

**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 Поліссі**

Виконала студентка 2 курсу групи МАЕ-2  
Спеціальності 101 «Екологія»

(шифр і назва)

Освітня програма «Агроекологія»

(назва)

Зайцова Тетяна Юріївна

(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 Євген 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 агрометеорологія та агроекології  
Рівень вищої освіти магістр  
Спеціальність 101 «Екологія»  
(шифр і назва)  
Освітня програма Агроекологія  
(назва)

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

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

Зайцовій Тетяні Юріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

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 зоні Полісся за 1986 – 2005 рр.; 2. Для оцінки змін кліматичних умов на період 2021–2050 рр. використано сценарій зміни клімату в Україні – кліматичні сценарії RCP4.5 та RCP8.5.; 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 Полісся; 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. Вивчити фізико-географічні умови Полісся.	29.10.2018 р.- 6.11.2018	90	5(відмінно)
2	Описати агрокліматичні умови вегетації культур та біологічні особливості картоплі, та її основні сорти.	7.11.2018 р. - 15.11.2018 р.	90	5(відмінно)
3	Описати динамічну модель формування урожайності	16.11.2018 р.- 18.11.2018 р.	90	5(відмінно)
	Рубіжна атестація	19.11.2018 р.- 24.11.2018 р.	90	5(відмінно)
4	Оцінити зміну фотосинтетичної продуктивності картоплі при зміні кліматичних умов за сценаріями зміни клімату	25.11.2018 р.- 2.12.2018 р.	90	5(відмінно)
5	Опис отриманих результатів	3.12.2018 р.- 7.12.2018 р.	90	5(відмінно)
6	Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи.	8.12.2018р. - 10.12.2018 р.	90	5(відмінно)
7	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)
8	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту			
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>	<b>-</b>	<b>90,0</b>	

Студент \_\_\_\_\_ Зайцова Т.Ю.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

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

## АНОТАЦІЯ

### **Зайцова Т.Ю. Оцінка продукційного процесу картоплі в умовах зміни клімату в Поліссі**

*Актуальність* теми зумовлена тим, що для підвищення ефективності сільського господарства України необхідне врахування 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 Поліссі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішувались наступні завдання:

1. Вивчити географічні умови Полісся;
2. Описати агрокліматичні умови вегетації картоплі;
3. Описати біологічні особливості картоплі по відношенню до факторів довкілля та 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* – У оцінка впливу змін клімату на продуктивність картоплі у Поліссі.

*Методи дослідження* – метод математичного моделювання продукційного процесу рослин.

*Обсяг роботи* – 88 сторінок, 6 рисунків, 6 таблиць. Магістерська робота містить 4 основних розділів, висновок, список використаної літератури.

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

## SUMMARY

### **Zaythova T.Ju. An estimation of process of products of potato is in the conditions of change of climate in Polesye**

*Actuality of theme* is predefined by that for the increase of efficiency of agriculture of Ukraine necessary account of 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 фотосинтетичну productivity of potato in Polesye.

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

1. To learn the geographical terms of Polesye;
2. To describe the agroclimatic terms of vegetation of potato;
3. To describe the biological features of potato in relation to the factors of environment and 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 Polesye.

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

*Volume of work* - 88 pages, 6 charts, 6 tables. Master's degree work contains 4 basic divisions, conclusion, list of the used literature.

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

## ВСТУП

За висновками провідних експертів зі зміни клімату за умов ігнорування антропогенного підсилення парникового ефекту, до 2100 року очікується підвищення концентрації CO<sub>2</sub> на 90–250 % у порівнянні з доіндустріальними рівнями, значне підвищення концентрацій метану та N<sub>2</sub>O, підвищення середньої температури повітря на 1,4–5,8 °C це призведе до збільшення кількості посух в континентальних районах середніх широт та подій, пов'язаних з екстремальними опадами, підвищення рівня світового океану на 10–88 см, зменшення льодовиків, танення вічної мерзлоти. Більш тепла погода та довготривалі періоди спеки можуть змінити середовище проживання та цикл життєдіяльності паразитів та інших носіїв хвороб, а також зменшити кількість водних ресурсів для потреб гідроенергетики і зрошування [21].

Глобальні зміни клімату, що відбуваються, викликають заклопотаність його різноспрямованими наслідками. Активна господарська діяльність людини призводить до різкої глобальної зміни в кругообігу речовин, що складається тисячоліттями, в біосфері. Відбувається глобальна антропогенна зміна функціонування рослинності, йде ерозія ґрунтів, змінюється клімат Землі, відбувається глобальне потепління [21].

Науково-технічний прогрес, і, передусім, швидке зростання енергетичної потужності цивілізації породжує численні проблеми, що вимагають оцінки, аналізу і глибокого вивчення. Вони викликані масштабом прямої дії людської діяльності на довкілля. Викиди CO<sub>2</sub> в атмосферу в результаті спалювання копалин органічного палива, вирубування лісів, заміна природних фітоценозів антропогенними, ерозії ґрунтів, різні забруднення і багато що інше змінюють, деформують сталий хід природних процесів і, отже, міняють умови життя і діяльності людей.

Зміни клімату спричиняють за собою зміну кліматично обумовлених природних ресурсів. Це можуть бути, в перспективі, як сприятливі, так і несприятливі зміни, проте, у будь-якому випадку, в найближчому майбутньому вони спричиняють за собою перебудову відповідних соціальних і економічних умов.

Якою б не представлялася картина цього майбутнього розвитку, розуміння цієї ситуації призводить до необхідності вирішення проблеми спостережень, досліджень, аналізу і прогнозу зміни кліматично обумовлених природних ресурсів у зв'язку із змінами клімату.

Для прогнозів можливих змін клімату міжнародною спільнотою розроблена ціла низка сценаріїв [6].

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 [6,9,10].

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, 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.

Метою даної магістерської роботи є оцінка впливу змін клімату на продуктивність картоплі в Поліссі.

# 1 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КУЛЬТУРИ

## 1.1 Біологія та морфологія сільськогосподарської культури

Картопля (*Solanum tuberosum*) - вид рослин родини пасльонових, поширена сільськогосподарська культура, яку в народі називають «другим хлібом»; одна з найважливіших продовольчих, технічних і кормових культур. В просторіччі часто картоплею називають не вид, а лише бульбоплід картоплі [7]. Картопля - однорічна в культурі та багаторічна в дикому стані трав'яниста рослина роду Паслін (*Solanum*), яка об'єднує до 150 диких і культурних бульбоплідних видів. Хоча картопля - багаторічна рослина, проте її саджають щорічно навесні, оскільки бульби, залишені на зиму у ґрунті, загинуть від морозів. Основними вихідними формами європейської культурної картоплі є автотетраплоїдні бульбоносні [8]. У культурі картоплю вирощують як однорічну багатостеблову рослину - щороку висаджують бульби, з яких протягом одного вегетаційного періоду одержують урожай нових стиглих бульб. Свіжозібрані молоді бульби цього ж літа не можуть бути використані для отримання другого урожаю - вони перебувають у періоді спокою і, будучи висадженими, не проростають. Проте, молоді бульби деяких сортів картоплі можуть бути пробудженими до росту хімічними стимуляторами. Розмножується рослина вегетативно - бульбами, а також насінням. Вирощування з насіння застосовується переважно у селекційній практиці при створенні нових генотипів. Розмноження гетерозиготних рослин картоплі насінням веде до розщеплення генетично зафіксованих сортотипних властивостей [22].

Життя картопляної рослини умовно можна розділити на три складових:

- 1) перший триває від сходів до початку цвітіння. У цей час збільшується маса стебел, а кількість бульб наростає повільно;



2) другий – від початку цвітіння до припинення росту стебел, коли відбувається найбільш інтенсивне наростання бульб. У цей визначальний період і формується основний врожай;

3) третій період триває від початку припинення росту стебел до їх відмирання (усихання), коли формування бульб в основному завершується [23].

У нашій країні картоплю вирощують майже всюди, вона легко пристосовується до найрізноманітніших умов середовища, здатна за порівняно короткий вегетаційний період (70-100 днів) накопичувати високі врожаї. Рослина не пристосована до спеки і низьких температур. Бульби не виносять температуру  $-1...2$  °С. Часті зміни температурних режимів протягом вегетаційного періоду рослини нерідко викликають зниження чи тимчасове припинення бульбоутворення, і навіть нерівномірне зростання частин бульби.

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.

У бульбі розрізняють верхівку, яка є кінцем, що росте, протилежну частину - пуповинний, або стolonний 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 самозапильні, 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 Вимоги картоплі до світла та вологи

Картопля сонцелюбна культура, і в той же час ґрунт, у якому вона росте, не повинен перегріватися. Тобто картопля любить сонце, але не любить спеку. Найсприятливіший час росту картоплі - весна. Тривалість світлового дня в цей час року досить велика, земля волога, ще не до кінця прогріта. При недостатці світла її розвиток сповільнюється, листя втрачають здатність до асиміляції вуглекислого газу. Тому дуже важливо правильно розташувати рядки картоплі. Якщо розмістити їх в північно-південному напрямку, то рослини протягом дня будуть освітлюватися рівномірніше в порівнянні з західно-східним напрямком. Надземні органи картоплі краще ростуть і розвиваються на довгому дні, а утворення бульб - при короткому. Якщо освітлення тривале і інтенсивне, рослини добре ростуть і розвиваються навіть при понижених температурах [40]. В короткий день, який триває менше 12 годин, формуються низькорослі кущі з великими листками. Такі рослини практично не цвітуть, бульби утворюються раніше, але в меншій кількості, і для їх дозрівання потрібно набагато менше часу. При довгому світловому дні (понад 12 годин) кущі виростають високі і розгалужені із

дрібними листям, з потужним стеблом і корінням, бульби утворюються пізно і невисокий урожай. З цієї ж причини (короткий світловий день) добре зав'язуються бульби і на літніх посадках (у серпні – вересні). Картопля дуже вимогливий до світла. Якщо його розмістити під деревами або на нього тривалий час падає тінь від будівель, або кущі затінюються бур'янами та іншими культурами, то хорошого урожаю не одержати [4].

Картопля досить вимоглива до вологи, оскільки формує велику підземну масу при відносно малорозвиненій кореневій системі. Тому високі врожаї збирають при вологості ґрунту 75-85 % НВ. Зниження вологості до 60 % призводить до зменшення врожайності на 3-9 %, а до 40 % НВ - на 40-43 %.

Найменше вологи картоплі потрібно під час проростання й появи сходів, коли молоді рослини використовують вологу з материнської бульби. Функцію регулятора з забезпечення вологою відіграють також молоді бульби. В умовах нестачі вологи в ґрунті рослина бере воду з бульб, а при повному зволоженні - бульби наповнюються вологою і є додатковим резервом її для росту рослин.

З ростом рослин підвищується потреба картоплі у волозі, особливо у період бутонізація - кінець цвітіння. Транспіраційний коефіцієнт картоплі становить 400-550. В окремі спекотні дні кущ картоплі випаровує до 4 л води. Тому в районах недостатнього зволоження всі агрозаходи мають бути спрямовані на нагромадження запасів вологи в ґрунті. У таких умовах картопля добре реагує на полив.

Надмірне зволоження ґрунту (85% і більше) під час бульбоутворення призводить до передчасного відмирання бадилля, припинення росту бульб, спричинює їх загнивання. Урожайність різко зменшується.

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. 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 утворювання 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 утворювання бульб і скорочується тривалість вегетаційного періоду. У таких умовах раніше закінчується ріст стебла, раніше утворюються бульби, але рослини також раніше і відмирають.

На ранніх етапах утворювання 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, 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 листкової поверхні 30-40 тис. м<sup>2</sup>/га. У таких випадках достатня освітленість рослин забезпечує найбільш повне поглинання сонячної радіації.

Світло і тепло мають значення для розвитку і зростання, і створення врожаю при наявності достатнього зволоження ґрунту і повітря в період вегетації. Вода входить до складу органічних речовин і 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. 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 - сходів 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 вологості.

Урожай бульб картоплі ранніх сортів визначається опадами червня, середньостиглих - опадами липня і серпня, а пізніх - опадами липня, серпня і вересня.

Картопля достатньо вимоглива до вологи, оскільки формує велику підземну масу при відносно малорозвиненій кореневій системі. Тому високі врожаї збирають при вологості ґрунту 75-85 % НВ. Зниження вологості до 60 % НВ призведе до зменшення врожайності на 3-9 %, а до 40 % НВ - на 40-43 % [20]. В залежності від вологості, температури ґрунту і біологічних особливостей сортів одна рослина за період вегетації випаровує приблизно 60-70 л води, що відповідає 300 мм атмосферних опадів.

Причому потреба в цілющій волозі у картоплі змінюється за фазами розвитку. На ранньому періоді розвитку вона не потребує поливу. Однак в той момент, коли появляються бутони, потреба у волозі збільшується. Це викликано в першу чергу тим, що одночасно з появою бутонів на нижній частині стебел починають рости столони. Саме на них закладаються бульби, які потребують додаткової вологи [40]. Якщо в цей момент у вашому районі встановилася суха погода, обов'язково полийте сходи, хоча б один раз, але рясно. Воду краще підливати під корінь або в міжряддя. До речі, максимальне споживання картоплею вологи йде в період сходів і росту бадилля.

Критичний період для розвитку картоплі спостерігається від фази початок цвітіння до припинення приросту бадилля. Нестача вологи в цей період призводить до сильного зниження врожаю бульб [26].

### 1.3 Вимоги картоплі до тепла

Картопля вимоглива до тепла рослина. Пророщені бульби можна розміщувати в ґрунт при її температурі всього 3-5 °С. В таких умовах інтенсивно ростуть корені, і по мірі потепління швидко розвивається надземна частина. Уповільнено кущ може рости при температурі 7-8 °С, найбільш сприятлива температура для рослин – 17-22 °С. З підвищенням температури до 30 °С ріст картоплі гальмується, особливо при нестачі вологи. А при температурі ґрунту понад 40 °С розвиток кущів припиняється зовсім. А вже до кінця травня – початку червня у багатьох регіонах України (особливо на півдні і південному сході) саме така температура і встановлюється, а іноді й вище. Як стверджують фахівці, кращою температурою ґрунту для формування бульб вважається 16-17 °С, що відповідає температурі повітря 20-23 °С. І це ще один аргумент на користь ранньої посадки картоплі добре пророщеними бульбами [25].

Картопля відноситься до сімейства пасльонових і є близьким родичем помідора, перцю, баклажана, фізалісу, тютюну. Це потрібно знати, перш за все для того, щоб не висаджувати картоплю в сівозміні після названих культур. У картоплі стебло тригранне, кущ зазвичай має 4-8 стебел, хоча саме головне в цій культурі – бульби, через які, власне, картоплю і вирощують. Тому повертати картоплю (і її найближчих родичів) на те ж саме місце хоча б через 2-3 роки (не раніше) [4].

Картопля належить до рослин помірною клімату. На температуру нижче 7-8 °С та вище 30 °С реагує припиненням росту. Надмірна спека (вище 25°C) сильно пригнічує рослини. Якщо ґрунт прогрівається вище 29 °С - бульби не утворюються або формуються дочірні бульбочки.

Бульби картоплі, які пройшли період спокою, починають проростати за 3-5 °С, однак агрометеорологічним показником початку росту картоплі вважають температуру 7 °С. Проте оптимальна температура для проростання

бульб є 18-20°C, за якої сходи з'являються через 12-13 днів. Максимальний урожай картоплі забезпечується за середньодобової температури 17-18°C.

Картопля чутлива до незначних приморозків. Пошкодження картоплиння настає за -1,5...-2 °С. Приморозки -3...-4,5 °С пошкоджують картоплиння на 60-100 % і знижують врожайність бульб на 25-65 %, залежно від фази розвитку рослини і часу ураження приморозками. Особливо нестійкі до приморозків молоді рослини. Листки і стебла чорніють і гинуть. Проте молоді рослини швидко відростають і формують добрий урожай бульб. Значно небезпечніше пізнє повернення приморозків. Бувають випадки повної весняно-літньої загибелі рослин під впливом пізніх приморозків у фазі бутонізації, особливо на торфових ґрунтах на понижених місцевостях.

Краща температура для проростання бульб 18-20 °С. Сходи в цьому випадку з'являються на 10-12 день після посадки, в той час як при стійкому падінні температури нижче 7,0 °С сходи нерідко з'являються через 30-35 днів і навіть через 50 днів [4].

Знижені температури також негативно впливають на ріст рослини картоплі. Так, наростання вегетативної маси майже повністю припиняється при температурі нижче 7 °С, 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 °С фотосинтез повністю припиняється [4]. Для ранніх сортів картоплі найбільш сприятливою температурою для утворення бульб є 17 °С, для середньостиглих сортів 19 °С.

Високі температури гнітюче діють на утворення бульб картоплі. Не вельми сприятливо такі температури впливають на ранні сорти. При



виросуванні 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 дослідах різке гальмування процесу утворення бульб відзначено вже при температурі ґрунту вище 20 °С.

Як встановлено експериментально [4], 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 фотосинтетичної 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.

Високі температури в поєднанні з довгим днем викликають «кліматичне виродження» картоплі. Особливо несприятливо діють підвищені температури в нічний час доби. «Кліматичне виродження» картоплі починається при середній температурі повітря в період утворення бульб, що перевищує 18<sup>0</sup>С. При середній добовій температурі від 19 до 21 °С кількість 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.

#### 1.4 Вимоги картоплі до ґрунту

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 обмежником. Потрібна 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, ерозія.

Найкраще картопля росте на пухких, добре розпушених ґрунтах. Коренева система картоплі інтенсивно дихає, поглинаючи кисню у 5-10 разів більше, порівняно з іншими рослинами. Для насичення ґрунту достатньою кількістю кисню, його потрібно утримувати в досить розпушеному стані з об'ємною масою не більше 1,0-1,2 г/см<sup>3</sup>. 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.

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.

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.

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, 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 його 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. Калій, що залишився 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 та 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 [57].

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 [4].

На звичайних і потужних чорноземах часто на першому місці по ефективності стоїть фосфор, на 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. У 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.

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.

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. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС ПОЛІССЯ

### 2.1 Особливості біогеографічного розташування Полісся

Полісся – особлива історико-етнографічна область України, частина колишньої прабатьківщини слов'ян, давня етноконтактна зона. Як і Карпати, воно зберегло найдавніші релікти праслов'янської та праукраїнської культури, що є постійними об'єктами вивчення дослідників-археологів, істориків, фольклористів, етнографів. А ще - багатостраждальна земля, яку спіткала ядерна катастрофа Чорнобиля. Можливо, саме останній фактор спричинився до активізації наукових досліджень поліської народної культури, яка зазнала у ХХ столітті нищівного удару. Історико-етнографічний регіон Полісся приваблює увагу науковців та дослідників-аматорів - особливостями традиційно-побутової матеріальної і духовної культури, мови його населення. Виразно специфічними є і сучасні етнокультурні процеси цієї території [9].

Уперше назва Полісся зафіксована у літописі за Іпатіївським списком. У джерелах XIV-XVI ст. ця назва найчастіше функціонувала у вигляді спільнокореневих топонімів Подесьє, Полясе, Полесе. Історико-етнографічні межі цієї зони теж визначалися по-різному, однак переважає думка, що вона охоплює басейн річки Прип'ять та сусідні райони лісової смуги. Цю територію вважали центром поліської області ще дослідники XVI-XIX ст. М. Стрийковський, Г. де Боплан, В. М. Татищев та ін., про що переконливо свідчать залишені ними картографічні матеріали

Усталення у науковій літературі назви Полісся супроводжується подальшою конкретизацією за назвами етнічних зон - білоруське Полісся, українське Полісся, російське Полісся, литовське Полісся, польське (люблінське) Полісся. Такий поділ часто відображав і певну етнолінгвістичну неоднорідність регіону.

Поліський край є своєрідним ландшафтним регіоном Східноєвропейської фізико-географічної країни. Він займає північну частину України, частину Білорусі та Росії. Його виникнення головним чином зумовлене палеогеографічними умовами антропогенного періоду.

Для Полісся характерні низовинний рельєф, побудований переважно піщаними і супіщаними антропогенними відкладами, помірно континентальний клімат, значна обводненість, густа річкова мережа з широкими долинами, панування рідких різновидів дерново-підзолистих та болотних ґрунтів, зайнятих хвойно-широколистяними лісами, луками, болотами і перезволоженими землями.

Такі ландшафти мають назву поліських. Ландшафтними аналогами Полісся є Мещора, Привітлужжя і Васюгання в Росії та Мазовше в Польщі. Полісся поділяється на три окремі частини: північну (лівобережжя Прип'яті), південну (правобережжя Прип'яті й Дніпра), східну (лівобережжя Дніпра). Українське Полісся охоплює більш значну територію Південного та східного Полісся.

Українське Полісся поділяється на Правобережне та Лівобережне, залежно від розташування на берегах Дніпра. Відповідно до цього уживаємо також назви Східне й Західне Полісся. Західне Полісся називають також Прип'ятським, східне - Наддеснянським або Чернігівським, розмежовуючи такі номінації тоді, коли йдеться про Полісся по обох берегах Дніпра. В етнографічній літературі дуже часто під Східним Поліссям мають на увазі східну частину правобережного Полісся, приблизно на схід від р. Ясельда, далі - Прип'яті, до впадання у неї Горині і вниз по цій ріці. Землі, що лежать на захід від вказаного кордону аж до р. Західний Буг, складають Західне Полісся.

До 20-х рр. ХХ ст. Полісся ділили за належністю земель до тієї чи іншої губернії й повіту: Волинське, Київське, Чернігівське, Брянсько-Жиздринське, Мінське, Могилівське, Гродненське. За сучасним адміністративним поділом вирізняємо Полісся українське, білоруське та

Брянсько-Жиздринське (російське). Українське Полісся має регіони за назвами областей: Волинське, Рівненське, Житомирське, Київське, Чернігівське, Сумське. А от сучасна українська фізична карта районує українську частину Полісся на такі зони: Волинське, Мале, Житомирське, Київське, Чернігівське, Новгород-Сіверське.

За чинним адміністративно-територіальним поділом Полісся охоплює Північну Київщину, Чернігівщину, Житомирщину (окрім південних районів), північні райони Сумської області, Рівненщину та Волинську область (окрім крайнього півдня останніх двох областей). Південну межу Полісся за діалектними ознаками мовознавці визначають умовною лінією Володимир-Волинський - на південь від Луцька - Здолбунів - Житомир - Фастів - Васильків - Переяслав-Хмельницький - Прилуки - по річці Сейм.

За ландшафтними особливостями Українське Полісся поділяється на п'ять фізико-географічних областей: Волинське, Житомирське, Київське, Чернігівське та Новгород-Сіверське Полісся.

## 2.2 Загальна характеристика природних умов Українського Полісся

Українське Полісся розташоване на півночі України, займає південно-західну частину великої зони мішаних лісів Східно-Європейської рівнини і є частиною єдиної фізико – географічної провінції з характерним для неї підтипом поліських ландшафтів

На півночі воно межує з Білоруським Поліссям, а південна частина його межа проходить із заходу на схід через такі пункти: Устилуг – Луцьк – Тучин – Межирічі – Корець – Житомир – на південь від Києва – Носівка – Ніжин – Батурин – Путивль – Королевець – Корп – Глухів. Межа між Поліссям і Лісостепом чітко виявляється у рельєфі, геологічній будові антропогенових відкладень, характері ґрунтів, рослинності [1].

Загальна площа Українського Полісся становить 113,5 тис. км кв. (19 % території України). Сюди входить більшість адміністративних районів



Волинської, Рівненської, Житомирської і Чернігівської областей, а також ряд районів Київської і Сумської областей.

За геоботанічним районуванням, воно є частиною Поліської підпровінції Східноєвропейської широколистянолісової провінції Європейської широколистянолісової області. Тут знаходяться понад 25 % природних кормових угідь і понад 2/5 площі усіх лісів України.

За фізико – географічним районуванням України, Українське Полісся є частиною зони змішаних лісів на території України і складається із 6 фізико – географічних областей: I. Волинське Полісся, II. Мале Полісся, III. Житомирське Полісся, IV. Київське Полісся, V. Чернігівське Полісся, VI. Новгород-Сіверське Полісся. Кожна з названих областей має свою фізико-географічну специфіку, яка знайшла належне відображення в характері розподілу ґрунтів, рослинності і, зокрема, дендрофлори.

Більшу частину території займає Поліська низовина з долинами численних річок, у заплавах яких багато лук та озер, які затоплюються поверхневими водами. Глибина річкових долин збільшується з півночі на південь і вони як правило, мають по дві-три заплавні тераси. На південь від Поліської низовини простягається Волино-Подільська височина, густо почленована долинами річок та балок.

У Житомирському та Волинському Поліссі слабо виражений макрорельєф і дуже розвинутий мезорельєф. Східна частина Житомирського Полісся являє собою моренну рівнину з грядово-хвилястим рельєфом. Мікрорельєф тут проявляється у вигляді різних за формами неглибоких западин. Східне Полісся – це древня тераса Дніпра і Десни. Місцевість цієї зони переважно мілкохвиляста рівнина, порізана густою сіткою річок з окремими підвищеннями і виступами корінного плато.

Для природних умов Українського Полісся характерним є рівнинний рельєф з широкими заболоченими річковими долинами, позитивний баланс вологи, переважання дерново-підзолистих і болотних ґрунтів та високий рівень ґрунтових вод.

До 70 % заболочених земель України припадає на Полісся. Значна зволоженість зумовила розвиток підзолистого та болотного процесів ґрунтоутворення і формування лучної, болотяної та лісової рослинності.

Клімат Українського Полісся менш континентальний і більш зволожений, ніж в інших фізико-географічних зонах України, з теплим і вологим літом та м'якою, хмарною зимою. Взимку формується він під впливом теплого і вологого повітря, яке надходить з Атлантики у вигляді циклонів, що викликають відлиги та збільшену кількість атмосферних опадів. На Полісся надходять також маси арктичного повітря, які зумовлюють взимку значне похолодання, а навесні – пізні заморозки [1].

Річна сума опадів на Поліссі становить 500 – 600 мм. , більшість(70%) випадає з квітня по жовтень

У вологі роки вона досягає 850 – 950, а в сухі – 300 – 400 мм. Випаровування не перевищує 400 – 450 мм. Коефіцієнт зволоження (відношення кількості опадів до випаровування) 1,9 – 2,8. В роки з ослабленою дією циклонів на Лівобережному Поліссі з'являються посухи та суховії.

За агрокліматичним районуванням України, Українське Полісся належить до вологої, помірно теплої зони. У кліматичному відношенні в Українському Поліссі виділяють три райони:

- Західний (Волинське та мале Полісся),
- Правобережний (Житомирське та Київське Полісся),
- Лівобережний (Чернігівське та Новгород-Сіверське Полісся).

Характерною особливістю для Полісся є перевищення суми опадів за рік над кількістю випарування з поверхні вологи. Це зумовлює промивний тип водного режиму, призводить до заболочування низьких ділянок, утворення болотних ґрунтів. Цьому процесу сприяє також високий рівень залягання ґрунтових вод. Проте кліматичні умови не однакові в різних районах Полісся, що в свою чергу, впливає на розвиток і розподіл рослинності, утворення різних рослинних формацій.

Середня річна температура в Українському Поліссі коливається від 6,8 °С (Житомир) до 6,4 °С (Чернігів).

Рельєф Українського Полісся являє собою рівнину. Правобережна частина Українського Полісся має загальний нахил топографічної поверхні з півдня на північ і північний схід від Прип'яті до Дністра, а лівобережна – на південний захід до долини Дніпра. Підвищення спостерігається у північно-західній частині Житомирського Полісся, де на значній площі висоти досягають 300–320 м. Це Словечансько-Овруцький кряж, що простягнувся більше як на 50 км зі сходу на захід, досягає в ширину 17–20 км (в середньому 10–15 км.). Цей кряж порушує типовий низинний характер рельєфу північної частини Полісся [1].

Однією з характерних ознак поліської території є значна обводненість, що зумовлено кліматичними умовами та рельєфом. Середня густота річкової сітки в межах Українського Полісся становить 0,29 км. Найбільші річки Українського Полісся - Дніпро, Десна, Прип'ять, Горинь, Стир, Тетерів, Уборть, Уж, Снов, Остер.

У межах Українського Полісся протікає близько 700 річок, які мають довжину понад 10 км. Високий рівень господарського освоєння водозбірних басейнів спричиняє порушення рівноваги природного ландшафту, умов формування стоку, погіршення якості води

На режим річок Українського Полісся значний вплив мають болота. Вони акумулюють вологу, затримують весняний спад води, а в посушливі періоди випаровують багато води і тому мають від'ємний вплив на живлення річок. Заболочення території досить велика – 1,8 млн. га. У західних районах Полісся заболочені землі становить 15 %, у північних – 40 %, У Київському та Чернігівському Поліссі 4,5 % загальної площі [16].

Характерними рисами природних умов Полісся є низинний рельєф з широкими заболоченими долинами, високий рівень підґрунтових вод, позитивний баланс вологи, панування дерново-підзолисих і болотних ґрунтів, значне поширення соснових лісів з домішкою широколистяних порід.

Особливо сильно заболочена її північно-західна частина. Площа торф'яних боліт Полісся становить 529,4 тис. га. Широкому розвитку процесів заболочування на Поліссі сприяють приплив річкових вод з навколишніх височин, позитивний баланс вологи, рівнинність і незначне дренажування поверхні, неглибоке залягання водонепроникних порід та великі весняні розливи річок.

Ґрунти Полісся сформувалися переважно на безкарбонатних піщаних та супіщаних відкладеннях в умовах значного зволоження під змішаними лісами. За ступенем кислотності їх поділяють на три групи: сильнокислі – рН 4,5 і нижче; кислі рН 4,6 – 5,5; слабокислі рН 5,6 – 6. Зональним типом ґрунтів є дерново-підзолисті та болотні, що займають значні площі. Крім того тут зустрічаються дерново-карбонатні, сірі лісові та злегка опідзолені чорноземи. Дерново-підзолисті ґрунти утворилися під пологом хвойних та мішаних лісів з трав'янистою рослинністю на водно-льодовикових, моренних і лесовидних відкладеннях. Тому підзолистий процес тут відбувається з одночасним нагромадженням гумусу, що дає можливість чітко визначити ґрунтові горизонти: гумусно-елювіальний (18-25 см), елювіальний та ілювіальний.

Вся територія Українського Полісся належить до зони змішаних лісів Східно-Європейської рівнини, в усіх частинах неоднорідна. Ця неоднорідність проявляється в геологічній будові та рельєфі, кліматичних умовах, строкатості ґрунтового та рослинного покривів.

### 2.3 Характеристика природних умов фізико-географічних особливостей Полісся

Це область зони мішаних лісів, яка займає більшу частину Житомирської і східну частину Рівненської адміністративних областей. Західна межа Житомирського Полісся проходить поблизу населених пунктів Клесів, Соснове, Корець, Шепетівка, а східна — поблизу Народичів. Малина,

Радомишля, Корнина. Ці межі пов'язані з виходами на денну поверхню порід Українського докембрійського щита, який, головним чином, зумовив виокремлення Житомирського Полісся.

Особливість його природного середовища виявляється в більш високому гіпсометричному положенні (180-200 м), будові й глибині розчленування рельєфу, гідрологічних і гідрогеологічних особливостях, меншій заболоченості й залісеності порівняно з іншими поліськими областями, своєрідності корисних копалин, пов'язаних з кристалічним щитом. Помітний вплив на сучасні ландшафти мають палеогеографічні умови території в антропогені. Західна, більш висока частина Житомирського Полісся, не покривалася льодовиком і морени тут немає. На схід від лінії, що проходить поблизу населених пунктів Словечно, Старі Веледники, Лугини, Кривотин, Житомир, Івниця знаходиться моренна частина області, де зустрічаються льодовикові форми рельєфу (моренні горби, ками, ози), переважають супіщані дерново-середньопідзолисті ґрунти та сосново-дубові ліси [16].

*Річкові долини* Житомирського Полісся глибоко врізані в докембрійські породи і на окремих ділянках мають характер долин прориву. Так р. Тетерів біля Денишів, Житомира і Коростишева має вузьку долину зі стрімкими скелястими схилами висотою до 25-30 м. Подібні ділянки долини має Уж у Коростені, Случ біля Новограда-Волинського, Уборть в Олевську, Ірша у Володарську-Волинському, Кам'янка біля Житомира та ін. На лесових "островах" у районі Словечансько-Овруцького кряжа, поблизу Новограда-Волинського. Городниці, Коростишева розвинуті ерозійні форми рельєфу. На Словечансько-Овруцькому кряжі яри мають глибину 20-30 м, а довжину до 3-3,5 км [9].

*Клімат* Житомирського Полісся за своїми особливостями займає проміжне положення між більш вологим і теплим кліматом Волинського Полісся і більш континентальним кліматом східних областей.

*Річки* Житомирського Полісся відрізняються від інших поліських річок швидкою течією, а на окремих ділянках - перекатами і порогами, вищим підйомом води під час повені. Рослинний покрив тут зберігся менше, розораність території змінюється від 15-30 % у північно-західній частині до 50 % у східній і центральній. З усіх поліських областей Житомирське Полісся найменш заболочене. Загальна площа боліт становить лише 2,9 % території. Великі болотні масиви поширені лише на північному заході й півночі області.

*Ландшафтна структура* Житомирського Полісся досить строката і складається з таких ландшафтних місцевостей.

Рівнинно-зандрові на кристалічній основі з переважанням дерново-слабопідзолистих ґрунтів під лісами борового і суборового типів. Воднольодовикові піски мають потужність 4-6 м і залягають на гранітах, гнейсах або продуктах їх вивітрювання. Місцями зустрічаються піщані вали і горби еолового походження, а в зниженнях - невеликі болота та заболочені землі. Найбільше ці місцевості поширені на північному заході в районі Ракитного, Городниці, Емільчина.

Рівнинно-зандрові та долинно-зандрові заболочені місцевості з дерново-слабопідзолистими глеюватими і болотними ґрунтами на докембрійських кристалічних, крейдових і палеогенових осадочних породах під лісами борового типу поширені в районі Олевська, Перги, р. Болотниця. Тут зустрічають верхові й перехідні болота площею понад 1000 га, з потужністю торф'яного шару до 4-5 м. Найбільші з боліт Озерянське і Гвоздь. У зниженнях і долинах розвинені осоково-гіпнові болота. В цих районах проведено меліоративні роботи.

Моренно-зандрові та моренно-горбисті з дерново-слабопідзолистими і дерново-середньо-підзолистими ґрунтами ландшафтні місцевості поширені в східній підобласті Житомирського Полісся поблизу Потієвки, Горбулева, Модилева, Дівочок, Торчина та ін.

Денудаційні хвилясто-рівнинні на кристалічних породах з дерново-слабопідзолистими щебенюватими ґрунтами місцевості мають значне поширення на межиріччях з високим заляганням докембрійських порід. Водно-льодовикові піски тут малопотужні або відсутні взагалі, зустрічаються елювіально-делювіальні щебенюваті відклади - продукти вивітрювання кристалічних порід. Такі ландшафтні місцевості поширені в районі м. Коростеня, поблизу сіл Краєвщини. Топорищ, Пекерщина та в інших районах [9].

У Житомирському Поліссі, на відміну від Волинського, поширені ландшафтні місцевості лесових островів із сірими лісовими ґрунтами, збезлісені й зайняті переважно сільськогосподарськими угіддями. На них розвинені яри і балки, відбуваються інтенсивні ерозійні процеси. Ці місцевості мають риси лісостепових ландшафтів. Вони зустрічаються на Словечансько-Овруцькому кряжі, у районі міст Новограда-Волинського, Житомира, Коростишева та ін.

Ландшафти Житомирського Полісся зазнали значних змін внаслідок антропогенної діяльності - вирубування лісів, меліорації, розорювання, а особливо у зв'язку з добуванням корисних копалин - гранітів, лабрадоритів, пегматитів, кварцитів, п'єзокварцу, розсипних родовищ ільменіту, бурого вугілля, гравію та ін.

Екологічна ситуація в області ускладнилася у зв'язку зі значним впливом Чорнобильської катастрофи. Особливо вона торкнулася Народицького, Коростенського та Овруцького районів.

На території Житомирського Полісся знаходяться один державний заповідник. Поліський, і ряд заказників. Поліський державний заповідник створено в 1968 р. в Олевському й Овруцькому районах. Його площа становить 20,1 тис. га, з них ліси займають 73 %, болота і заболочені землі - 22, луки - 2 %. Флора заповідника включає 528 видів вищих рослин. Серед природної рослинності реліктові та ендемічні види: рододендрон жовтий, дуб скельний, плющ звичайний та ін. Багатий і різноманітний тваринний світ,

який включає лосів, косуль, диких кабанів, вовків, рисей, бобрів, видр та 90 видів птахів.

Ландшафтний заказник Плотниця (464 га) є в Олевському районі з унікальними природно-територіальними комплексами. Гідрологічний заказник Дідове озеро з озерними екосистемами (54 га) знаходиться в Овруцькому районі. Лісовий заказник Поясковський (113 га) в Олевському районі з дубово-грабовими лісами засновано в 1926 р. Тут збереглися дуби-велетні віком 300-400 років.



### 3 СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ Й ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ

Розробка теорії фотосинтетичної продуктивності посівів сільськогосподарських культур стимулювала інтенсивний розвиток робіт по моделюванню продуційного 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 [2,3,5,13,18].

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 [10,11].

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 [44].

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) 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 [44].

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 [45]. 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 врожай. 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 [46].

Великий інтерес представляють дослідження по аналізу змін серед сортів картоплі з точки зору поглинання світла та використання світла [47]. 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 формується як проста модель росту сільськогосподарських культур. Щодня темпи росту розраховуються від падаючого світла та середньої ефективності використання світла.

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 [48].

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 [48].

Для аналізу наслідків зміни клімату на зростання картоплі, були розроблені дві моделі, модель POTATOS, це проста модель зростання картоплі та комплексна модель NPOTATO [49]. 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 *Phytophthora infestans 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, порядку 13-20 °С, 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 вчислити 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 [50].

Численними авторами були проведені дослідження по впливу екстремально-високих температур повітря та попереднього проростання бульб картоплі на врожайність картоплі для північно-кліматичних умов [51]. 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 [52].

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 [52].

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

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 ендогенних чинників у рослині відбувається формування єдиного фонду вільних вуглеводів  $C_{lab}$  та єдиного фонду вільного азоту  $N_{lab}$ .

У моделі розглядається, що ґрунт має 12 шарів: 0-2 см, 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 [31,32].

### 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;

$\alpha_{LS}$  і  $\alpha_S$  – альбедо РП і поверхні ґрунту;

$a_Q$  – функція пропускання сумарної радіації РП.

Альбедо рослинного покриву визначається за формулою

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

де

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

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

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

де  $\alpha_S$  – альбедо поверхні ґрунту;

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

$W_{SS}$  – вологість поверхневого шару ґрунту;

$W_{WP}$  – вологість стійкого в'янення;

$W_{FC}$  – найменша вологостемність ґрунту.

Функцію пропускання сумарної радіації знаходимо за формулою

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

де  $c_2, c_3$  – емпіричні постійні;

$k_S^L$  – емпірична постійна, що характеризує вплив геометричної структури РП на пропускання сонячної радіації.

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

$\varepsilon_L$  і  $\varepsilon_S$  – коефіцієнти сірості листя і ґрунту;

$\sigma$  – 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;

$\varepsilon_a$  – 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;

$\tau$  – 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  $\psi$  - потенціал тиску ґрунтової вологи;

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

$K(\Theta)$  – гідравлічна провідність;

$\Theta$  – 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 листкової поверхні

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

де  $L$  – відносна площа листкової поверхні (листяний індекс).

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

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

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

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

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

Транспірація рослинного покриву визначається за формулою Пенмана

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

де  $\Delta$  – нахил кривої залежності тиску насиченої водяної пари від температури повітря;

$\gamma_{ef}$  – ефективна психрометрична постійна;

$R_L$  – радіаційний баланс РП;

$ET_{pot}$  – випаровуваність;

$\lambda$  – 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;

$\rho$  – 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  $\gamma$  – 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;

$\chi$  – постійна Кармана;

$u$  – швидкість вітру на висоті  $z$ .

Продиховий опір визначається за формулою

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

де  $g_n$ ,  $g_x$ ,  $p_r$  – емпіричні параметри.

Випаровування з поверхні ґрунту  $E_S$  визначається як

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

Рівень ґрунтових вод визначається за методом Шебеко:

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

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

або

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

де

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

і величина  $V_p$  знаходиться як

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

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

$I_w$  – інфільтрація;

$V_p$  – розрахункове підживлення в зону аерації з ґрунтових вод;

$W_n$  – початковий вміст вологи у ґрунті;

$ET$  – сумарне випаровування;

$V_{max}$  – максимально можливе підживлення в зону аерації з ґрунтових

вод;

$k_w$  – коефіцієнт водовіддачі.



### 3.4 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;

$\Phi$  – 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  $\Phi_{pot}$  – інтенсивність потенційного фотосинтезу;

$a_C$  – нахил вуглекислотної кривої фотосинтезу;

$C_0$  – концентрація  $CO_2$  у повітрі;

$a_{\Phi}$  – нахил світлової кривої фотосинтезу;

$\Pi$  – поглинена рослинним покривом фотосинтетично активна радіація;

$\alpha_{\Phi}$  – онтогенетична крива фотосинтезу;

$\Psi_{\Phi}$  – 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

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

і

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

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;

$\alpha_R$  – онтогенетична крива дихання;

$dm / dt$  – приріст біомаси рослин;

$m$  – маса рослин;

$\varphi_R$  – 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 ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ );

$D_{ef}^{Nr}$  – ефективний коефіцієнт дифузії азоту у ґрунтовому розчині ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ );

$L_{funk}^r$  – 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  $\alpha_{sen}$  – 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 у 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;

$h_{\omega}$  – 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;

$I_w^{\omega}$  – інфільтрація води із одного шару в інший шар ґрунту.

Баланс нітратів у ґрунті записується як

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

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

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

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 Моделювання росту рослин

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

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

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

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

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:

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

де

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

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

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

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

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

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;

$\rho_s$  – 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;

$\rho_r$  – щільність коренів у ґрунті;

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

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

$d_r, d_\rho$  – емпіричні параметри.

Динаміка площі асимілюючої поверхні листя описується системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dL}{dt} = \frac{dm_{l\_func}}{dt} \frac{1}{\sigma_L} \quad \text{при} \quad \frac{dm_{l\_func}}{dt} \geq 0 \\ \frac{dL}{dt} = \frac{dm_{l\_func}}{dt} \frac{1}{\sigma_L k_s^l} \quad \text{при} \quad \frac{dm_{l\_func}}{dt} < 0 \end{array} \right., \quad (3.57)$$

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

$\sigma_L$  – 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 [30-32,34].

#### 4 МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КАРТОПЛІ

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

Діяльність людини змінила і продовжує змінювати поверхню Землі і склад її атмосфери. Деякі з цих змін мають прямий або опосередкований вплив на енергетичний баланс Землі і, таким чином, є чинниками, що впливають на зміну клімату. Радіаційний вплив є результатом зміни енергетичного балансу системи Земля як реакції на певні зовнішні фактори, при цьому позитивний радіаційний вплив веде до потепління, а негативний радіаційний вплив до похолодання кліматичної системи. Крім глобального середнього радіаційного та енергетичного впливу просторовий розподіл і часова еволюція впливу та зворотній кліматичний зв'язок також відіграють значну роль у визначенні можливого впливу різних факторів на клімат. Зміни поверхні суші можуть також впливати на локальний та регіональний клімат за допомогою процесів, які не є радіаційними за своєю природою [54].

Глобальні кліматичні моделі є основними інструментами, що використовуються для проектування тривалості та інтенсивності змін клімату в майбутньому. При цьому використовуються кліматичні моделі різних рівнів складності, від простих кліматичних до моделей перехідної складності, повних кліматичних моделей і моделей усєї Земної кліматичної системи. Ці моделі розраховують майбутні кліматичні режими на основі низки сценаріїв зміни антропогенних факторів. Для нових кліматичних розрахунків, виконаних у рамках проекту Coupled Model Intercomparison

Project Phase 5 (CMIP5) Всесвітньої програми досліджень клімату (World Climate Research Programme), використовується новий набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP).

Репрезентативні траєкторії концентрацій – сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів [54]. Слово репрезентативний означає, що кожна RCP показує лише один з багатьох можливих сценаріїв, які призвели б до отримання конкретних характеристик радіаційного впливу. Термін траєкторія підкреслює, що розглядаються не тільки рівні довгострокових концентрацій, але також і їх очікувана зміна, побудована в часі для визначення кінцевого результату. В усіх сценаріях RCP атмосферна концентрація CO<sub>2</sub> є вищою за сьогоднішній рівень унаслідок зростання сукупних викидів CO<sub>2</sub> протягом XXI століття.

Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: 2,6 Вт·м<sup>-2</sup> для RCP2.6; 4,5 Вт·м<sup>-2</sup> для RCP4.5; 6,0 Вт·м<sup>-2</sup> для RCP6.0 і 8,5 Вт·м<sup>-2</sup> для RCP8.5. Ці чотири RCP містять один сценарій зменшення викидів, який передбачає низький рівень впливу RCP2.6; два сценарії стабілізації RCP4.5 і RCP6.0 і сценарій з дуже високими рівнями викидів парникових газів RCP8.5 [37, 54].

Згідно RCP6.0 і RCP8.5, радіаційне вплив не досягає максимального значення до 2100 р., а продовжує постійно збільшуватись; в RCP2.6 цей вплив досягає максимуму і потім знижується; і в RCP4.5 він стабілізується до 2100 року.

Таким чином, RCP можуть відображати результати цілого ряду заходів в області клімату в XXI-му столітті в порівнянні з їх відсутністю в Спеціальній доповіді про сценарії викидів (СДСВ), що використовувались в попередніх доповідях з питань зміни клімату [53]. Сценарії СДСВ були розроблені лише з використанням послідовного підходу, іншими словами, соціально-економічних, демографічних та технологічних факторів, які потім

використовувалися в простих кліматичних моделях для визначення концентрацій парникових газів.

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

Сценарії RCP ґрунтуються на комбінації комплексних оціночних моделей, простих кліматичних моделей та моделей атмосферної хімії і глобального вуглецевого циклу. Хоча RCP охоплюють широкий діапазон значень сукупних впливів, вони не включають весь спектр викидів, описаних в літературі, особливо по аерозолях [37,54].

При моделюванні прогностичних змін режиму температури та опадів використовувались дані експерименту CORDEX – Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, що створений Всесвітньою програмою досліджень клімату для формування ансамблю прогностичних регіональних кліматичних моделей на всіх континентах в глобальному масштабі. Також CORDEX використовується для проектування клімату в регіональному масштабі, використовуючи статистичні та динамічні методи. Структура проектування клімату в межах CORDEX базується на новому наборі глобальних кліматичних моделей CMIP5. При проектування клімату CORDEX зосереджується на експериментах з використанням сценаріїв викидів – RCP4.5 і RCP8.5, які являють собою сценарії середнього та високого рівня викидів [55, 56].

#### 4.1 Оцінка агрокліматичних умов вегетації картоплі в Поліссі

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 р. у

відповідності з даними Агрокліматичного довідника України [1].

Аналіз тенденції впливу зміни клімату на показники фотосинтетичної продуктивності картоплі та на агрокліматичні умови вирощування картоплі виконано шляхом порівняння розрахованих за кліматичними сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 показниками та з середньо багаторічними даними за базовий 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 Поліссі.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5, терміни садіння картоплі змістяться на більш ранні строки в Поліссі – на 4 дні в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5, терміни садіння картоплі змістяться на більш ранні строки на 6 днів в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) (табл. 4.1).

Відповідно змістяться і строки появи сходів. В Поліссі сходи картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) спостерігалися 29.V, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 24.V, що на 5 днів раніше, а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 сходи картоплі спостерігались 21.V, що на 8 днів раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), в'янення бадилля за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) спостерігалось 10.VIII, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 4.VIII, що на 6 днів раніше, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в'янення бадилля

спостерігалось 2.VIII, що на 8 днів раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.).

Таблиця 4.1 – Фази розвитку картоплі в Поліссі за середньобагаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	Садіння	Сходи	Цвітіння	В'янення бадилля	Тривалість вегетаційного періоду, дні
1986-2005	01.V	29.V	03.VII	10.VIII	73
RCP4.5	26.IV	24.V	26.VI	4.VIII	72
Різниця	-4	-5	+7	-6	-1
1986-2005	01.V	29.V	03.VII	10.VIII	73
RCP8.5	24.IV	21.V	02.VII	2.VIII	73
Різниця	-6	-8	-1	-8	0

Тривалість вегетаційного періоду за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) в Поліссі склала 73 дня, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 72 дня, що на 1 день менше, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 тривалість вегетаційного періоду склала також 73 дня, як і в випадку з середньо багаторічними даними.

За умов реалізації сценаріїв зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 період сходи – цвітіння буде проходити при знижених температурах на 0,8-1,0 °С (табл. 4.2).

Зниженим буде і температурний режим в період цвітіння – в'янення бадилля на 0,3-0,4 °С у Поліссі. Таким чином, середня температура повітря за весь вегетаційний період за сценарієм зміни клімату RCP4.5 буде зниженою на 0,6 °С, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 буде зниженою на 0,7 °С.

Кількість опадів у період сходи – цвітіння зменшиться на 6 %, за сценарієм зміни клімату RCP4.5, кількість опадів у період сходи – цвітіння за сценарієм зміни клімату RCP8.5, збільшиться в Поліссі на 7 %, в порівнянні з середньо багаторічними даними (табл. 4.2).

За сценарієм зміни клімату RCP4.5, для періоду цвітіння – в’янення бадилля кількість опадів зменшиться в Поліссі на 33 %, кількість опадів для періоду цвітіння – в’янення бадилля за сценарієм зміни клімату RCP8.5, зменшиться на 40 %.

Сума температур за період сходи – цвітіння за сценарієм зміни клімату RCP4.5 зменшиться в Поліссі на 14 °С, а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 сума температур за період сходи – цвітіння збільшиться в Поліссі на 21 °С.

Сума температур за період цвітіння – в’янення бадилля за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Поліссі зменшиться на 67 °С, а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 зменшиться у Поліссі на 107 °С.

Таблиця 4.2 – Агрокліматичні умови вирощування картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	Період сходи – цвітіння			Період цвітіння – в’янення бадилля			Весь вегетаційний період		
	середня температура, °С	сума температур, °С	сума опадів, мм	середня температура, °С	сума температур, °С	сума опадів, мм	середня температура, °С	сума температур, °С	сума опадів, мм
1986 - 2005	16,6	604	108	19,2	710	117	17,9	1314	225
RCP4.5	15,8	590	102	18,8	643	84	17,3	1233	186
Різниця	-0,8	-14	-6%	-0,4	-67	-33%	-0,6	-81	-39%
1986 - 2005	16,6	604	108	19,2	710	117	17,9	1314	225
RCP8.5	15,6	625	115	18,9	603	77	17,2	1228	192
Різниця	-1	+21	+7%	-0,3	-107	-40%	-0,7	-86	-33%

Сума температур за період цвітіння – в’янення бадилля за сценарієм зміни клімату RCP4.5 в Поліссі зменшиться на 67 °С, а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 зменшиться на 107 °С.

Таким чином, сума температур за весь вегетаційний період за сценарієм зміни клімату RCP4.5 в Поліссі зменшиться на 81 °С, а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 на 86 °С.



#### 4.2 Порівняльна характеристика продуктивності картоплі в умовах зміни клімату в Поліссі

Для надання порівняльної характеристики продуктивності картоплі в умовах зміни клімату за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 в Поліссі були розраховані такі величини, як площа листя картоплі в період максимального розвитку, чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, приріст маси в період максимального розвитку, суха біомаса цілої рослини картоплі та урожай картоплі.

Площа листя картоплі в період максимального розвитку за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Поліссі на  $1,86 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 на  $1,21 \text{ м}^2/\text{м}^2$  в порівнянні з середньо багаторічними даними. (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 - Фотосинтетична продуктивність картоплі в Поліссі за середньобагаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	Площа листя картоплі в період максимального розвитку, $\text{м}^2/\text{м}^2$	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, $\text{г}/\text{м}^2$ декада	Приріст маси в період максимального розвитку, $\text{г}/\text{м}^2$	Суха біомаса цілої рослини картоплі, $\text{г}/\text{м}^2$	Урожай картоплі, ц/га
1986-2005	5,77	102	488	1726	173
RCP4.5	7,63	92	600	2125	235
RCP8.5	6,98	95	605	1982	206

Приріст маси картоплі в період максимального розвитку за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Поліссі на  $112 \text{ г}/\text{м}^2$ , а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 приріст маси картоплі в період максимального розвитку

збільшиться в Поліссі на  $117 \text{ г/м}^2$ , в порівнянні з середньо багаторічними даними. Таким чином, в залежності від цього і суха біомаса цілої рослини картоплі за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Поліссі на  $399 \text{ г/м}^2$ , а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 суха біомаса цілої рослини картоплі збільшиться в Поліссі на  $256 \text{ г/м}^2$ , в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.).

Урожай картоплі за сценарієм зміни клімату RCP4.5 в Поліссі буде складати 235 ц/га, що на 62 ц/га більше, ніж в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005).

Урожай картоплі за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в Поліссі буде складати 206 ц/га, що на 33 ц/га більше, ніж в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005).

Зниження сумарного випаровування буде спостерігатися в Поліссі на 3 мм, а сумарної випаровуваності на 49 мм в порівнянні з середньо багаторічними даними за сценарієм зміни клімату RCP4.5 (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 - Порівняння показників режиму вологозабезпеченості картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	І період Сходи – цвітіння			ІІ період цвітіння – в'янення бадилля			Вегетацій- ний період
	Сумарне випаро- вування, мм	Сумарна випарову- ваність, мм	Волого- забезпе- ченість, від.од	Сумарне випаро- вування мм	Сумарна випарову- ваність, мм	Волого- забезпе- ченість, від.од	Волого- забез- печеність, від.од
1986-2005	78	144	0,72	79	139	0,76	0,74
RCP4.5	75	95	1,05	50	126	0,52	0,75
Різниця	-3	-49		-29	-13		
1986-2005	8	144	0,72	79	139	0,76	0,74
RCP8.5	77	93	1,1	56	124	0,60	0,82
Різниця	-1	-51		-23	-15		

Сумарне випаровування за період цвітіння – в'янення бадилля за сценарієм зміни клімату RCP4.5 зменшиться на 29 мм і сумарна випаровуваність за цей же період зменшиться на 13 мм в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Відносна вологозабезпеченість за період сходи – цвітіння за середньо багаторічними даними становить 0,72 відн.од., а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 за цей же період становить 1,05 відн.од.

Відносна вологозабезпеченість за середньо багаторічними даними, за період цвітіння – в'янення бадилля становить 0,76 відн.од., а за цей же період за сценарієм зміни клімату RCP4.5 становить 0,52 відн.од.

Відносна вологозабезпеченість за весь вегетаційний період за середньо багаторічними даними становить 0,74 відн.од, а за весь вегетаційний період за сценарієм зміни клімату RCP4.5, становить 0,75 відн.од.

Сумарне випаровування за період сходи – цвітіння за сценарієм зміни клімату RCP8.5 зменшиться на 1 мм. Сумарна випаровуваність за цей же період зменшиться в Поліссі на 51 мм в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Сумарне випаровування за період цвітіння – в'янення бадилля за сценарієм зміни клімату RCP8.5 зменшиться в Поліссі на 23 мм. Сумарна випаровуваність за цей же період зменшиться на 15 мм в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Відносна вологозабезпеченість за період сходи – цвітіння за середньо багаторічними даними становить в Поліссі 0,72 відн.од. Відносна вологозабезпеченість за сценарієм зміни клімату RCP8.5, за цей же період становить в Поліссі 1,1 відн.од.

Відносна вологозабезпеченість за середньо багаторічними даними, за період цвітіння – в'янення бадилля становить в Поліссі 0,76 відн.од., а відносна вологозабезпеченість за цей же період за сценарієм зміни клімату RCP8.5 становить в Поліссі 0,60 відн.од.

Відносна вологозабезпеченість за весь вегетаційний період за середньо багаторічними даними становить в Поліссі 0,74 відн.од. Відносна вологозабезпеченість за весь вегетаційний період за сценарієм зміни клімату RCP8.5, становить в Поліссі 0,82 відн.од.

В Поліссі площа листя картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) збільшувалась до четвертої декади вегетації і набула максимального значення у четверту декаду вегетації і склала 5,77 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> (рис. 4.1).

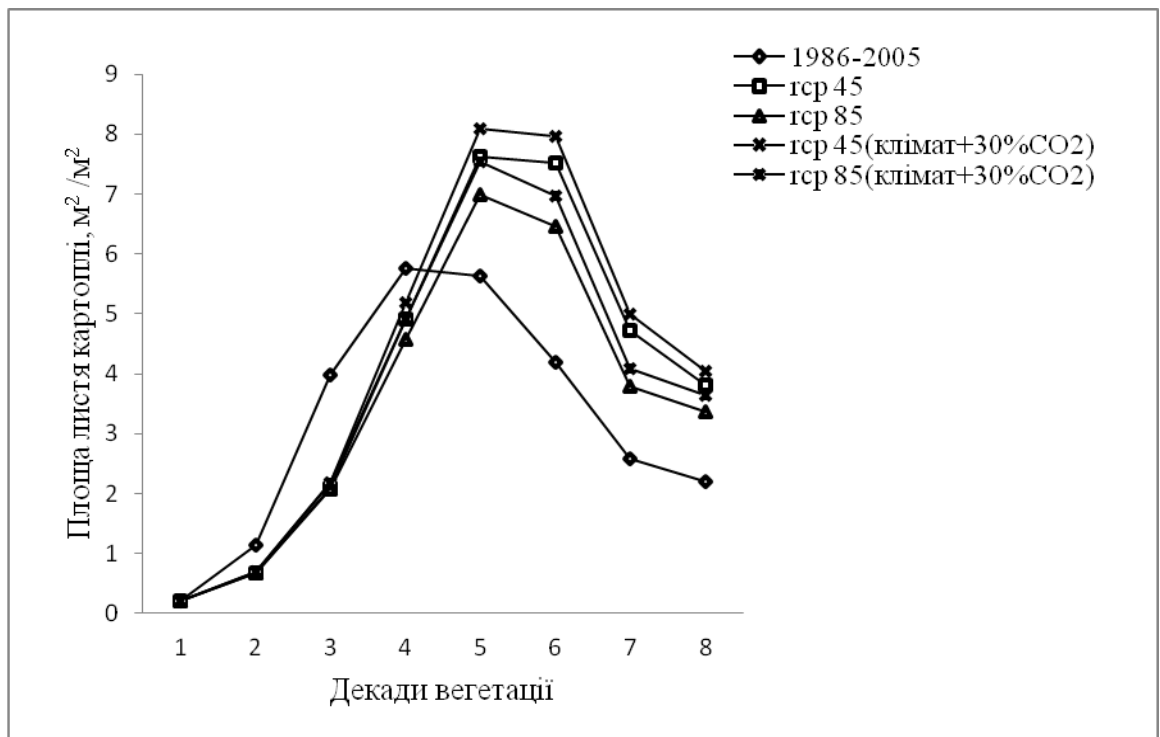


Рисунок 4.1 – Динаміка площі листя картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Площа листя картоплі за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 збільшувалась до п'ятої декади вегетації і набула максимального значення у п'яту декаду вегетації і склала 6,98-7,63 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Площа листя картоплі в Поліссі в період максимального розвитку за сценаріями зміни клімату

збільшилась на  $1,21-1,86 \text{ м}^2/\text{м}^2$  в порівнянні з середньо багаторічними даними.

В умовах збільшення  $\text{CO}_2$ , в Поліссі площа листя картоплі зростала до п'ятої декади вегетації і максимальне значення площі листя картоплі за умов збільшення  $\text{CO}_2$  складає  $7,54-8,10 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . В умовах збільшення  $\text{CO}_2$  площа листя картоплі збільшилась на  $1,77-2,33 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , в порівнянні з площею листя картоплі за середньо багаторічними даними.

В Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу збільшувалась с першої по третю декаду вегетації, потім почала знижуватися, як за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), так і за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 (рис. 4.2).

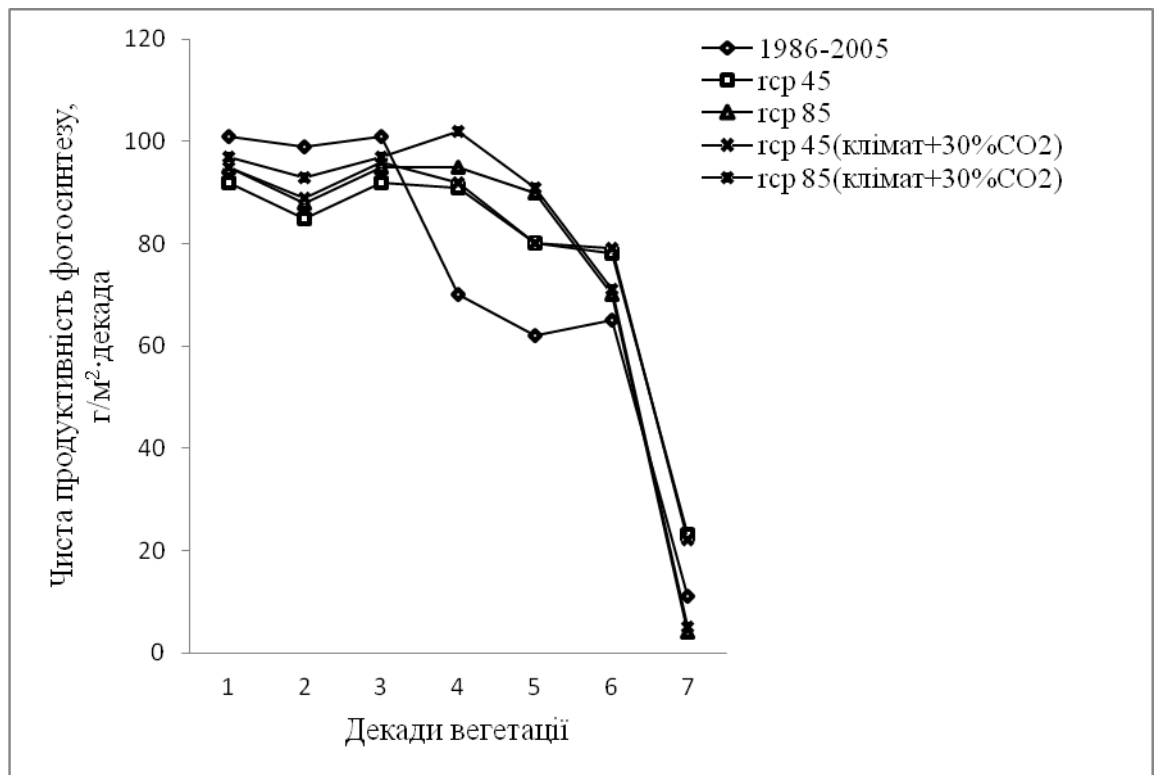


Рисунок 4.2 – Чиста продуктивність фотосинтезу картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

В Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу картоплі за середньо багаторічними даними, та за сценарієм RCP4.5, набула максимального значення у третю декаду вегетації і склала 92-102 г/м<sup>2</sup>·д, за сценарієм RCP8.5, чиста продуктивність фотосинтезу картоплі набула максимального значення у третю і четверту декаду вегетації і склала 95 г/м<sup>2</sup>·д, в умовах збільшення CO<sub>2</sub> в Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 склала 96-102 г/м<sup>2</sup>·д. В Поліссі максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі за сценаріями зміни клімату зменшилось на 7-10 г/м<sup>2</sup>·д, в порівнянні з середньо багаторічними даними.

За середньо багаторічними даними максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі в Поліссі складає 242 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, за сценарієм RCP4.5 фотосинтетичний потенціал картоплі збільшиться до 297 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, за сценарієм RCP8.5 фотосинтетичний потенціал картоплі збільшиться до 258 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. В умовах збільшення CO<sub>2</sub> в Поліссі фотосинтетичний потенціал картоплі складає 276-313 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> (рис. 4.3).

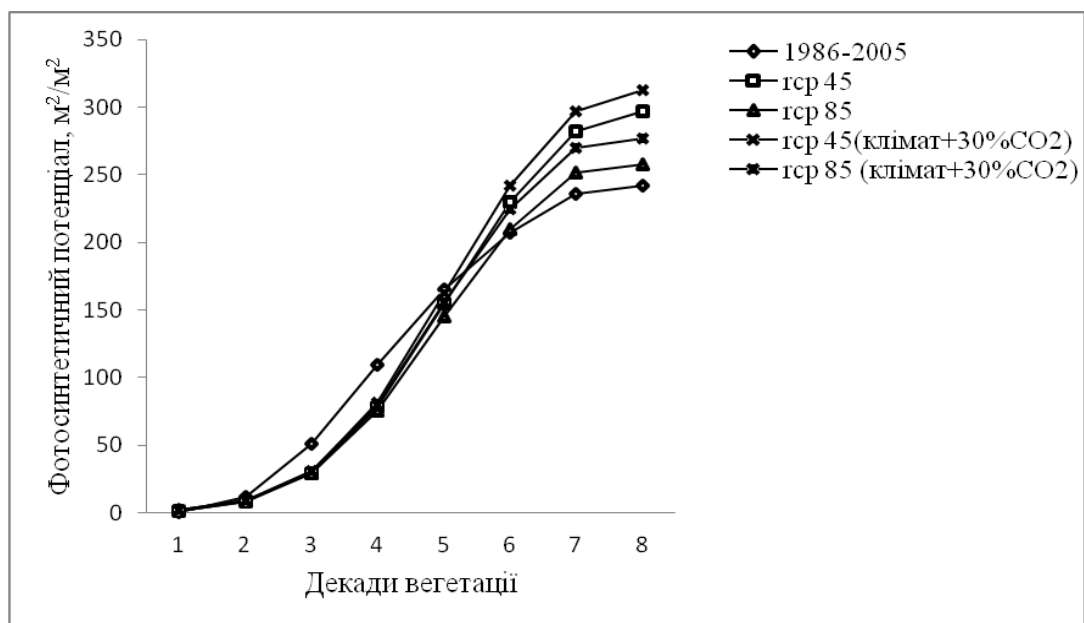


Рисунок 4.3 – Фотосинтетичний потенціал картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

В Поліссі максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі за сценаріями зміни клімату збільшиться на 16-55  $\text{м}^2/\text{м}^2$ , в порівнянні з середньо багаторічними даними, а в умовах збільшення  $\text{CO}_2$  максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі збільшиться на 35-71  $\text{м}^2/\text{м}^2$ , в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Суша біомаса бульб картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними почала набирати масу с четвертої декади вегетації і до восьмої декади вегетації і в восьму декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі в Поліссі склала 991  $\text{г}/\text{м}^2$  (рис. 4.4).

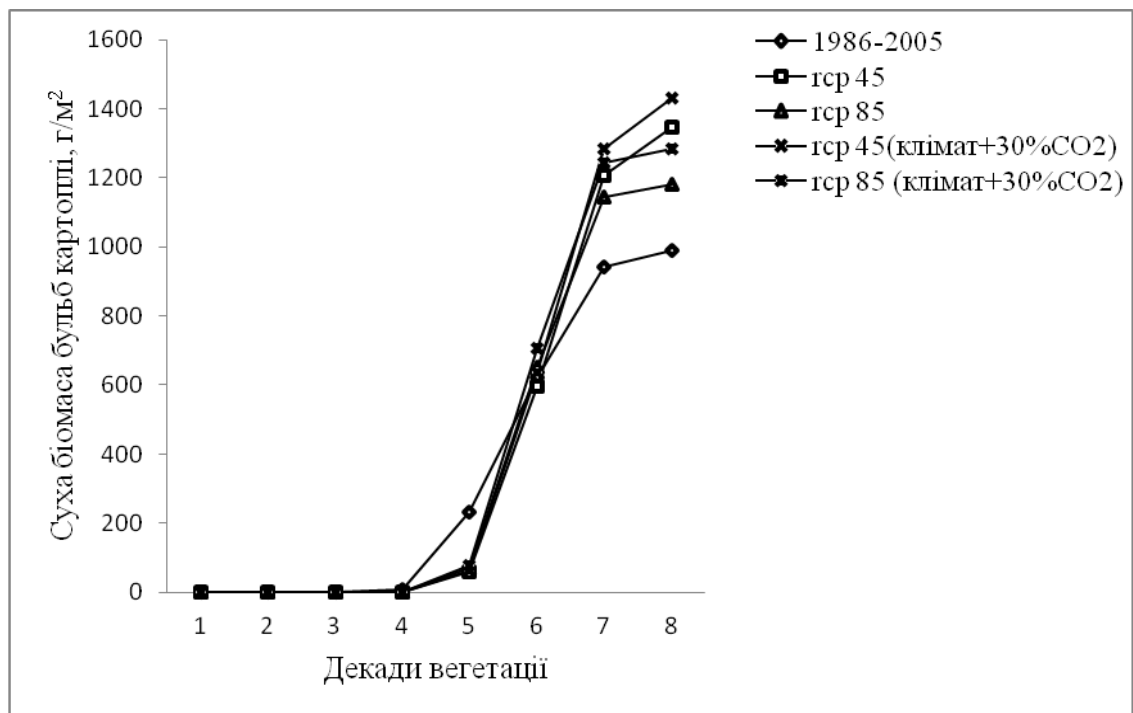


Рисунок 4.4 – Суша біомаса бульб картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в Поліссі, суха біомаса бульб картоплі почала набирати масу с п'ятої декади вегетації і до восьмої декади вегетації і в восьму декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі склала 1182-1345  $\text{г}/\text{м}^2$ .

Суша біомаса бульб картоплі в Поліссі за умов збільшення CO<sub>2</sub> почала набирати масу з п'ятої по восьму декаду вегетації і в восьму декаду вегетації склала 1284-1432 г/м<sup>2</sup>. Суша біомаса бульб картоплі в Поліссі в період максимального розвитку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 збільшилась на 191-345 г/м<sup>2</sup> в порівнянні з середньо багаторічними даними. Суша біомаса бульб картоплі в Поліссі за умов збільшення CO<sub>2</sub> збільшилась на 293-441 г/м<sup>2</sup> в порівнянні з середньо багаторічними даними.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 найбільші ризики недобору врожаю картоплі очікуються в Степу та в АР Крим. Значення ГТК в АР Крим становить 0,4 відн. од., в АР Крим спостерігається сильна посуха, тому ризик недобору урожаю буде значно високий і складатиме 70 % (табл. 4.5).

Високі ризики недобору врожаю картоплі очікуються в Дніпропетровській, Донецькій, Херсонській, Запорізькій та Кіровоградській областях 55-60 %, в цих областях значення ГТК складає 0,5-0,6 відн. од., в цих областях спостерігається середня посуха. В Луганській, Одеській та Миколаївській областях ризик недобору врожаю картоплі трохи знизиться і складатиме 50-53 %, значення ГТК в цих областях складатиме 0,5 відн.од. Високі ризики недобору врожаю картоплі також очікуються в Західному та Східному Лісостепу в Черкаській та Харківській областях. В цих областях спостерігається слабка посуха, значення ГТК складає 0,6-0,8 відн.од., ризик недобору врожаю картоплі буде 48-54 %.

Середні ризики недобору врожаю картоплі 28 % очікуються в Чернігівській області, в цій області значення ГТК збільшиться до 1,0 відн.од., це вказує на те, що Чернігівська області достатньо зволожена.

Низькі ризики недобору врожаю картоплі за сценарієм RCP4.5, можна очікувати в Поліссі, в Західному та Східному Лісостепу.

В Івано-Франківській, Закарпатській та Чернівецькій областях ризик недобору врожаю картоплі знизиться до 1 %, ці області достатньо зволоженні, на це вказує значення ГТК, яке дорівнює 1,5-1,8 відн.од..



Таблиця 4.5 – Очікувані ризики недобору врожаю картоплі за сценарієм зміни клімату RCP4.5 в 2021-2050 рр.

0-18 % - низькі, 19-36 % - середні, 37-55 % - високі, >55 % - значно високі

№ п/п	Область	Ризики недобору врожаю		Середнє річне ГТК, відн.од.
		%	оцінка	
1	Волинська	3	низькі	1,4
2	Житомирська	3	низькі	1,1
3	Івано-Франківська	1	низькі	1,8
4	Львівська	2	низькі	1,4
5	Рівненська	3	низькі	1,4
6	Чернігівська	28	середні	1,0
7	Закарпатська	1	низькі	1,7
8	Вінницька	5	низькі	1,1
9	Київська	10	низькі	0,9
10	Полтавська	48	високі	0,8
11	Сумська	13	низькі	1,0
12	Тернопільська	3	низькі	1,4
13	Харківська	54	високі	0,6
14	Хмельницька	11	низькі	1,3
15	Черкаська	48	високі	0,8
16	Чернівецька	1	низькі	1,5
17	АР Крим	70	значно високі	0,4
18	Дніпропетровська	55	високі	0,6
19	Донецька	55	високі	0,6
20	Запорізька	60	значно високі	0,5
21	Кіровоградська	58	значно високі	0,7
22	Луганська	51	високі	0,5
23	Миколаївська	53	високі	0,5
24	Одеська	52	високі	0,5
25	Херсонська	60	значно високі	0,5

В Волинській, Житомирській, Львівській, Рівненській, Тернопільській та Вінницькій областях ризик недобору врожаю картоплі залишиться низьким 3-5 %, значення ГТК в цих областях дорівнює 1,1-1,4 відн.од., а в Сумській, Хмельницькій і Київській областях ризик недобору врожаю картоплі трохи збільшиться до 10-13 %.

Середні ризики недобору врожаю картоплі 28 % очікуються в Чернігівській області, в цій області значення ГТК збільшиться до 1,0 відн.од., це вказує на те, що Чернігівська області достатньо зволожена.

Низькі ризики недобору врожаю картоплі за сценарієм RCP4.5, можна очікувати в Поліссі, в Західному та Східному Лісостепу. В Івано-Франківській, Закарпатській та Чернівецькій областях ризик недобору врожаю картоплі знизиться до 1 %, ці області достатньо зволоженні, на це вказує значення ГТК, яке дорівнює 1,5-1,8 відн.од.. В Волинській, Житомирській, Львівській, Рівненській, Тернопільській та Вінницькій областях ризик недобору врожаю картоплі залишиться низьким 3-5 %, значення ГТК в цих областях дорівнює 1,1-1,4 відн.од., а в Сумській, Хмельницькій і Київській областях ризик недобору врожаю картоплі трохи збільшиться до 10-13 %.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5 високі ризики недобору врожаю картоплі очікуються в Степу та в АР Крим, в АР Крим спостерігається сильна посуха, значення ГТК складає 0,5 відн.од., ризик недобору врожаю становить 47 %. Високі ризики недобору врожаю картоплі 50 % спостерігаються в Запорізькій та Луганській областях, трохи нижчі ризики втрати врожаю картоплі в Донецькій, Кіровоградській, Миколаївській та Одеській областях 45-47 %, значення ГТК в цих областях коливається від 0,4 до 0,6 відн.од. (табл. 4.6).

В Полтавській, Харківській і Дніпропетровській області очікуються середні ризики недобору врожаю картоплі 20-35 %, в цих областях значення ГТК збільшується до 0,7-0,8 відн.од., на даній території спостерігається слабка посуха.

Низькі ризики недобору врожаю картоплі за сценарієм RCP8.5, можна очікувати в Поліссі, в Західному та Східному Лісостепу.

В Івано-Франківській та Закарпатській областях ризик недобору врожаю картоплі знизиться до 1 %, ці області достатньо зволоженні, на це вказує значення ГТК, яке дорівнює 1,7 відн.од.

Таблиця 4.6 – Очікувані ризики недобору врожаю картоплі за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в 2021-2050 рр.

0-18 % - низькі, 19-36 % - середні, 37-55 % - високі, >55 % - значно високі

№ п/п	Область	Ризики недобору врожаю		Середнє річне ГТК, відн.од.
		%	оцінка	
1	Волинська	2	низькі	1,4
2	Житомирська	5	низькі	1,3
3	Івано-Франківська	1	низькі	1,7
4	Львівська	3	низькі	1,4
5	Рівненська	2	низькі	1,4
6	Чернігівська	6	низькі	1,1
7	Закарпатська	1	низькі	1,7
8	Вінницька	6	низькі	1,1
9	Київська	7	низькі	1,0
10	Полтавська	20	середні	0,8
11	Сумська	4	низькі	1,0
12	Тернопільська	3	низькі	1,4
13	Харківська	35	середні	0,7
14	Хмельницька	4	низькі	1,0
15	Черкаська	18	низькі	0,8
16	Чернівецька	3	низькі	1,4
17	АР Крим	47	високі	0,5
18	Дніпропетровська	35	середні	0,6
19	Донецька	45	високі	0,5
20	Запорізька	50	високі	0,4
21	Кіровоградська	45	високі	0,6
22	Луганська	50	високі	0,4
23	Миколаївська	45	високі	0,6
24	Одеська	45	високі	0,6
25	Херсонська	47	високі	0,5

В Волинській, Житомирській, Львівській, Рівненській, Тернопільській, Сумській та Чернівецькій областях ризик недобору врожаю картоплі залишиться низьким 3-5 %, значення ГТК в цих областях дорівнює 1,1-1,4 відн.од., а в Чернігівській, Вінницькій, Київській та Черкаській областях ризик недобору врожаю картоплі трохи збільшиться від 7 до 18 %.

В Полтавській, Харківській і Дніпропетровській області очікуються середні ризики недобору врожаю картоплі 20-35 %, в цих областях значення ГТК збільшується до 0,7-0,8 відн.од., на даній території спостерігається слабка посуха.

Низькі ризики недобору врожаю картоплі за сценарієм RCP8.5, можна очікувати в Поліссі, в Західному та Східному Лісостепу. В Івано-Франківській та Закарпатській областях ризик недобору врожаю картоплі знизиться до 1 %, ці області достатньо зволоженні, на це вказує значення ГТК, яке дорівнює 1,7 відн.од. В Волинській, Житомирській, Львівській, Рівненській, Тернопільській, Сумській та Чернівецькій областях ризик недобору врожаю картоплі залишиться низьким 3-5 %, значення ГТК в цих областях дорівнює 1,1-1,4 відн.од., а в Чернігівській, Вінницькій, Київській та Черкаській областях ризик недобору врожаю картоплі трохи збільшиться від 7 до 18 %.

Розподіл ризиків недобору урожаю картоплі по території України змінюється із Заходу на Схід за сценарієм зміни клімату RCP4.5. Найменші ризики недобору врожаю картоплі спостерігатимуться в Поліссі та в Західному Лісостепу, так в Закарпатській, Івано-Франківській, Волинській, Рівненській, Житомирській, Тернопільській і Вінницькій областях ризики недобору врожаю картоплі коливатимуться від 1 % до 10 %, це свідчить про те, що зона достатньо зволожена (рис. 4.5).

В Полтавській, Харківській і Дніпропетровській області очікуються середні ризики недобору врожаю картоплі 20-35 %, в цих областях значення ГТК збільшується до 0,7-0,8 відн.од., на даній території спостерігається слабка посуха.

Низькі ризики недобору врожаю картоплі за сценарієм RCP8.5, можна очікувати в Поліссі, в Західному та Східному Лісостепу. В Івано-Франківській та Закарпатській областях ризик недобору врожаю картоплі знизиться до 1 %, ці області достатньо зволоженні, на це вказує значення ГТК, яке дорівнює 1,7 відн.од.

В Волинській, Житомирській, Львівській, Рівненській, Тернопільській, Сумській та Чернівецькій областях ризик недобору врожаю картоплі залишиться низьким 3-5 %, значення ГТК в цих областях дорівнює 1,1-1,4 відн.од., а в Чернігівській, Вінницькій, Київській та Черкаській областях ризик недобору врожаю картоплі трохи збільшиться від 7 до 18 %.

В Полтавській, Харківській і Дніпропетровській області очікуються середні ризики недобору врожаю картоплі 20-35 %, в цих областях значення ГТК збільшується до 0,7-0,8 відн.од., на даній території спостерігається слабка посуха.

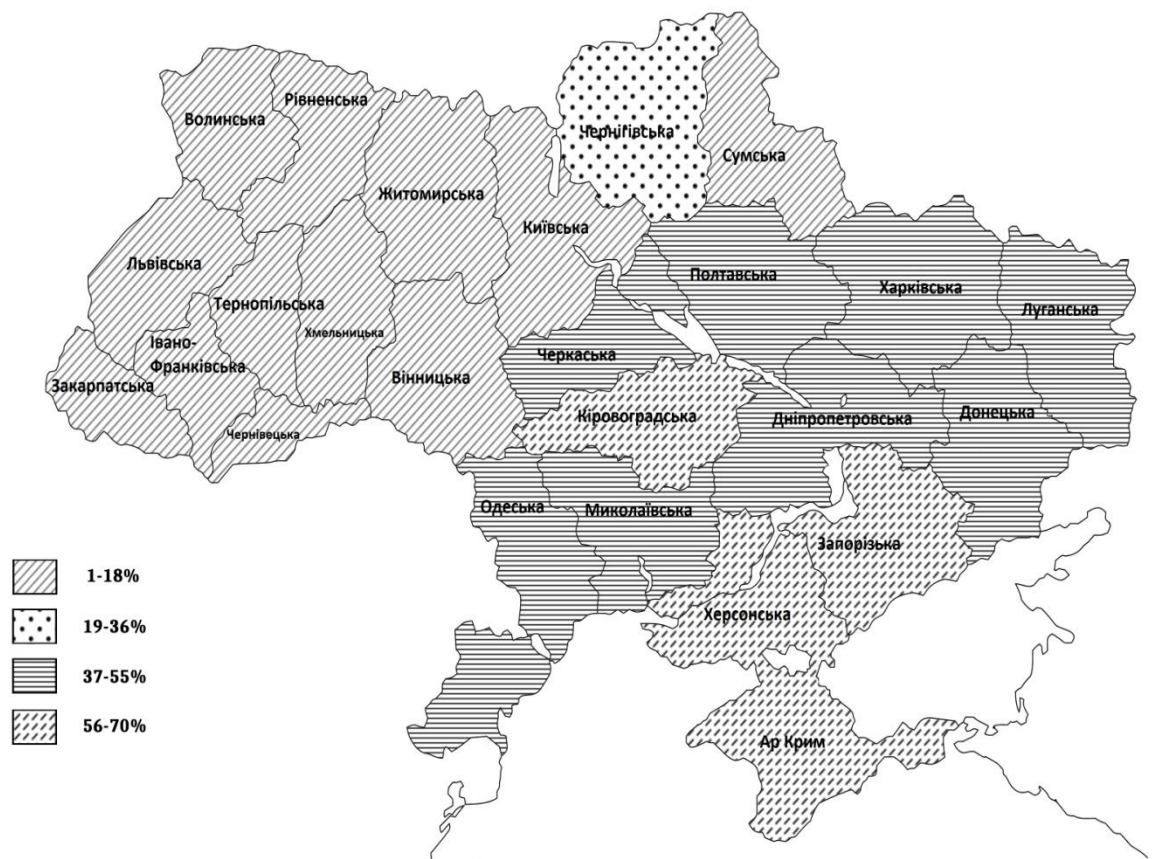


Рисунок 4.5 – Карта розподілу ризиків недобору врожаю картоплі за сценарієм зміни клімату RCP4.5, %.

Низькі ризики недобору врожаю картоплі за сценарієм RCP8.5, можна очікувати в Поліссі, в Західному та Східному Лісостепу. В Івано-Франківській та Закарпатській областях ризик недобору врожаю картоплі

знизиться до 1 %, ці області достатньо зволоженні, на це вказує значення ГТК, яке дорівнює 1,7 відн.од. В Волинській, Житомирській, Львівській, Рівненській, Тернопільській, Сумській та Чернівецькій областях ризик недобору врожаю картоплі залишиться низьким 3-5 %, значення ГТК в цих областях дорівнює 1,1-1,4 відн.од., а в Чернігівській, Вінницькій, Київській та Черкаській областях ризик недобору врожаю картоплі трохи збільшиться від 7 до 18 %.

Розподіл ризиків недобору врожаю картоплі по території України змінюється із Заходу на Схід за сценарієм зміни клімату RCP4.5. Найменші ризики недобору врожаю картоплі спостерігатимуться в Поліссі та в Західному Лісостепу, так в Закарпатській, Івано-Франківській, Волинській, Рівненській, Житомирській, Тернопільській і Вінницькій областях ризики недобору врожаю картоплі коливатимуться від 1 % до 10 %, це свідчить про те, що зона достатньо зволожена.

Дещо більші ризики недобору врожаю картоплі спостерігатимуться в Східному Лісостепу, так в Сумській, Київській і Чернігівській областях ризики недобору врожаю картоплі коливатимуться від 13 % до 28 %.

Високі ризики недобору врожаю картоплі спостерігатимуться в Південному Степу, так в Миколаївській, Херсонській, Запорізькій і Одеській областях ризики недобору врожаю картоплі будуть коливатися від 50 % до 60 %. Трохи нижчі ризики недобору врожаю картоплі спостерігатимуться в Північному Степу від 45 % до 50 %.

Найбільші ризики недобору врожаю картоплі до 70 % спостерігатимуться в АР Крим.

За сценарієм зміни клімату RCP8.5 розподіл ризиків недобору врожаю картоплі по території України змінюється із Заходу на Схід. Найменші ризики недобору врожаю картоплі спостерігатимуться в Поліссі та в Західному Лісостепу(рис. 4.6).

В Закарпатській, Івано-Франківській, Тернопільській, Хмельницькій і Чернівецькій областях будуть найменші ризики недобору врожаю картоплі 1-

3 %. Трохи більші ризики недобору врожаю картоплі будуть в Волинській, Рівненській, Житомирській, Хмельницькій, Вінницькій, Київській і Чернігівській областях і коливатимуться від 4 до 8 %. Далі з просуванням на Південь ризики недобору врожаю картоплі будуть збільшуватися. Дещо більші ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в Східному Лісостепу. В Полтавській, Харківській, Черкаській областях ризики недобору урожаю картоплі коливатимуться від 18 % до 35 %.



Рисунок 4.6 – Карта розподілу ризиків недобору врожаю картоплі за сценарієм зміни клімату RCP8.5, %.

Високі ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в Південному Степу. В Одеській, Херсонській і Миколаївській області ризики недобору урожаю картоплі становлять 45-47 %.

Найбільші ризики недобору урожаю картоплі будуть в Запорізькій, Донецькій і Луганській областях 45-50 % та в АР Крим 47 %.

Таким чином, за умов реалізації сценаріїв зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 виконана оцінка впливу зміни клімату на продуктивність картоплі.

Встановлені оптимальні агрометеорологічні та агрокліматичні умови, при яких спостерігається максимальна продуктивність посадок картоплі. Проведено порівняння показників фотосинтетичної продуктивності картоплі, за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5. Проведено порівняння сухої біомаси бульб картоплі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

За сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 виконана оцінка розподілу ризиків недобору урожаю картоплі по території України. Найменші ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в Поліссі та в Західному і Східному Лісостепу. Високі ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в Південному Степу. Найбільші ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в АР Крим.



## ВИСНОВКИ

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 [12].

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

1. Визначені біологічні особливості картоплі та її вимоги до агрокліматичних показників.
2. Вивчена фізико-географічна характеристика та біогеографічні особливості Полісся.
3. Вивчена базова динамічна модель формування урожаю сільськогосподарських культур.
4. Проведена оцінка продукційного процесу картоплі в умовах зміни клімату.
5. Встановлені оптимальні агрометеорологічні та агрокліматичні умови, при яких спостерігається максимальна продуктивність посадок картоплі.

6. Розраховані фази розвитку картоплі та тривалість вегетаційного періоду за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

7. Проведено порівняння показників фотосинтетичної продуктивності картоплі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

8. Розрахована площа листя картоплі (за середньо багаторічними даними максимальна площа листя картоплі склала  $5,77 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 склала  $6,98-7,63 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , в умовах збільшення  $\text{CO}_2$ , площа листя картоплі складає  $7,54-8,10 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ).

9. Розрахована суха біомаса бульб картоплі (за середньо багаторічними даними максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі становить  $991 \text{ г}/\text{м}^2$ , за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 суха біомаса бульб картоплі склала  $1182-1345 \text{ г}/\text{м}^2$ . Суха біомаса бульб картоплі за умов збільшення  $\text{CO}_2$  склала  $1284-1432 \text{ г}/\text{м}^2$ ).

10. Розрахована чиста продуктивність фотосинтезу (за середньо багаторічними даними максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу становить  $92 \text{ г}/\text{м}^2$ , за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 чиста продуктивність фотосинтезу склала  $95-102 \text{ г}/\text{м}^2$ , в умовах збільшення  $\text{CO}_2$  чиста продуктивність фотосинтезу за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 склала  $96-102 \text{ г}/\text{м}^2\text{д}$ ).

11. Розрахований фотосинтетичний потенціал картоплі (за середньо багаторічними даними максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі складає  $242 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , за сценарієм RCP4.5 фотосинтетичний потенціал картоплі становить  $297 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , за сценарієм RCP8.5 фотосинтетичний потенціал картоплі становить  $258 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . В умовах збільшення  $\text{CO}_2$  фотосинтетичний потенціал картоплі складає  $276-313 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ).

12. За сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 виконана оцінка розподілу ризиків недобору урожаю картоплі по території України. Найменші ризики недобору врожаю картоплі спостерігатимуться в Поліссі та

в Західному і Східному Лісостепу. Високі ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в Південному Степу. Найбільші ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в АР Крим.

Всі розрахунки і графіки були розраховані та побудовані на основі базових середньо багаторічних даних за 1986-2005 рр. та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 у Поліссі України.

Дані розрахунки не можна вважати повною мірою прогнозами, оскільки зовнішні впливи на модельну кліматичну систему (наприклад, антропогенні викиди парникових газів та аерозолів в атмосферу) задаються відповідно до різних сценаріїв розвитку людства, вірогідність яких в свою чергу невизначена. Незважаючи на висвітлені недоліки, математичне моделювання залишається одним із найефективніших методів довгострокового прогнозу змін метеорологічних величин для дослідження клімату майбутнього. А для України використання засобів моделювання є значимим кроком у розвитку методів дослідження клімату та дозволяє йти в ногу з методологічними тенденціями сучасної науки [27].

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Агрокліматичний довідник по території України. /під ред.. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіді, А.Л. Прокопенка. Кам'янець-Подільський: 2011. 108 с.
2. Антоненко В.С. Динамическое моделирование роста, развития и формирования продуктивности озимой пшеницы. В.С. Антоненко. К.: АртЭк, 2002. 64с.
3. Бобылев С.Н. Глобальное изменение климата и экономическое развитие. С.Н. Бобылев, И.Г. Грицевич. М.: ЮНЕП, 2005. 64 с.
4. Богданов О.І. Важливий резерв підвищення врожайності картоплі / О.І. Богданов, А.А. Осипчук, О.Ф. Кравець //Вісник сільськогосподарської науки, 1986, № 6.
5. Бондаренко Н.Ф. Моделирование продуктивности агроэкосистем. Н.Ф. Бондаренко, И.Г. Жуковский, И.Г. Мушкина и др. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 264 с.
6. Географічна енциклопедія України (у 3 т.) редколегія: Маринич О.М. (відпов. ред.) та ін. К.: «Українська радянська енциклопедія» ім. Бажана М.П., 1989.
7. Гродзінський М.А. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник / М.А. Гродзінський К.: Вид-во «Українська енциклопедія» ім. Бажана М.П., Український виробничо-комерційний центр «Олімп», 1992. 544 с.
8. Гупало П.И. Рост и развитие картофельного растения в связи с условиями среды // Физиология сельскохозяйственных растений (в 12 томах) / П.И. Гупало, Н.М. Гончарик (отв. ред. Потапов Н.Г.). М.: Изд-во МГУ, 1971.
9. Дітчук Т.Л. Фізична географія України. Т.Л. Дітчук, О.В. Заставецька, І.В Брущенко. 1971.

10. 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.
11. Карпатський Інститут Розвитку Агентство сприяння сталому розвитку Карпатського регіону «ФОРЗА» Брошура «Адаптація до зміни клімату», 2015.
12. Клімат України /За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
13. Кондратьев К.Я. Глобальные изменения на рубеже тысячелетий // К.Я. Кондратьев. Вестник РАН. 2000.
14. 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.
15. 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 Г.О., Н.В. Гнатюк. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2008. №257.
16. Краткий агроклиматический справочник Украины. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 256 с.
17. Кулик М.С. Погода и минеральные удобрения. М.С. Кулик. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 168 с.
18. Курицкий Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0. Б.Я. Курицкий. С-Пб.: ВНУ-Санкт Петербург, 1997. 384 с.
19. Лавров С.Б. Глобальные проблемы современности. С.Б. Лавров. СПб.: Проспект, 2000. 341 с.
20. Ліхацькій В.І. Овочівництво. В.І. Ліхацькій, Ю.Є. Бургарт. Практикум. К.: Вища школа, Іл., 1994. 366 с.

21. Мазуров Г.И. Меняется ли климат Земли // Г.И. Мазуров, Т.В. Вишнякова, В.И. Акселевич. Материалы Международной научно-практической конференции Пермь. 2002.
22. Методика исследований по культуре картофеля. М.: ВАСХНИЛ, 1967. 263 с.
23. 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.
24. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур. / Под ред. Ф.В. Пеннинга де Фриза и Х.Х. ван Лаара. Л.: Гидрометеиздат, 1996. 320 с.
25. Монсимов С.П. Довідник овочівника степу України. С.П. Монсимов, Л.М. Сапожнікова, Ю.Е. Клечковський. 2014.
26. Муминов Ф.А. Тепловой баланс и метеорологический режим картофельного поля. Ф.А. Муминов. 1963. 150 с.
27. Наук. праці УкрНДГМІ, 2010. 259 с.
28. Орден Дж. Глобальная экология. М.: Мир, 1999. 377 с.
29. Подпратов Г.І. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Г.І. Подпратов, Л.Ф. Скалецька, А.М. Сеньков. Практикум: Навч. посібник. К.: Вища освіта, 2004. 272 с.
30. Полевой А.Н. Моделирование фотосинтеза зеленого листа у растений С-3 и С-4 при изменении концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере // А.Н. Полевой. В сб. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. С-Пб.: Гидрометеиздат, 2010. Том XXIII.
31. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. А.Н. Полевой. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 319 с.
32. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. А.Н. Полевой. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 175 с.

33. 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.
34. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем. А.М. Польовий. К.: КНТ, 2007. 344 с.
35. Поповича Ф.Я. Урожай. Ф.Я. Поповича. Киев: 1985. 664 с.
36. Стаття «Про деякі завдання аграрної науки у зв'язку зі змінами клімату» Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства. Лісостеп. Київ. 2004.
37. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату: підручник / С.М. Степаненко. Одеса: Екологія, 2013. 204 с.
38. Україна та глобальний парниковий ефект. (Книга 2) Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату. /За ред. В.В. Васильченка, М.В. Рапцуна, І.В. Трофимової. Київ: 1998. 208 с.
39. Франс Дж., Торнли Дж. Х М. Математические модели в сельском хозяйстве. М.: Агропромиздат, 1990. 303 с.
40. 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.
41. 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.
42. Delworth T.L. et al. GFDL's CM2 Global Climate Model. Part I: Formulation and simulation characteristics //J. Climate. 2006. V. 19. 643. 674p.
43. 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.
44. Stastna Milada, Dufkova Jana. Potato Simulation Model and its Evaluation in Selected Central European Country. Agricultural Conspectus Scientificus (ACS) 01. 2008.

45. 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 агроєкосистем України: Сучасний погляд та інновації», 29 квітня 2018 року, Полтава: ПДАА, 2018. С.43-48.
46. 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. 32-34.