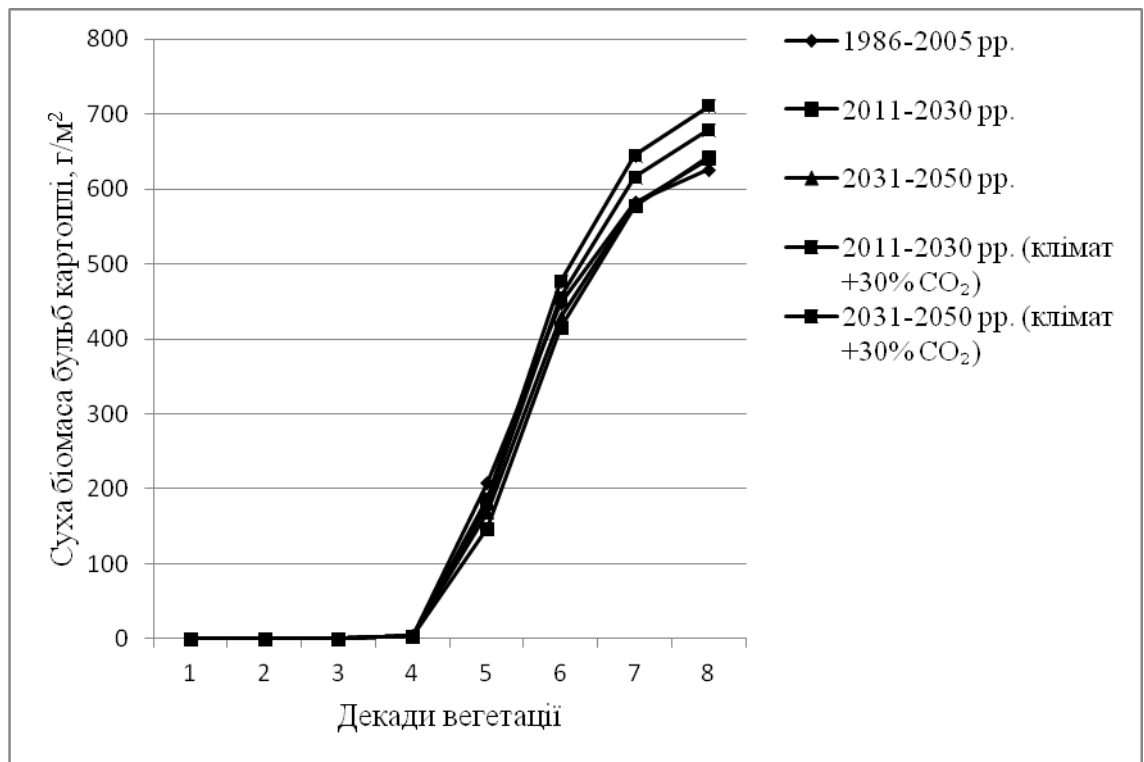


Рисунок 4.5– Суха біомаса бульб картоплі у Західному Лісостепу за умов реалізації сценарію зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) і (2030-2050 рр.) та за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.).

На графіку чітко видно, що починаючи з четвертої декади вегетації збільшення сухої біомаси бульб картоплі різко збільшується досягаючи свого максимуму у 8 декаду вегетації зі значенням 700 г/м^2 в другий сценарний період за умов збільшення CO_2 та зі значенням 680 г/м^2 в перший сценарний період за умов збільшення CO_2 .

Суша біомаса бульб картоплі в перший та другий сценарні періоди склала 620 г/м^2 , якщо порівняти суху біомасу бульб картоплі в перший та другий сценарні періоди з сухою біомасою бульб картоплі за умов збільшення CO_2 то різниця буде значна, так в перший сценарний період різниця складає 60 г/м^2 , а в другий сценарний період різниця складає 80 г/м^2 .

За середньо багаторічними даними максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі складає 620 г/м^2 .

ВИСНОВКИ

Сільське господарство є найбільш вразливою галуззю економіки України до коливань та змін клімату. Враховуючи інерційний характер сільського господарства та залежність його ефективності від погодних умов, уже зараз необхідне прийняття своєчасних та адекватних рішень щодо складних проблем, обумовлених змінами клімату. В зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря Північної півкулі продовольча безпека України в значній мірі буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату. Це передбачає завчасну оцінку впливу очікуваних змін клімату на агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур [12].

Під час виконання даної магістерської роботи були отримані такі основні результати:

1. Визначені біологічні особливості картоплі та її вимоги до факторів навколишнього середовища.
2. Вивчена фізико-географічна характеристика Західного Лісостепу та гідрогеологічні особливості Лісостепової зони України.
3. Вивчена базова динамічна модель формування урожаю сільськогосподарських культур.
4. Проведена оцінка продукційного процесу картоплі в умовах зміни клімату.
5. Розраховані фази розвитку картоплі та тривалість вегетаційного періоду за базовими даними та за сценаріями зміни клімату A1B та A2.
6. Визначені агрокліматичні умови вирощування картоплі.
7. Проведено порівняння показників фотосинтетичної продуктивності картоплі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату A1B та A2.

8. Розрахована площа листя картоплі (за сценарієм A1B площа листя картоплі в другий сценарний період за умов збільшення CO₂ склала 3,8 м²/м² та 3,1 м²/м² в перший сценарний період за умов збільшення CO₂. Площа листя картоплі в перший сценарний період склала 2,7 м²/м² та 3,7 м²/м² в другий сценарний період. За сценарієм A2 площа листя картоплі склала 2,8 м²/м² в другий сценарний період за умов збільшення CO₂ та 2,7 м²/м² в перший сценарний період за умов збільшення CO₂. Площа листя картоплі склала 2,6 м²/м² в перший сценарний період та 2,5 м²/м² в другий сценарний період. Площа листя картоплі за середньо багаторічними даними становить 2,3 м²/м²).

9. Розрахована суха біомаса бульб картоплі (за сценарієм A1B максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі складає 940 г/м² в другий сценарний період за умов збільшення CO₂ та 890 г/м² в перший сценарний період за умов збільшення CO₂. Суха біомаса бульб картоплі в перший сценарний період склала 800 г/м² та 830 г/м² в другий сценарний період. За середньо багаторічними даними суха біомаса бульб картоплі становить 620 г/м². За сценарієм A2 в другий сценарний період за умов збільшення CO₂ суха біомаса бульб картоплі становить 700 г/м² та 680 г/м² в перший сценарний період за умов збільшення CO₂).

Всі розрахунки і графіки були розраховані та побудовані на основі базових середньо багаторічних даних за (1986-2005 рр.) та за сценаріями змін клімату A2 та A1B за два розрахункових періоди (2011-2030 рр.) та (2031-2050 рр.) у Західному Лісостепу України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Адаменко Т.І. Агрокліматичний довідник по території України. /За ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіді, А.Л. Прокопенко. Кам'янець-Подільський: 2011. 108 с.
2. Аксьонова Л.А. Картопля // Л.А. Аксьонова. Географія. 2000. № 43. с. 1-2.
3. Антоненко В.С. Динамическое моделирование роста, развития и формирования продуктивности озимой пшеницы. В.С. Антоненко. К.: АртЭк, 2002. 64с.
4. Бобылев С.Н. Глобальное изменение климата и экономическое развитие. С.Н. Бобылев, И.Г. Грицевич. М.: ЮНЕП, 2005. 64 с.
5. Богданов О.І. Важливий резерв підвищення врожайності картоплі. / О.І. Богданов, А.А. Осипчук, О.Ф. Кравець // Вісник сільськогосподарської науки, 1986, № 6.
6. Бондаренко Н.Ф. Моделирование продуктивности агроэкосистем. Н.Ф. Бондаренко, И.Г. Жуковский, И.Г. Мушкина и др. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 264 с.
7. Вангенгейм Г.Я. Процессы блокирования зональных течений и их роль в режиме общей циркуляции атмосферы // Г.Я. Вангенгейм. Труды Всесоюзного научного метеорологического совещания. Т. III. Л. Гидрометеиздат. 1963. С. 3-15.
8. Географічна енциклопедія України (у 3 т.) редколегія: Маринич О.М. (відпов. ред.) та ін. К.: «Українська радянська енциклопедія» ім. Бажана М.П., 1989.
9. Гродзінський М.А. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник / М.А. Гродзінський. К.: Видавництво «Українська енциклопедія» ім. Бажана М.П., Український виробничо-комерційний центр «Олімп», 1992. 544 с.

10. Гупало П.И. Рост и развитие картофельного растения в связи с условиями среды // П.И. Гупало, Н.М. Гончарик. Физиология сельскохозяйственных растений (в 12 томах) / (отв. ред. Потапов Н.Г.). М.: Изд-во МГУ, 1971.
11. Дітчук Т.Л. Фізична географія України. Т.Л. Дітчук, О.В. Заставецька, І.В.Брущенко. 1971.
12. Дроздов О.А. Об особенностях климата при потеплениях последних столетий // О.А. Дроздов, П.П. Арапов, К.М. Лугина, Г.И. Мосолова. Тез.докл. Всеросс. науч. конф. Казань, 2000.
13. Карпатський Інститут Розвитку Агентство сприяння сталому розвитку Карпатського регіону «ФОРЗА» Брошура «Адаптація до зміни клімату», 2015.
14. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко / К.:Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
15. Кондратьев К.Я. Глобальные изменения на рубеже тысячелетий // К.Я. Кондратьев. Вестник РАН. 2000.
16. Корнелюк Г.Я. Місцеві сорти картоплі - цінний генофонд практичної селекційної роботи // Г.Я. Корнелюк, В.Г. Корнелюк. Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки Науковий журнал. 2009, № 9.
17. Краківська С.В. Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (REMO) щодо прогнозу приземної температури повітря за контрольний період 1961–90 рр. // С.В. Краківська, Л.В. Паламарчук, І.П. Шедеменко, Г.О. Дюкель, Н.В. Гнатюк. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2008, №257.
18. Краткий агроклиматический справочник Украины. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 256 с.
19. Кулик М.С. Погода и минеральные удобрения. М.С. Кулик. Л.: Гидрометеиздат, 1976.168 с.
20. Курицкий Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0. Б.Я. Курицкий. С-Пб.: BHV Санкт Петербург, 1997. 384 с.

21. Лавров С.Б. Глобальные проблемы современности. С.Б. Лавров. СПб.: Проспект, 2000. 341 с.
22. Лорх А.Г. Динамика накопления урожая картофеля. А.Г. Лорх. М.: Сельхозгиз, 1948. с. 191.
23. Лорх А.Г. О картофеле. А.Г. Лорх. М.: Сельхозгиз, 1960. с. 151.
24. Ліхацькій В.І. Овочівництво: Практикум. В.І. Ліхацькій, Ю.Є. Бургарт. К.: Вища школа, Іл., 1994. 366 с.
25. Мазуров Г.И. Меняется ли климат Земли // Г.И. Мазуров, Т.В. Вишнякова, В.И. Акселевич. Материалы Международной научно-практической конференции Пермь. 2002.
26. Максимович М.М. О методах и приемах улучшения семенного картофеля // М.М. Максимович. Картофель, 1962.
27. Методика исследований по культуре картофеля. М.: ВАСХНИЛ, 1967. 263 с.
28. Мироненко В. Г. Енергетична цінність рослинної сировини // В.Г. Мироненко, І.В. Свистунова, Г.С. Захарків. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. Збірник наукових праць. 2011.
29. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур. / Под ред. Ф.В. Пеннинга де Фриза и Х.Х. ван Лаара. Л.: Гидрометеиздат, 1996. 320 с.
30. Монсимов С.П. Довідник овочівника степу України. С.П. Монсимов, Л.М. Сапожнікова, Ю.Е. Клечковський. 2014.
31. Муминов Ф.А. Тепловой баланс и метеорологический режим картофельного поля. Ф.А. Муминов. 1963. 150 с.
32. Наук. праці УкрНДГМІ. 2010. 259 с.
33. Орден Дж. Глобальная экология. М.: Мир, 1999. 377 с.
34. Подпрятов Г.І. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Г.І. Подпрятов, Л.Ф. Скалецька, А.М. Сеньков. Практикум: Навч. посібник. К.: Вища освіта, 2004. 272 с.

35. Полевой А.Н. Моделирование фотосинтеза зеленого листа у растений С-3 и С-4 при изменении концентрации CO_2 в атмосфере // А.Н. Полевой. В сб. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. С-Пб.: Гидрометеиздат, 2010. Том XXIII.
36. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. А.Н. Полевой. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 319 с.
37. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. А.Н. Полевой. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 175 с.
38. Полуэктов Р.А. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж. С-Пб.:Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2006. 396 с.
39. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем. А.М. Польовий. К.: КНТ, 2007. 344 с.
40. Поповича Ф.Я. Урожай. Ф.Я. Поповича. Киев: 1985. 664 с.
41. Стаття «Про деякі завдання аграрної науки у зв'язку зі змінами клімату» Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства. Лісостеп. Київ. 2004 р.
42. Україна та глобальний парниковий ефект. (Книга 2) Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату. /За ред. Васильченка В.В., Рапцуна М.В., Трофимової І.В. Київ: 1998. 208 с.
43. Франс Дж. Математические модели в сельском хозяйстве. Франс Дж., Торнли Дж. Х М. М.: Агропромиздат, 1990. 303 с.
44. Шпаар Д.Т. Картофель / Д.Т. Шпаар, А.Л. Быкин, Д.К. Дрегер и др. Под редакцией Д.Т. Шпаара. Мн.: ЧУП «Орех», 2004. 465 с.
45. Climate Change 2007: The Physical Science Basis /S. Solomon et al. (eds.) Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. – Cambridge University Press, 2007. – 996 p.
46. Delworth T.L. et al. GFDL's CM2 Global Climate Model. Part I: Formulation and simulation characteristics //J. Climate. – 2006. – V. 19. – 643 - 674p.

47. Special Report on Emission Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change /N. Nakićenović et al. (eds.). – Cambridge University Press, 2000. – 599 p.
48. Stastna Milada, Dufkova Jana. Potato Simulation Model and its Evaluation in Selected Central European Country. Agricultural Conspectus Scientificus (ACS) 01. 2008.
49. Библиофонд. Электронная библиотека студента. URL: <http://bibliofond.ru> (дата звернення).
50. Дроздова П.О., Свидерська С.М. Оцінка продукційного процесу картоплі в умовах зміни клімату в Західному Лісостепу // Матеріали наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 2-8 травня 2018 р., Одеса: ТЕС, 2018. С. 33-35. (ел.збірник).
51. Свидерська С.М., Дроздова П.О., Зайцова Т.Ю. Оцінка продукційного процесу картоплі в умовах зміни клімату в Східному та західному Лісостепу. Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Збалансований розвиток агроecosистем України: Сучасний погляд та інновації», 29 квітня 2018 року, Полтава: ПДАА, 2018. С.43-48.
52. Дроздова П.О., Зайцова Т.Ю., Свидерська С.М. Оцінка продукційного процесу картоплі в умовах зміни клімату в Східному та Західному Лісостепу. III Міжнародна наукова конференція молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: Актуальні проблеми та шляхи їх вирішення», 21-23 березня 2018 р., м. Одеса. С. 2-34.