

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Природоохоронний факультет
Кафедра агрометеорології
та агрометеорологічних прогнозів

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ
рівень вищої освіти: «спеціаліст»

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

Виконала студентка I курсу групи ПЕ-50
спеціальності 101 «Екологія»
спеціалізації «Прикладна екологія»

Соломаха Ольга Вікторівна

Керівник к.геогр.н., доц.
Свидерська Світлана Михайлівна

Рецензент к.геогр.н., доц.
Бояринцев Євген Львович

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет природоохоронний
Кафедра агрометеорології та агрометеорологічних прогнозів
Рівень вищої освіти спеціаліст
Спеціальність 101 «Екологія», спеціалізація «Прикладна екологія»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів

Польовий А.М.

« 13 » березня 2017 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТЦІ

СОЛОМАХІ ОЛЬЗИ ВІКТОРІВНІ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Оцінка продукційного процесу картоплі в умовах зміни клімату в Поліссі»

керівник проекту Свидерська Світлана Михайлівна, к. геогр. н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 17 грудня 2016 року № 372-«С»

2. Строк подання студентом проекту 1 червня 2017 року

3. Вихідні дані до проекту Оцінка продукційного процесу картоплі в умовах зміни клімату в Поліссі

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Оцінити агрокліматичні умови вегетації картоплі, провести чисельний експеримент продуктивності картоплі в умовах зміни клімату в Поліссі, провести порівняльну характеристику продуктивності картоплі в умовах зміни клімату в Поліссі за сценаріями зміни клімату А1В та А2.

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

Графіки динаміки площі листя картоплі в Поліссі за середньобагаторічними даними та за сценаріями зміни клімату А1В та А2. Графіки сухої біомаси бульб картоплі в Поліссі за середньобагаторічними даними та за сценаріями зміни клімату А1В та А2.

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання 13 березня 2017 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання, збір даних для виконання проекту	13.03.2017 р.- 26.03.2017 р.	92,0	Відм.
2	Ознайомлення з об'єктом дослідження, методиками проведення розрахунків, написання вступу, глави 1	27.03.2017 р.- 02.04.2017 р.	88,0	Добре
	Атестація I	03.04.2017 р.- 08.04.2017 р.	90,0	Відм.
3	Вивчення динаміко-математичної моделі продукційного процесу картоплі	09.04.2017 р.- 23.04.2017 р.	92,0	Відм.
4	Проведення чисельного експерименту продуктивності картоплі в умовах зміни клімату в Поліссі	24.04.2017 р.- 02.05.2017 р.	89,0	Добре
	Атестація II	03.05.2017 р.- 06.05.2017 р.	90,0	Відм.
5	Аналіз розрахунків, підготовка 3 і 4 глав проекту	07.05.2017 р.- 28.05.2017 р.	89,0	Добре
6	Виправлення зауважень, остаточне оформлення проекту, написання доповіді, підготовка презентації	29.05.2017 р.- 01.06.2017 р..	92,0	Відм.
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90,3	

Студентка

_____ (підпис)

Соломаха О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

_____ (підпис)

Свидерська С.М.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КУЛЬТУРИ.....	8
1.1 Біологія та морфологія сільськогосподарської культури.....	8
1.2 Вимоги картоплі до світла та вологи.....	10
1.3 Вимоги картоплі до тепла.....	15
1.4 Господарське значення та поширення сільськогосподарської культури.....	17
1.5 Вимоги картоплі до ґрунту.....	19
2 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС ПОЛІССЯ.....	23
2.1 Особливості біогеографічного розташування Полісся.....	23
2.2 Загальна характеристика природних умов Українського Полісся.....	25
2.3 Характеристика природних умов фізико-географічних особливостей Житомирського Полісся.....	30
3 СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ Й ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ.....	34
3.1 Базова динамічна модель формування урожаю сільськогосподарських культур. Концепція моделювання.....	41
3.2 Моделювання радіаційного та теплового режимів рослинного покриву.....	43
3.3 Моделювання водного режиму рослинного покриву.....	46
3.4 Моделювання процесів фотосинтезу, дихання та старіння рослин.....	49
3.5 Моделювання мінерального живлення рослин.....	51
3.6 Моделювання росту рослин.....	55
4 ОЦІНКА ПРОДУКЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ.....	59
4.1 Оцінка агрокліматичних умов вегетації картоплі.....	67
4.2 Порівняльна характеристика продуктивності картоплі в умовах зміни	

клімату.....	73
ВИСНОВКИ.....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	90

ВСТУП

Сьогодні виникає все більше питань щодо причин та наслідків глобальних кліматичних змін. Глобальний клімат є результатом взаємодії цілої низки факторів, таких як сонячна радіація, положення Землі щодо Сонця, морські течії, вулканічна діяльність, біосфера Землі, концентрація парникових газів в атмосфері Землі і т.д. Коли змінюється один або декілька з цих чинників, змінюється і клімат Землі. Внаслідок діяльності людини постійно зростає один із перерахованих вище факторів, Світ стає тепліше, і людство значною мірою є відповідальним за це, говорять експерти. Але і багато факторів, що впливають на зміну клімату, ще не визначені, а інші й зовсім не вивчені [12].

Клімат у вузькому значенні визначається як статистичний опис з точки зору середніх значень і мінливості відповідних кількісних показників (в більшості випадків, приземної температури, опадів і т. д.) за період часу від декількох місяців до тисяч або мільйонів років, а в більш широкому сенсі – як стан кліматичної системи, що складається з п'яти основних компонентів: атмосфери, гідросфери, кріосфери, земної поверхні та біосфери. Зміна клімату означає статистично значущу варіацію або середнього його стану чи його мінливості, що зберігається протягом тривалого періоду часу (зазвичай десятиліття або більше), і яке може бути викликане внутрішніми природними процесами або зовнішніми впливами, або постійними антропогенними змінами в складі атмосфери або землекористуванні [3].

Зміна клімату внаслідок глобального потепління є однією із проблем XXI століття. Вона характеризується різними проявами, серед яких провідними є зміна частоти та інтенсивності кліматичних аномалій та екстремальних (небезпечних) погодних явищ. За прогнозами провідних вчених та спеціалістів у найближчі десятиріччя зміни клімату за своїми

розмірами та інтенсивністю будуть переважати ті тенденції, які спостерігались в останнє десятиріччя.

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 науковообґрунтоване розміщення посівних площ сільськогосподарських культур з врахуванням кліматичних змін, адаптації рослинництва до цих змін, що дозволить найбільш ефективно використовувати природні ресурси в нових кліматичних умовах, добиватися стійкого зростання величини і якості врожаю, підвищувати віддачу сировинних, енергетичних і трудових ресурсів.

Для оцінки можливих змін клімату було використано 3 сценарії: «м'який» – GFDL-30% – це сценарій з альтернативним кількісним визначенням збільшення викидів CO₂ в атмосферу на 30% [6]. (Так званий еквівалент CO₂ – це показник, що визначає рівень впливу окремих парникових газів на глобальне потепління, перерахований на одиницю концентрації CO₂, яка б мала подібний ефект.) [11], «помірний» – A1B, який передбачає рівновагу між усіма джерелами енергії, та «жорсткий» – A2, який передбачає невизначеності стосовно визначальних факторів і базується на використанні різних концепцій моделювання, які використовують аналогічні припущення стосовно визначальних факторів [6, 9, 10].

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 данному дипломному проекті ми будемо надавати оцінку продукційному процесу картоплі в умовах зміни клімату в Поліссі. Тенденції зміни агрокліматичних ресурсів розглядались нами у розрізі основних агрокліматичних зон за різні проміжки часу. Для оцінки змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату було використано результати побудови сценаріїв зміни клімату A1B і A2.

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

1. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КУЛЬТУРИ

1.1 Біологія та морфологія сільськогосподарської культури

Карто́пля (лат. *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 (лат. *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:

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

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

- 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 $-1...2^{\circ}\text{C}$. 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 сонцелюбива 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 недостатчі 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 [39]. 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 утворення бульб прискорюється, а цвітіння при цьому затримується, деякі дослідники відносять її до рослин короткого дня.

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

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

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

Підвищена вимогливість картоплі до умов освітленості викликає необхідність суворого дотримання оптимальної густоти посадки. В умовах середніх широт потужність світлового потоку у вегетаційний період становить: 55-60 тис. лк в період масових сходів і 41-58 тис. лк в період інтенсивного утворення бульб, 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. м²/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 вологоємності.

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 веде 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 [39]. 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 фаза від початку цвітіння до припинення приросту бадилля. Недостаток 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 спеки до 30 °С зростання картоплі гальмується, особливо при нестачі вологи. А при температурі ґрунту понад 40 °С зростання кущів припиняється зовсім. Адже до кінця травня – початку червня у багатьох регіонах України (особливо на півдні і південно-сході) саме така температура і встановлюється, а часом і 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 пророщених 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 постарайтеся повертати картоплю (і його найближчих родичів) на те ж місце хоча б через 2-3 роки (не раніше) [4].

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

Бульби картоплі, які пройшли період спокою, починають проростати за 3-5°C, однак агрометеорологічним показником початку росту картоплі вважають температуру 7°C. 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°C, а фотосинтез, хоча і триває аж до заморозків, відбувається дуже повільно.

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

Бадилля картоплі (листя і стебла) при вирощуванні його на помірно вологих ґрунтах краще розвиваються при температурі повітря 18 -25°C. У таких умовах асиміляція двоокису вуглецю і утворення вуглеводів також відбувається найбільш інтенсивно. При температурі повітря 40 – 41°C фотосинтез повністю припиняється [4]. Для ранніх сортів картоплі найбільш сприятливою температурою для утворення бульб є 17°C, для середньостиглих сортів 19°C.

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

вироснуванні картоплі на протязі 2-х місяців при різних температурах і однакових інших умовах відзначено повне припинення утворення бульб у варіантах з температурою ґрунту 29⁰С. У цих дослідах різке гальмування процесу утворення бульб відзначено вже при температурі ґрунту вище 20⁰С.

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 фотосинтетичній діяльності рослин і засвоєнні ними найважливіших елементів живлення. При зниженні температури ґрунту в орному горизонті з 15-20 до 10 – 14⁰С 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 18⁰С. При середній добовій температурі від 19 до 21⁰С число дуже тонких і ниткоподібних паростків на бульбах картоплі збільшується і доходить до 20 %. При температурі 24⁰С виродження бульб досягає 50 % і більше. При температурі вище 25⁰С спостерігається виродження 70 % рослин і більше.

1.4 Господарське значення та поширення сільськогосподарської культури

Картопля посідає одне з перших місць серед інших сільськогосподарських культур за універсальністю використання в господарстві. Вона є важливою продовольчою, кормовою й технічною культурою [33].

Продовольча цінність картоплі визначається її високими смаковими якостями та сприятливим для здоров'я людини хімічним складом бульб. У них міститься 14- 22 % крохмалю, 1,5 - 3 % білків, 0,8 — 1 % клітковини. Крохмаль картоплі легко засвоюється організмом, а її білки за біологічною повноцінністю переважають білки інших культур, у тому числі озимої пшениці. Бульби багаті на вітаміни групи В, РР, каротиноїди. У зимовий період картопля є головним продуктом харчування і джерелом вітаміну С [24].

Вживають картоплю в їжу у вигляді різних страв, яких лише в європейській кухні налічується понад 200. Проте у складі бульб, особливо позеленілих, містяться отруйні речовини (соланін). І хоч вони під час варіння значною мірою розкладаються, все ж при їх вмісті понад 0,01 % краще бульби не вживати в їжу, а використовувати для технічних потреб.

Бульби картоплі широко використовуються для годівлі тварин у сирому й запареному вигляді. Мають певне значення силос із зеленого бадилля (картоплиння) та відходи промислової переробки бульб — барда, жмаки та ін. За поживністю 100 кг сирих бульб оцінюються 29,5 корм. од., силосу — 8,5, сушених жмаків — 52 корм. од. При вирощуванні картоплі на корм вихід кормових одиниць з 1 га може перевищувати 5 — 6 тис. [35].

Картопля є цінною сировиною для виробництва спирту, крохмалю, глюкози, декстрину й іншої важливої продукції для господарства.

Картопля як просапна культура має агротехнічне значення: є добрим попередником для ярих культур, а ранні сорти — і для озимих [14]. Сучасна світова площа картоплі — близько 18 — 29 млн га. Вирощують її у 130 країнах світу. Найбільші посівні площі в європейських країнах — до 13 млн га. В СНД насадження картоплі займають 6 — 6,5 млн га (2000 р.). Найбільше поширена вона в Нечорноземній зоні Російської Федерації, у Білорусі та Україні. На значних площах її вирощують також у Центрально-Чорноземній зоні, районах Поволжя, Уралу, Сибіру, Далекого Сходу.

В Україні площі під картоплею становлять 1,5 —1,6 млн га (2002 р.). Основні масиви їх розміщення на Поліссі — близько 60 % та в Лісостепу — до 30 % загальної площі, решта припадає на Степ.

Середня врожайність картоплі в Україні у сприятливі роки 125 -130 ц/га. Досвід кращих господарств показує, що її урожайність в основних районах вирощування може бути в 2—3 рази вищою. У багатьох господарствах Чернігівської та інших поліських областей вирощують по 250 — 300 ц/га бульб і навіть більше.

Природні умови України й застосування прогресивних технологій вирощування картоплі дають змогу довести її середню врожайність у найближчі роки на Поліссі до 250 — 300 ц/га, в Лісостепу до 200 - 220 ц/га і в Степу до 180 - 220 ц/га [29].

1.5 Вимоги картоплі до ґрунту

Картопля - культура інтенсивна й найкраще для картопляних плантацій створювати агроземи, тобто ґрунти з потужним технологічним обрієм, властивості якого наведені до оптимальних параметрів засобами меліорації й агротехніки. Дуже добре озивається на поглиблення технологічного обрію ґрунту до 60-90 см - це істотно спрощує завдання забезпечення особливо високого врожаю належною кількістю елементів мінерального харчування, тому що при недостатньо потужному технологічному обрії концентрація ґрунтового розчину виступає обмежником. Потрібна кількість мінеральних добрив неможливо внести в тонкий технологічний обрій через те, що концентрація іонів навколо усмоктувальних корінів 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/см³. У перезволожених, ущільнених ґрунтах вміст кисню зменшується до 2 %, а вміст вуглекислого газу різко збільшується. За таких умов бульби задихаються і загнивають. На ущільнених ґрунтах погано розвиваються столони, картопля формує дрібні, деформовані бульби.

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.

Малоприсадибні 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 харчування картоплі є достатня насиченість ґрунту фосфатами, максимальна калієм і мінімальна азотом.

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

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

азоту. При нормальному азотному харчуванні рослина краще засвоює калій і фосфор.

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

Найбільшої уваги вимагає забезпечення картоплі достатнім запасом легкозасвоюваного калію, тому що він не виносить підвищеного вмісту хлору в ґрунті, але з високим урожаєм вимагає так багато калію, що це не можна внести за один раз, обов'язково потрібні підгодівлі. З обліком викладеного під картоплю з осені необхідно вносити $2/3$ загальної необхідної дози калію у вигляді хлористого калію, щоб надлишок хлору вийшов з осінньо-весняними водами, що залишилася калій дають у міжряддя після появи сходів, у безхлорній формі, у вигляді сульфату калію. Калій відіграє важливу роль у процесах фотосинтезу, білковому й вуглеводному обміні, істотно впливає на врожайність й якість картоплі, підвищує стійкість до заморозків і хвороб. При нестачі калію листи здобувають бронзове забарвлення, стають зморшкуватими й передчасно відмирають, коренева система розвивається слабкіше, бульби набувають трохи подовжену форму, бувають дрібними.

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

Тільки при наявності всіх цих елементів у ґрунті для розвитку картоплі забезпечується його найвища продуктивність [4].

На звичайних і потужних чорноземах часто на першому місці по ефективності стоїть фосфор, па другому - азот. Незважаючи на велике споживання картоплею калію, ефективність калійних добрив на більшості ґрунтів слабкіше, ніж азотних, а часто й фосфорних добрив. Потреба в калії збільшується при внесенні високих норм азоту й фосфору. У той же час на

заплавних і торф'яних ґрунтах калійні добрива по ефективності займають перше, на піщаних й супіщаних дерено-підзолистих ґрунт-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 харчування 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.

Уперше назва Полісся зафіксована у літописі за Іпатіївським списком. У джерелах XIV-XVI ст. ця назва найчастіше функціонувала у вигляді спільнокореневих топонімів Подлесьє, 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 почасти 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 антропогенового періоду. Для Полісся характерні низовинний рельєф, побудований переважно піщаними і супіщаними антропогеновими відкладами, помірноконтинентальний 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-их 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 району 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 відкладів, характері ґрунтів, рослинності.

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 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 рівний 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.

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:

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

Характерною особливістю для Полісся є перевищення суми опадів за рік над кількістю випарування з поверхні води. 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 $+6,8^{\circ}\text{C}$ (Житомир) до $+6,4^{\circ}\text{C}$ (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 долони 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.

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.

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, не глибоке залягання водонепроникних порід та великі весняні розливи річок.

Ґрунти Полісся сформувалися переважно на безкарбонатних піщаних та супіщаних відкладах 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 відкладах. 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 неодорідність проявляється в геологічній будові та рельєфі, кліматичних умовах, строкатості ґрунтового та рослинного покривів. Внаслідок тісного взаємозв'язку цих компонентів формуються природні комплекси (ландшафти), що характеризуються загальними рисами і на даній території відокремлюються в окремі ділянки з певними фізико-географічними особливостями.

2.3 Характеристика природних умов фізико-географічних особливостей Житомирського 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.

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.

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 глеуватими і болотними ґрунтами на докембрійських кристалічних, крейдових і палеогенових осадових 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-середньопідзолистими 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.

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 продукційного процесу рослин, серед яких особливий інтерес для практики становлять довгоперіодні динамічні моделі формування урожаю, на основі яких створюються оперативні методи оцінки агрометеорологічних умов росту і розвитку сільськогосподарських культур та прогнозування їхньої урожайності [2, 3, 5, 13, 18].

Розвиток автоматизованих методів обробки агрометеорологічної інформації (добової та щодакдної) зробив можливим створення Автоматизованого робочого місця агрометеоролога – прогнозіста (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 [43].

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 [43].

В імітаційній моделі для росту солодкої картоплі зростання врожаю було розділено на три етапи, тобто, на першому етапі від посадки до утворення бульб, середній етап з початку утворення бульб до закінчення утворення бульб і заключний етап з початку утворення бульб до збору врожаю [44]. 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 листкової поверхні, інтенсивному бульбоутворенню [45].

Великий інтерес представляють дослідження по аналізу змін серед сортів картоплі з точки зору поглинання світла та використання світла [46]. Розглядається ріст і формування урожаю п'яти сортів картоплі, за якими спостерігали два роки. Різницю в урожайності було проаналізовано з точки зору поглинання світла, ефективності використання світла та сухого розділення матерії. Ранні сорти були виділені вже на ранній стадії, вони оброблялися струмом і більшу частину струму засвоюють бульби, тобто починається ріст бульб. Однак, це викликає раннє старіння листя. В результаті ранні сорти менше поглинали світло та мали більшу масу бульб. Процедура аналізу зростання формулюється як проста модель росту сільськогосподарських культур. Щодня темпи росту розраховуються від падаючого світла та середньої ефективності використання світла.

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). Її 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 [47].

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 [47].

Для аналізу наслідків зміни клімату на зростання картоплі, були розроблені дві моделі, модель POTATOS, це проста модель зростання картоплі та комплексна модель NPOTATO [48]. 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 *Phytohthora intestans* de Bary. Фітофтора вражає

листя, стебла і бульби, іноді бутони і ягоди картоплі. Перші ознаки хвороби з'являються на нижніх листках картопляного куща у вигляді темно-бурих мокрих плям. На нижній стороні листя на межі здорової та ураженої тканини утворюється білий наліт, який добре видно в дощову погоду або вранці до висихання роси. За сприятливих умов, коли часто випадають опади і помірна температура, хвороба на полі поширюється дуже швидко і протягом 7-10 днів може знищити все бадилля картоплі. За літературними даними, початок появи фітофтори на ранніх сортах, слід очікувати через 7-10 днів після того, як в кожен з цих днів, спостерігалася середня добова температура повітря, 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 [49].

Численними авторами були проведені дослідження по впливу екстремально-високих температур повітря та попереднього проростання бульб картоплі на врожайність картоплі для північно-кліматичних умов [50]. 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 [51].

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 [51].

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: 0-2см, 2-5 см, 5-10 см, 10-20 см і так далі через 10 см до глибини 100 см.

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

Модель реалізовано в двох варіантах – з добовим кроком в часі та з декадним кроком [31,32].

3.2 Моделювання радіаційного та теплового режимів рослинного покриву

Радіаційний баланс рослинного покриву можна представити у вигляді суми довгохвильової і короткохвильової радіації:

$$R_L = Q_L + F_L ; \quad (3.2.1)$$

$$R_S = Q_S + F_S , \quad (3.2.2)$$

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:

$$Q_L = Q_o(1 - \alpha_{LS}); \quad (3.2.3)$$

$$Q_S = Q_o a_Q (1 - \alpha_S), \quad (3.2.4)$$

де Q_o – сумарна короткохвильова радіація над верхньою межею РП;

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

a_Q – функція пропускання сумарної радіації РП.

Альбедо рослинного покриву визначається за формулою

$$\alpha_{LS} = \alpha_{Lh_o} + (\alpha_S - \alpha_{Lh_o}) \exp[-L(1 + ctgh_o / \pi)], \quad (3.2.5)$$

де

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

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

$$\alpha_S = \begin{cases} \alpha_S^{\max} & \text{при } W_{SS} < W_{WP} \\ \alpha_S^{\max} - (\alpha_S^{\max} - \alpha_S^{\min}) \frac{W_{SS} - W_{WP}}{W_{FC} - W_{WP}} & \text{при } W_{WP} \leq W_{SS} \leq W_{FC}, \\ \alpha_S^{\min} & \text{при } W_{SS} > W_{FC}, \end{cases} \quad (3.2.6)$$

де α_S – альбедо поверхні ґрунту;

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

W_{SS} – вологість поверхневого шару ґрунту;

W_{WP} – вологість стійкого в'янення;

W_{FC} – найменша вологоємність ґрунту.

Функцію пропускання сумарної радіації знаходимо за формулою

$$a_Q = (1 - c_2) \exp\left(-\frac{k_s^L L}{\sinh_o}\right) + c_2 \exp\left(-c_3 \frac{k_s^L L}{\sinh_o}\right), \quad (3.2.7)$$

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:

$$F_L = (F_A + \varepsilon_S \sigma T_S^4 - 2\varepsilon_L \sigma T_L^4)(1 - e^{-kL}), \quad (3.2.8)$$

$$F_S = F_A e^{-kL} - \varepsilon_S \sigma T_S^4 + \varepsilon_L \sigma T_L^4 (1 - e^{-kL}), \quad (3.2.9)$$

де F_A – противипромінювання атмосфери

ε_L і ε_S – коефіцієнти сірості листя і ґрунту;

σ – постійна Стефана-Больцмана;

T_L, T_S – температура листя і ґрунту;

k – емпіричний параметр орієнтації листя.

Противипромінювання атмосфери визначається за виразом

$$F_A = \varepsilon_a \sigma T_a^4, \quad (3.2.10)$$

де T_a – температура повітря;

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

$$\varepsilon_a = 0,398 \cdot 10^{-5} \cdot T_a^{2,148}. \quad (3.2.11)$$

Потік тепла у ґрунті приймається пропорційним радіаційному балансу поверхні ґрунту

$$B_S = c_{BS} R_S, \quad (3.2.12)$$

де c_{BS} – емпірична постійна.

Сумарна короткохвильова радіація визначається за формулою

$$Q_o = A_1 \left(\frac{1}{\tau} + S \right)^{A_2} \exp\left(-A_3 \frac{S}{\tau}\right) + A_4 \exp\left[-A_5 \left(1 - \frac{S}{\tau}\right) (\sin \theta_o)^{A_6}\right] \quad (3.2.13)$$

де $A_1 - A_6$ – константи;

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

3.3 Моделювання водного режиму рослинного покриву

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

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{1}{C(\psi)} \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\Theta) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] - \frac{S(\psi)}{C(\psi)}, \quad (3.3.1)$$

де ψ - потенціал тиску ґрунтової вологи;

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

$K(\Theta)$ – гідравлічна провідність;

Θ – об'ємна вологість;

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

t – час; z – вертикальна координата.

Як початка умова ($t = 0$) задається

$$\psi(z, t = 0) = \psi_0(z). \quad (3.3.2)$$

За граничні умови приймається:

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

$$\psi(z = z_{so}, t) = \psi_{so}(t), \quad (3.3.3)$$

– на рівні ґрунтових вод величини

$$C(\psi) = 0 \quad \text{і} \quad \psi(z_{so}, t) = 0; \quad (3.3.4)$$

– на поверхні ґрунту z_o (верхня межа)

$$P_s - E = -K(\Theta) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \quad \text{при} \quad P_s - E < J_{\max}; \quad (3.3.5)$$

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

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 Θ_{\max} .

Кількість опадів, які досягли поверхні ґрунту, знаходиться як

$$P_s = P_o - P_L, \quad (3.3.6)$$

де P_o – кількість опадів, що випали;

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

$$P_L = 0,2 L, \quad (3.3.7)$$

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}

$$S(\psi) = \alpha_s(\psi) S_{\max} / f_{depth}^{root} \quad (3.3.8)$$

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

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

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

Транспірація рослинного покриву визначається за формулою Пенмана

$$T_r = \frac{\Delta \left(\frac{R_L}{\lambda} \right)}{\Delta + \gamma_{ef}} + \frac{ET_{pot}}{\Delta + \gamma_{ef}}, \quad (3.3.9)$$

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

γ_{ef} – ефективна психрометрична постійна;

R_L – радіаційний баланс РП;

ET_{pot} – випаровуваність;

λ – прихована теплота пароутворення.

Випаровуваність визначається за допомогою рівняння

$$ET_{pot} = \frac{(e_s - e_a) \rho c_p}{r_a}, \quad (3.3.10)$$

де e_s – тиск насиченої пари при даній температурі повітря;

e_a – фактичний тиск водяної пари;

ρ – густина повітря;
 c_p – теплоємність повітря;
 r_a – опір примежового шару.

Ефективна психрометрична постійна знаходиться за формулою

$$\gamma_{ef} = \gamma \frac{r_a + r_{st}}{r_a}, \quad (3.3.11)$$

де γ – психрометрична постійна;
 r_{st} – продиховий (устячковий) опір дифузії водяної пари для листя.
 Опір примежового шару визначається за виразом

$$r_a = \frac{\ln[(z - d_o) / z_o]^2}{\chi^2 u}, \quad (3.3.12)$$

де d_o – висота шару витіснення;
 z_o – висота шару шорсткості;
 χ – постійна Кармана;
 u – швидкість вітру на висоті z .

Продиховий опір визначається за формулою

$$r_{st} = \frac{1}{g_n + \frac{g_x Q_o}{Q_o + p_r}}, \quad (3.3.13)$$

де g_n , g_x , p_r – емпіричні параметри.

Випаровування з поверхні ґрунту E_S визначається як

$$E_S = \frac{(\Delta R_S) \cdot 1,26}{\Delta + \gamma}. \quad (3.3.14)$$

Рівень ґрунтових вод визначається за методом Шебеко:

$$H_{gr.w.}^{j+1} = H_{gr.w.}^j + \Delta H_{gr.w.}^j; \quad (3.3.15)$$

$$\Delta H_{gr.w.} = I_w / k_w \cdot 10 \quad (3.3.16)$$

або

$$\Delta H_{gr.w.} = -V_p / k_w \cdot 10, \quad (3.3.17)$$

де

$$I_w = W_n + P_o - ET_{opt} - W_{FC} \quad (3.3.18)$$

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

$$\frac{dC_{lab}}{dt} = \Phi + C_{hydr} - R, \quad (3.4.1)$$

де C_{lab} – фонд вільних вуглеводів;

Φ – маса продуктів фотосинтезу;

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

R – витрати вуглеводів на дихання рослин.

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

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{1/\Phi_{pot}K_{\Phi}(N_{str}^L) + 1/a_C C_0 + 1/a_{\Phi}\Pi} \min \left\{ \alpha_{\Phi}, \Psi_{\Phi}, \frac{ET}{ET_{pot}} \right\}, \quad (3.4.2)$$

де Φ_{pot} – інтенсивність потенційного фотосинтезу;

a_C – нахил вуглекислотної кривої фотосинтезу;

C_0 – концентрація CO_2 у повітрі;

a_ϕ – нахил світлової кривої фотосинтезу;

P – поглинена рослинним покривом фотосинтетично активна радіація;

α_ϕ – онтогенетична крива фотосинтезу;

Ψ_ϕ – температурна крива фотосинтезу;

$K_\phi(N_{str}^L)$ – коефіцієнт забезпеченості рослин елементами мінерального

живлення.

При стресових умовах і старінні рослин відбуваються процеси розпаду тканин. Ці процеси описуються рівняннями кінетики ферментативного каталізу. При достатньо високій концентрації гідролізуємого субстрату, швидкість розпаду може бути описана рівнянням реакції нульового порядку, а при достатньо низькому – рівнянням реакції першого порядку

$$\frac{dC_{ihydr}}{dt} = K_{hydr}^0 K_{hydr}(T_a) K_{hydr}(W) \quad \text{при} \quad C_i \geq C_{icrit} \quad (3.4.3)$$

і

$$\frac{dC_{ihydr}}{dt} = K_{hydr}^1 K_{hydr}(T_a) C_i K_{hydr}(W) \quad \text{при} \quad C_i < C_{icrit} \quad (3.4.4)$$

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

$$\frac{dR}{dt} = \alpha_R \left[C_G \frac{dm}{dt} + C_m m \varphi_R \right], \quad (3.4.5)$$

де C_G – коефіцієнт витрат на дихання росту;

C_m – коефіцієнт витрат на дихання підтримки;

α_R – онтогенетична крива дихання;

dm / dt – приріст біомаси рослин;

m – маса рослин;

φ_R – температурна крива дихання.

3.5 Моделювання мінерального живлення рослин

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

$$\frac{dN_{lab}}{dt} = N_{abs} + N_{hydr} - N_{sen}, \quad (3.5.1)$$

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

$$dN_{abs} = D_{ef}^{Nr} N_{soil} L_{funk}^r K_{dif}^N(T_S) + Tr \bar{N}_{s.w.}, \quad (3.5.2)$$

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

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

L'_{funk} – 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

$$\frac{dN_{isen}}{dt} = \alpha_{sen} N_i, \quad (3.5.3)$$

де α_{sen} – відносна швидкість відновлення білків;

N_i – вміст азоту у тканинах i -го органа.

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

Кількість легкогідролізуємого азоту у ґрунті N_{tof} описується рівнянням

$$N_{tof} = P_{hum} K_{hum}^N K_{hydr}^N, \quad (3.5.4)$$

де P_{hum} – вміст гумусу в ґрунті;

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

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

Трансформація форм азоту ґрунту описується наступною системою рівнянь

$$\left. \begin{aligned} dN_{NH} &= A_{NH} N_{tof} F_{am}(T_S) F_{am}(W), \\ dN_{NO} &= A_{NO} N_{soil}^{NH} F_{nitr}(T_S) F_{nitr}(W), \\ dN_{im}^{NH} &= A_{im}^{NH} N_{soil}^{NH}, \\ dN_{im}^{NO} &= A_{im}^{NO} N_{soil}^{NO}, \\ dN_{den} &= A_{den} N_{soil}^{NO} F_{den}(T_S) F_{den}(W), \end{aligned} \right\} \quad (3.5.5)$$

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

$$\begin{aligned} N_{soil}^{NH(j+1)} &= N_{soil}^{NH(j)} + dN_{NH} - dN_{NO} - dN_{im}^{NH} - \\ &- dN_{abs}^{NH} + NH_m^{fert} + NH_{org.}^{fert} + NH_{atm}. \end{aligned} \quad (3.5.6)$$

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

$$dN_{dif}^{NO} = D_{ef}^{NO} \frac{\bar{N}_{NO}^{\omega+1} - \bar{N}_{NO}^{\omega}}{h_{\omega}}, \quad (3.5.7)$$

де dN_{dif} – дифузія нітратів;

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

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

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

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

$$dN_{I_w}^{NO} = \frac{\bar{N}_{NO}^{\omega+1} + \bar{N}_{NO}^{\omega}}{2} I_w^{\omega}, \quad (3.5.8)$$

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

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

Баланс нітратів у ґрунті записується як

$$\begin{aligned} N_{soil}^{NO(j+1)} = & N_{soil}^{NO(j)} + dN_{NO} - dN_{im.}^{NO} - dN_{abs}^{NO} + \\ & + NO_{m.}^{fert} + NO_{org.}^{fert} + NO_{atm} - dN_{dif}^{NO} - dN_{I_w}^{NO}, \end{aligned} \quad (3.5.9)$$

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

$$\begin{aligned} Hum = & (m_l^{lit} K_C^{lit} K_{Hum}^{lit} + Org^{last} K_C^{Org} K_{Hum}^{Org} + Org^{last} K_N^{Org} K_{us}^{Org} + \\ & + M_N^{last} K_{us}^M + (m_l^{lit} + m_r^{mort}) K_N^{lit(mort)} K_{us}^{lit(mort)} - m^{last} K_N^{last}) \cdot 1,724 \end{aligned} \quad (3.5.10)$$

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:

$$\frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} = \left(1 - \beta_{root}^{mC(N)}\right) \frac{dC(N)_{lab}}{dt}, \quad (3.6.1)$$

$$\frac{dmC(N)_{root}}{dt} = \beta_{root}^{mC(N)} \frac{dC(N)_{lab}}{dt}, \quad (3.6.2)$$

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:

$$\begin{aligned} \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} &= \beta_l^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} - v^{C(N)} mC(N)_{l_{func}} ; \\ \frac{dmC(N)_{l_{yel}}}{dt} &= \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} \frac{1}{K_{st}^{C(N)}} \text{ при } \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} < 0 ; \\ \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} &= \beta_{s_{gr}}^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} - v_s^{C(N)} mC(N)_{s_{gr}} ; \\ \frac{dmC(N)_{s_{yel}}}{dt} &= \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} \frac{1}{K_{st}^{C(N)}} \text{ при } \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} < 0 ; \\ \frac{dmC(N)_{p_{func}}}{dt} &= \beta_{p_{func}}^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} + v_l^{C(N)} mC(N)_{l_{func}} + \\ &+ v_s^{C(N)} mC(N)_{s_{gr}} + v_r^{C(N)} mC(N)_{r_{func}} ; \\ mC(N)_{p_{rip}} &= mC(N)_{p_{func}} k_{p_{rip}} , \end{aligned} \quad (3.6.3)$$

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:

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{dC_i}{dt} + \frac{dN_i}{dt} . \quad (3.6.4)$$

Приріст стебел у висоту визначається як

$$\frac{dh_s}{dt} = \frac{dm_s}{dt} \frac{1}{\rho_s \pi r_s^2} \frac{1}{N_s}, \quad (3.6.5)$$

де dh_s/dt – швидкість росту стебел у висоту;

dm_s/dt – приріст маси стебел;

ρ_s – питома щільність стебел;

r_s – радіус стебел;

N_s – кількість стебел на одну рослину.

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

$$m_{l\,fal} = m_{l\,yel} \quad \text{при} \quad t = t_{end}^{gr.s.}, \quad (3.6.6)$$

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

$$\frac{dmC(N)_{r\,func}}{dt} = \frac{dmC(N)_{root}}{dt}, \quad (3.6.7)$$

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

Маса відмерлих коренів знаходиться за співвідношенням

$$m_{r\,mor} = \beta_{r\,mor} m_{r\,funk}, \quad (3.6.8)$$

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

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

$$z_r = \frac{d_r m_r}{\rho_r} f_r, \quad (3.6.9)$$

$$\rho_r = \rho_r^{\max} \left(1 - e^{-d\rho z}\right), \quad (3.6.10)$$

де z_r – нижня межа кореневої системи;

m_r – маса коренів;

ρ_r – щільність коренів у ґрунті;

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

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

d_r, d_ρ – емпіричні параметри.

Динаміка площі асимілюючої поверхні листя описується системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dL}{dt} = \frac{dm_{l_func}}{dt} \frac{1}{\sigma_L} \quad \text{при} \quad \frac{dm_{l_func}}{dt} \geq 0 \\ \frac{dL}{dt} = \frac{dm_{l_func}}{dt} \frac{1}{\sigma_L k_s^l} \quad \text{при} \quad \frac{dm_{l_func}}{dt} < 0 \end{array} \right., \quad (3.6.11)$$

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

σ_L – питома поверхнева щільність листя;

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

Приведена вище система рівнянь описує формування гідрометеорологічного режиму в системі ґрунт – рослина – атмосфера, основні процеси життєдіяльності рослин, їхній ріст та формування урожаю. Вона записана у загальному вигляді і трансформується в залежності від морфологічних та біологічних особливостей сільськогосподарських культур [30-32,34].

4. ОЦІНКА ПРОДУКЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

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

Отже і на глобальному і на регіональному рівнях зміни клімату стали незаперечним фактом, наявність якого поставила перед людством проблему розв'язання цілої низки надзвичайно важливих і складних завдань, пов'язаних з розробкою та реалізацією стратегії свого практичного існування в умовах зміни клімату [36].

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 [19].

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

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

Більше 30 % території України з кращими землями, де зосереджено виробництво близько 65 % товарного зерна, знаходиться у зоні недостатнього зволоження. Основною особливістю періоду потепління стала нерівномірність випадіння опадів у середині року і за окремі роки, що призвело до збільшення кількості засушливих явищ. Засухи нерідко збігаються із суховіями, спричиняючи пошкодження рослин у різних фазах розвитку та зменшують їх продуктивність [31,32].

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

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

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

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

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

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

Кліматичний сценарій GFDL - 30 % було прийнято нами як основний для оцінки зміни агрокліматичних ресурсів, умов росту, розвитку та формування продуктивності сільськогосподарських культур на період до 2030–2040 років [37] .Слід відмітити також, що для сценаріїв A1B та A2 швидкість зменшення сум опадів улітку перевищує швидкість їх приросту в зимовий сезон. Відомо, що сучасний річний хід опадів в Україні

характеризується літнім максимумом та зимовим мінімумом [15]. Тому зростання кількості опадів у зимовий період з одночасним їх зменшенням у літній сезон може призвести до зменшення амплітуди їх річного розподілу.

Отже, зміни у глобальній кліматичній системі можуть розглядатися на сьогодні як незаперечний факт, що доводиться метеорологічними даними за останні 150 років за глобальною середньою температурою повітря та океану, підвищенням глобального середнього рівня моря та таненням снігу та льоду. Є дуже ймовірним, що підвищення глобальних середніх температур, яке спостерігається з середини 20 століття, здебільшого викликано підвищенням концентрацій антропогенних парникових газів [37]. Щоб визначити причини змін клімату, що мають місце, а також оцінити майбутні зміни, було реалізовано безпрецедентний за своїми масштабами та кількістю учасників модельний проект – дослідниками з 11 країн було виконано чисельні інтегрування з 23 складними фізико-математичними моделями загальної циркуляції атмосфери і океану (див. [37]). Під час експерименту розраховувався клімат 20 століття при заданих, відповідних до спостережень, концентраціях парникових газів, а також клімат для різних сценаріїв, які наведені у Спеціальній доповіді зі сценаріїв викидів (СДСВ) [41]. Все це дозволило просунути в уточненні та підвищенні достовірності оцінок майбутніх змін клімату, а також оцінити імовірнісні розподіли характеристик клімату для кожного зі сценаріїв.

Сучасні моделі загальної циркуляції атмосфери і океану дозволяють розглянути не тільки зміни глобального клімату, а й, певною мірою, оцінити його регіональні аспекти. Наприклад, розділення моделі Лабораторії геофізичної гідродинаміки (GFDL) Національної адміністрації по океану та атмосфері (NOAA) США версії 2.1 становить 2° пн.ш. $\times 2,5^\circ$ сх.д. [42], тобто дозволяє достатньо докладно вивчити регіональні особливості майбутніх змін різноманітних кліматичних характеристик над територією, яку можна зіставити з Україною.

Майбутні викиди газів з парниковим ефектом (ПГ: вуглекислий газ

CO₂, метан CH₄, закись азоту N₂O, гідрофторвуглеці HFCs, перфторвуглеці PFCs, сірчаний гексафторид SF₆, хлористі фторвуглеводні HCFCs, хлористі фторвуглеці CFCs, двооксид сірки SO₂, оксид вуглецю CO, оксиди азоту NO_x та неметанові леткі органічні сполуки NMVOC) є продуктом дуже складних динамічних систем, що складаються з таких визначальних факторів, як демографічний розвиток, соціально-економічний розвиток та технологічні зміни. Їх розвиток у майбутньому є дуже невизначеним [40]. Сценарії являють собою альтернативні прогнози можливого розвитку подій у майбутньому, вони також є слушним засобом для аналізу того, яким чином визначальні фактори можуть впливати на показники майбутніх викидів, а також оцінки пов'язаних з ними невизначеностей. Вони сприяють аналізу змін клімату, включаючи моделювання клімату та оцінку наслідків, адаптацію та пом'якшення наслідків. Дуже мало ймовірною є можливість того, що траєкторія якогось єдиного викиду збіжиться з описаною у сценаріях [38].

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

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

політика у галузі некліматичних змін, спрямована на досягнення інших цілей. До того ж, урядова політика може у різній мірі впливати на фактори викиду ПГ, а саме на демографічні зміни, соціально-економічний розвиток, технологічні зміни, використання ресурсів та регулювання забрудненням. Саме цей вплив відображується у сюжетних лініях та підсумкових сценаріях.

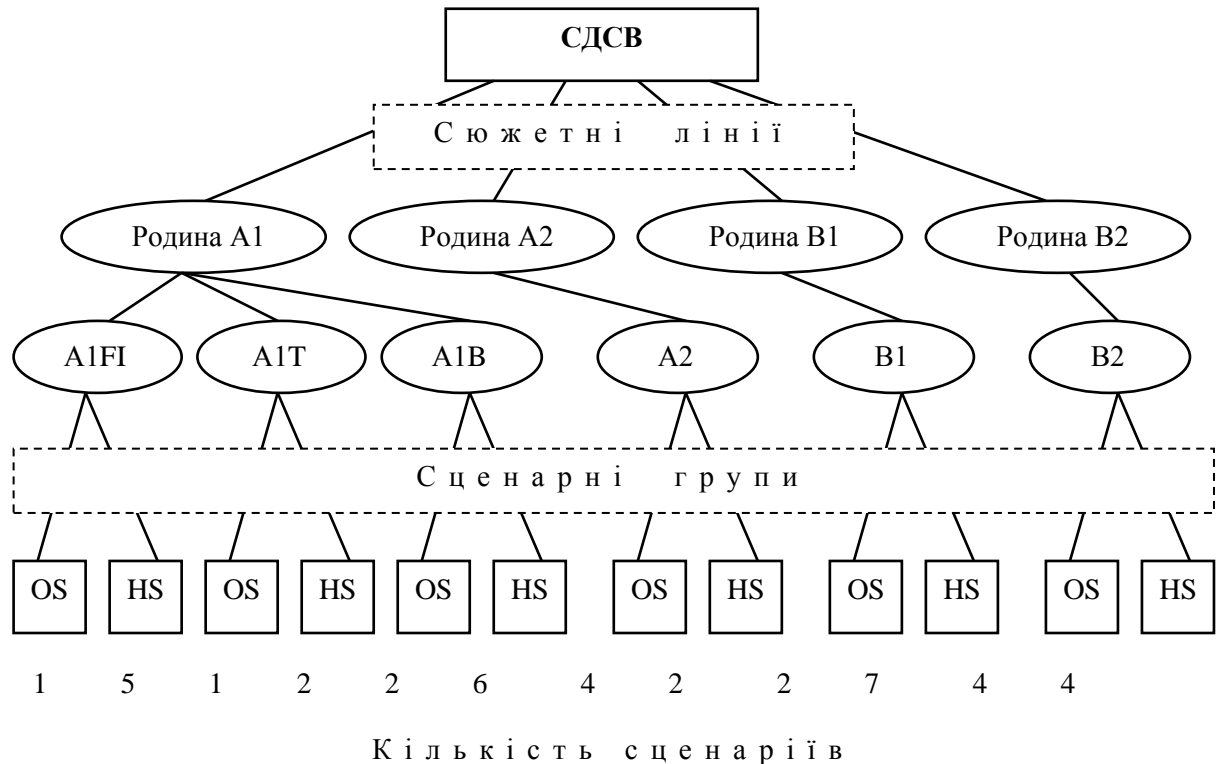


Рисунок 4.1 – Схематична ілюстрація сценаріїв СДСВ [6]

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

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

сукупності охоплюють існуючий діапазон невизначеностей стосовно майбутніх викидів ПГ, які виникають внаслідок різних характеристик цих моделей, окрім існуючих невизначеностей, що мають місце через визначальні фактори сценарію, зокрема демографічні, соціально-економічні та технологічні події, які визначають ці моделі, про що йде мова у сюжетних лініях.

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

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

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

грунтуючись на екстраполяції поточних економічних, технологічних та соціальних тенденцій.

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

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

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

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

Таким чином, при моделюванні клімату 21 століття моделювання ансамблем моделей, до якого належить і модель GFDL, виконувалося з впливом одного з найважливіших зовнішніх чинників – викидів парникових газів до атмосфери, – які, в свою чергу, бралися за сценаріями СДСВ [41]. Отже, результатами інтегрування моделі є численні тривимірні масиви гідрометеорологічних даних.

Серед цих масивів було вибрано два – середньомісячна температура повітря поблизу підстильної поверхні та місячна кількість опадів – для періодів 1986-2000 рр. та 2011-2030 рр. та для трьох сценаріїв – «жорсткого» A2, «помірного» A1B і «м'якого» B1 – у вузлах регулярної сітки, обмеженої широтами 43,5° та 53,5° пн.ш. і довготами 21,25° та 41,25° сх.д. [6].

4.1 Оцінка агрокліматичних умов вегетації картоплі

Одним із найпростіших методів відображення можливих змін у кліматичному режимі будь-якої метеорологічної величини є порівняння з

минулими даними, зокрема, середніми багаторічними за базовий період. В даному дослідженні за базовий береться період з 1986 по 2005 р. у відповідності з агрокліматичним довідником України.

Аналіз тенденції впливу зміни клімату на показники фотосинтетичної продуктивності картоплі та на агрокліматичні умови вирощування картоплі виконано шляхом порівняння розрахованих за кліматичними сценаріями А1В, А2 показників та багаторічних за три періоди: 1986 – 2005 рр. (базовий період), 2011 – 2030 рр. – перший період, 2031 – 2050 рр. – другий 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 по окремих природно – кліматичних зонах України в Поліссі.

За умов реалізації сценарію зміни клімату А2, терміни садіння картоплі змістяться на більш ранні строки в Поліссі – на 16 днів за перший сценарний період в порівнянні з середньо багаторічними даними та на 1 день, за другий сценарний період в порівнянні з середньо багаторічними даними (табл. 4.1.1).

Відповідно змістяться і строки появи сходів. В Поліссі сходи картоплі за середньо багаторічними даними спостерігалися 29.V, а в перший сценарний період 11.V, що на 18 днів раніше, а за другий сценарний період сходи картоплі спостерігались 27.V, що на 2 дні раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними, в'янення бадилля за середньо багаторічними даними спостерігалось 10.VIII, а в перший сценарний період 25.VII, що на 16 днів раніше, за другий сценарний період в'янення бадилля спостерігалось 4.VIII, що на 6 днів раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Тривалість вегетаційного періоду за середньо багаторічними даними склала 73 дні, а в перший сценарний період 75 днів, що на 2 дні більше, за другий сценарний період тривалість вегетаційного періоду склала 69 днів, що на 4 дні менше в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Таблиця 4.1.1 - Фази розвитку картоплі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) та (2031-2050 рр.)

Період, рр.	Садіння	Сходи	Цвітіння	В'янення-Бадилля	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Полісся					
1986-2005	01.V	29.V	03.VII	10.VIII	73
2011-2030	15.IV	11.V	09.VII	25.VII	75
Різниця	-16	-18	+6	-16	+2
1986-2005	01.V	29.V	03.VII	10.VIII	73
2031-2050	30.IV	27.V	30.VI	4.VIII	69
Різниця	-1	-2	-3	-6	-4

За умов реалізації сценарію зміни клімату А1В, терміни садіння картоплі змістяться на більш ранні строки в Поліссі – на 9-10 днів, за перший та другий сценарний період в порівнянні з середньо багаторічними даними (табл. 4.1.2).

Відповідно змістяться і строки появи сходів. В Поліссі сходи картоплі за середньо багаторічними даними спостерігалися 29.V, а за перший сценарний період 18.V, що на 11 днів раніше, а за другий сценарний період сходи картоплі спостерігались 19.V, що на 10 днів раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними.

В'янення бадилля за середньо багаторічними даними спостерігалось 10.VIII, а в перший сценарний період 24.VII, що на 16 днів раніше, в другий сценарний період в'янення бадилля спостерігалось 24.VII, що на 16 днів раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Таблиця 4.1.2 - Фази розвитку картоплі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату А1В (2011-2030 рр.) та (2031-2050 рр.)

Період, рр.	Садіння	Сходи	Цвітіння	В'янення-Бадилля	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Полісся					
1986-2005	01.V	29.V	03.VII	10.VIII	73
2011-2030	20.IV	18.V	22.VI	24.VII	67
Різниця	-10	-11	+18	-16	-6
1986-2005	01.V	29.V	03.VII	10.VIII	73
2031-2050	21.IV	19.V	17.VI	24.VII	66
Різниця	-9	-10	-15	-16	-7

Тривалість вегетаційного періоду за середньо багаторічними даними склала 73 дні, а за перший сценарний період 67 днів, що на 6 днів менше, за другий сценарний період тривалість вегетаційного періоду склала 66 днів, що на 7 днів менше в порівнянні з середньо багаторічними даними.

За умов реалізації сценарію зміни клімату А2 період сходи – цвітіння буде проходити при знижених температурах, на 1,3 °С у Поліссі за перший сценарний період та на 0,1 °С за другий сценарний період (табл. 4.1.3).

Зниженим буде і температурний режим в період цвітіння – в'янення бадилля на 1,3 °С у Поліссі за перший сценарний період та на 0,8 °С у Поліссі за другий сценарний період. Таким чином, середня температура повітря за весь вегетаційний період буде зниженою в Поліссі на 1,2 °С за перший сценарний період, а за другий сценарний період буде зниженою в Поліссі на 0,5 °С в порівнянні з базовими даними.

Кількість опадів у період сходи – цвітіння збільшиться в Полісся на 7 %, за перший сценарний період, і на 2 % у другий сценарний період в порівнянні з середньо багаторічними даними (табл. 4.1.3).

Таблиця 4.1.3 - Агрокліматичні умови вирощування картоплі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Період сходи – цвітіння			Період цвітіння – в’янення бадилля			Весь вегетаційний період		
	середня 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
Полісся									
1986 – 2005	16,6	604	108	19,2	710	117	17,9	1314	225
2011 – 2030	15,3	939	115	17,9	127	135	16,7	1230	250
Різниця	-1,3	+335	+7%	-1,3	-583	+18%	-1,2	-84	+25%
1986 – 2005	16,6	604	108	19,2	710	117	17,9	1314	225
2031 - 2050	16,5	573	110	18,4	627	100	17,4	1200	210
Різниця	-0,1	-31	+2%	-0,8	-83	-17%	-0,5	-114	-15%

Для періоду цвітіння – в’янення бадилля кількість опадів збільшиться в Поліссі на 18 % за перший сценарний період і зменшиться в Поліссі на 17 % за другий сценарний період. Таким чином, кількість опадів за період сходи – в’янення бадилля картоплі збільшиться в Поліссі на 25 % за перший сценарний період, а за другий сценарний період кількість опадів за період сходи – в’янення бадилля картоплі зменшиться в Поліссі на 15 % в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Сума температур за період сходи – цвітіння збільшиться в Поліссі на 335 °С за перший сценарний період, за другий сценарний період сума температур за період сходи – цвітіння зменшиться в Поліссі на 31 °С. Сума температур за період цвітіння – в’янення бадилля зменшиться в Поліссі на 583 °С, за перший сценарний період, а за другий сценарний період зменшиться у Поліссі на 83 °С. Таким чином, сума температур за весь вегетаційний період в Поліссі зменшиться на 84 °С за перший сценарний період, а за другий сценарний період в Поліссі зменшиться на 114 °С.

За умов реалізації сценарію зміни клімату А1В період сходи – цвітіння буде проходити при знижених температурах у Поліссі на 0,3 °С за перший сценарний період та на 0,7 °С за другий сценарний період (табл. 4.1.4).

Таблиця 4.1.4 - Агрокліматичні умови вирощування картоплі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату А1В (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Період сходи – цвітіння			Період цвітіння – в'янення бадилля			Весь вегетаційний період		
	середня 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
Полісся									
1986 – 2005	16,6	604	108	19,2	710	117	17,9	1314	225
2011 – 2030	16,4	580	91	18,9	605	99	17,6	1185	190
Різниця	-0,2	-24	-17%	-0,3	-105	-18%	-0,3	-129	-35%
1986 – 2005	16,6	604	108	19,2	710	117	17,9	1314	225
2031 - 2050	15,9	457	77	19,7	721	108	17,8	1178	185
Різниця	-0,7	-147	-31%	+0,5	+11	-9%	-0,1	-136	-40%

Температурний режим в період цвітіння – в'янення бадилля буде зниженим на 0,3 °С у Поліссі в перший сценарний період і збільшиться на 0,5 °С у Поліссі в другий сценарний період. Таким чином, середня температура повітря за весь вегетаційний період в перший сценарний період буде зниженою в Поліссі на 0,2 °С, а за другий сценарний період також буде зниженою в Поліссі на 0,7 °С.

Кількість опадів у період сходи – цвітіння зменшиться в Поліссі на 17 %, за перший сценарний період, а за другий сценарний період кількість опадів у період сходи – цвітіння зменшиться в Поліссі на 31 % (табл. 4.1.4).

Для періоду цвітіння – в'янення бадилля кількість опадів зменшиться в Поліссі на 18 %, за перший сценарний період, а за другий сценарний період кількість опадів для періоду цвітіння – в'янення бадилля зменшиться в

Поліссі на 9 %. Таким чином, кількість опадів за період сходи – в'янення бадилля картоплі зменшиться в Поліссі на 35 %, за перший сценарний період, а за другий сценарний період кількість опадів за період сходи – в'янення бадилля картоплі зменшиться в Поліссі на 40 %.

Сума температур за період сходи – цвітіння за перший сценарний період зменшиться в Поліссі на 24 °С, а за другий сценарний період сума температур за період сходи – цвітіння зменшиться в Поліссі на 147 °С. Сума температур за період цвітіння – в'янення бадилля за перший сценарний період зменшиться в Поліссі на 105 °С, а за другий сценарний період збільшиться у Поліссі на 11 °С. Таким чином, сума температур за весь вегетаційний період за перший сценарний період зменшиться в Поліссі на 129 °С, а за другий сценарний період на 136 °С.

4.2 Порівняльна характеристика продуктивності картоплі в умовах зміни клімату

Для надання порівняльної характеристики продуктивності картоплі в умовах зміни клімату за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А1В та А2 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.

За умов реалізації сценарію зміни клімату А2 площа листя картоплі в період максимального розвитку за перший сценарний період зменшиться в Поліссі на $0,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за другий сценарний період зменшиться на $0,08 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (табл. 4.2.1).

Приріст маси картоплі в період максимального розвитку за перший сценарний період зменшиться в Поліссі на $14 \text{ г}/\text{м}^2$, а за другий сценарний

період приріст маси картоплі в період максимального розвитку зменшиться в Поліссі на 14 г/м^2 . Таким чином, в залежності від цього і суха біомаса цілої рослини картоплі за перший сценарний період зменшиться в Поліссі на 11 г/м^2 , а за другий сценарний період суха біомаса цілої рослини картоплі також зменшиться в Поліссі на 39 г/м^2 в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Таблиця 4.2.1 - Фотосинтетична продуктивність картоплі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Площа листя картоплі в період максимального розвитку, $\text{м}^2/\text{м}^2$	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, г/м^2 декада	Приріст маси в період максимального розвитку, г/м^2	Суха біомаса цілої рослини картоплі, г/м^2	Урожай картоплі, ц/га
Полісся					
1986-2005	2,29	136	306	930	112
2011-2030	2,09	149	292	919	114
2031-2050	2,21	139	292	891	108

Урожай картоплі за перший сценарний період в Поліссі склав 114 ц/га, що на 2 ц/га більше, чим в Поліссі за середньо багаторічними даними, а урожай картоплі за другий сценарний період склав 108 ц/га, що на 4 ц/га менше, чим в Поліссі за середньо багаторічними даними.

За умов реалізації сценарію зміни клімату А1В площа листя картоплі в період максимального розвитку за перший сценарний період збільшиться в Поліссі на $0,27 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за другим сценарним періодом збільшиться в Поліссі на $0,57 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (табл. 4.2.2).

Приріст маси картоплі в період максимального розвитку за перший сценарний період збільшиться в Поліссі на 54 г/м^2 , а за другий сценарний період приріст маси картоплі в період максимального розвитку збільшиться в Поліссі на 79 г/м^2 . Таким чином, в залежності від цього і суха біомаса цілої

рослини картоплі за перший сценарний період збільшиться в Поліссі на 162 г/м², а за другий сценарний період суха біомаса цілої рослини картоплі збільшиться в Поліссі на 253 г/м² в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Таблиця 4.2.2 - Фотосинтетична продуктивність картоплі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату А1В (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Площа листя картоплі в період максимального розвитку, м ² /м ²	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, г/м ² декада	Приріст маси в період максимального розвитку, г/м ²	Суха біомаса цілої рослини картоплі, г/м ²	Урожай картоплі, ц/га
Полісся					
1986-2005	2,29	136	306	930	112
2011-2030	2,56	145	360	1092	134
2031-2050	2,86	139	385	1183	143

Урожай картоплі в першому сценарному періоді в Поліссі склав 134 ц/га, що на 22 ц/га більше, чим в Поліссі за середньо багаторічними даними. Урожай картоплі в другому сценарному періоді в Поліссі склав 143 ц/га, що на 31 ц/га більше, чим в Поліссі за середньо багаторічними даними.

За умов реалізації сценарію А2, в Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу збільшувалась с першої по четверту декади вегетації, потім почала знижуватися, як за середньо багаторічними даними так і за перший та другий сценарні періоди. В Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу картоплі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату набула максимального значення у четверту декаду вегетації і склала 136 - 149 г/м²·декада, в умовах збільшення СО₂ в Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу за перший та другий сценарні періоди склала 143-154 г/м² декада

(рис. 4.2.1). В Поліссі максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі за сценаріями зміни клімату збільшилось на 7-13 г/м²·декада, в порівнянні з середньо багаторічними даними.

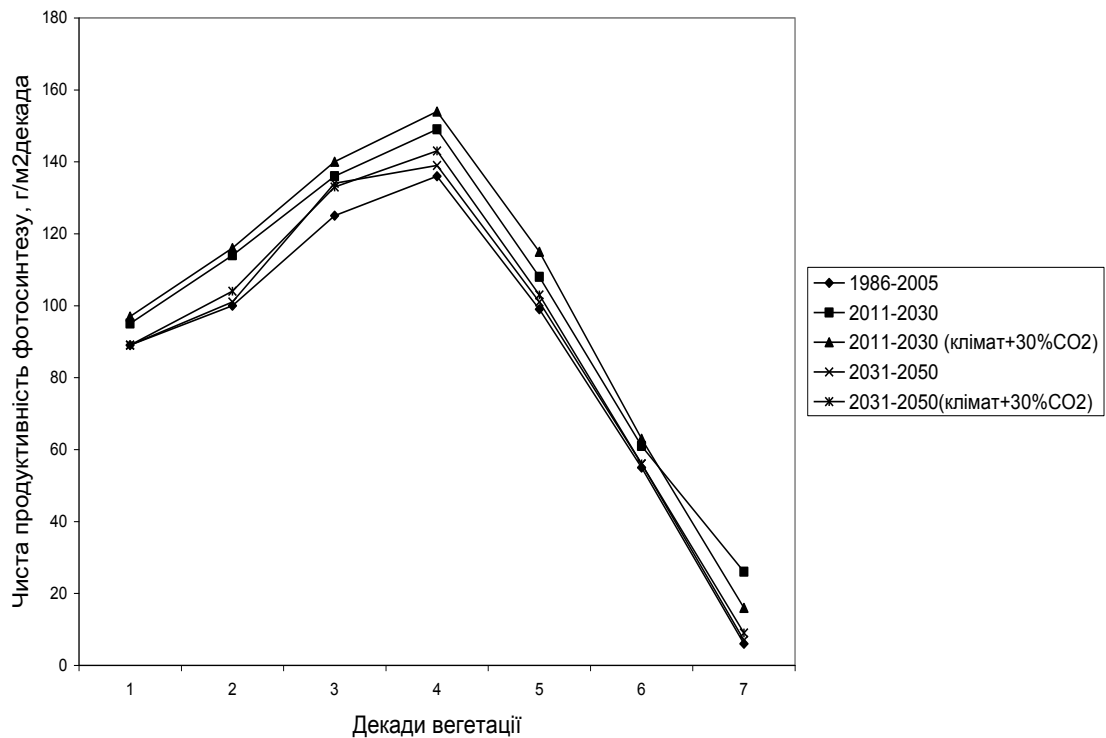


Рисунок 4.2.1 – Чиста продуктивність фотосинтезу картоплі в Поліссі за умов реалізації сценарію зміни клімату A2 за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

За умов реалізації сценарію зміни клімату A1B в Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу збільшувалась з першої по четверту декади вегетації, потім почала знижуватися, як за середньо багаторічними даними так і за перший та другий сценарні періоди. В Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу картоплі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату набула максимального значення у четверту декаду вегетації і склала 136 - 145 г/м²·декада, в умовах збільшення CO₂ в Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу за сценаріями зміни клімату склала 143-151 г/м²·декада (рис. 4.2.2).

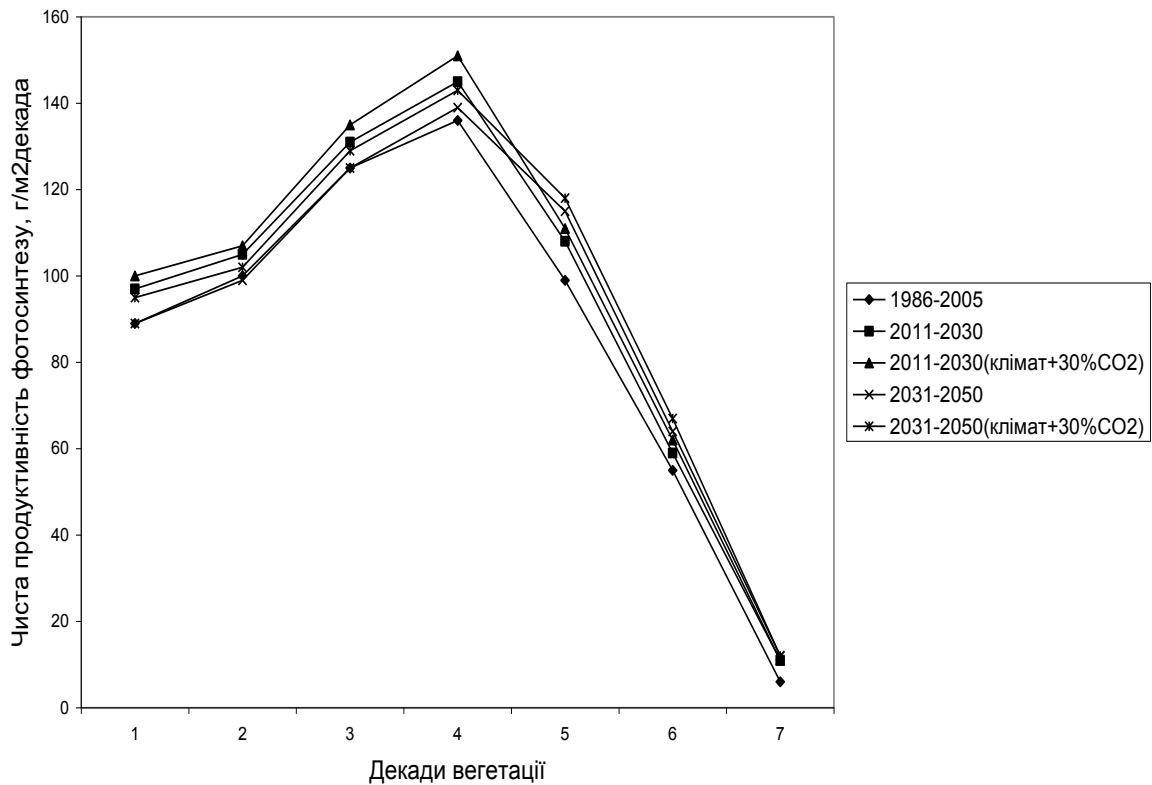


Рисунок 4.2.2 – Чиста продуктивність фотосинтезу картоплі в Поліссі за умов реалізації сценарію зміни клімату A1B за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

В Поліссі максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі за сценаріями зміни клімату збільшилось на 7-15 г/м²·декада, в порівнянні з середньо багаторічними даними.

За умов реалізації сценарію зміни клімату A2 фотосинтетичний потенціал картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату почав збільшуватися с першої по восьму декади вегетації (рис. 4.2.3). За середньо багаторічними даними максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі в Поліссі складає 85,2 м²/м², а сценаріями зміни клімату складає 88,6-91,1 м²/м², в умовах збільшення CO₂

в Поліссі фотосинтетичний потенціал картоплі за сценаріями зміни клімату складає 94,5-97,4 м²/м².

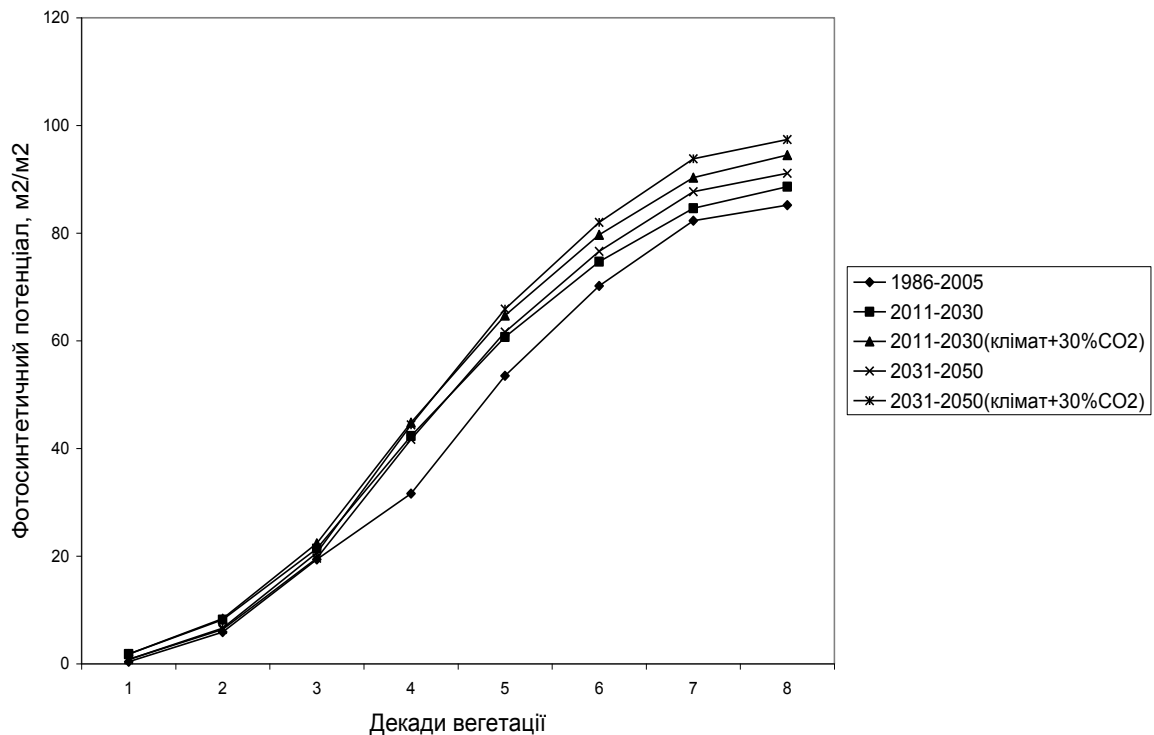


Рисунок 4.2.3 – Фотосинтетичний потенціал картоплі в Поліссі за умов реалізації сценарію зміни клімату А2 за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

В Поліссі максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі за сценаріями зміни клімату збільшилось на 3,4-5,9 м²/м², в порівнянні з середньо багаторічними даними.

За умов реалізації сценарію зміни клімату А1В фотосинтетичний потенціал картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату почав збільшуватися з першої по восьму декади вегетації (рис. 4.2.4). За середньо багаторічними даними максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі в Поліссі складає 95,8 м²/м², а сценаріями зміни клімату складає 105,7-116,8 м²/м².

В умовах збільшення CO₂ в Поліссі фотосинтетичний потенціал картоплі за сценаріями зміни клімату складає 113,6-125,5 м²/м². В Поліссі

максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі за сценаріями зміни клімату збільшилось на 9,9-21 $\text{м}^2/\text{м}^2$, в порівнянні з середньо багаторічними даними.

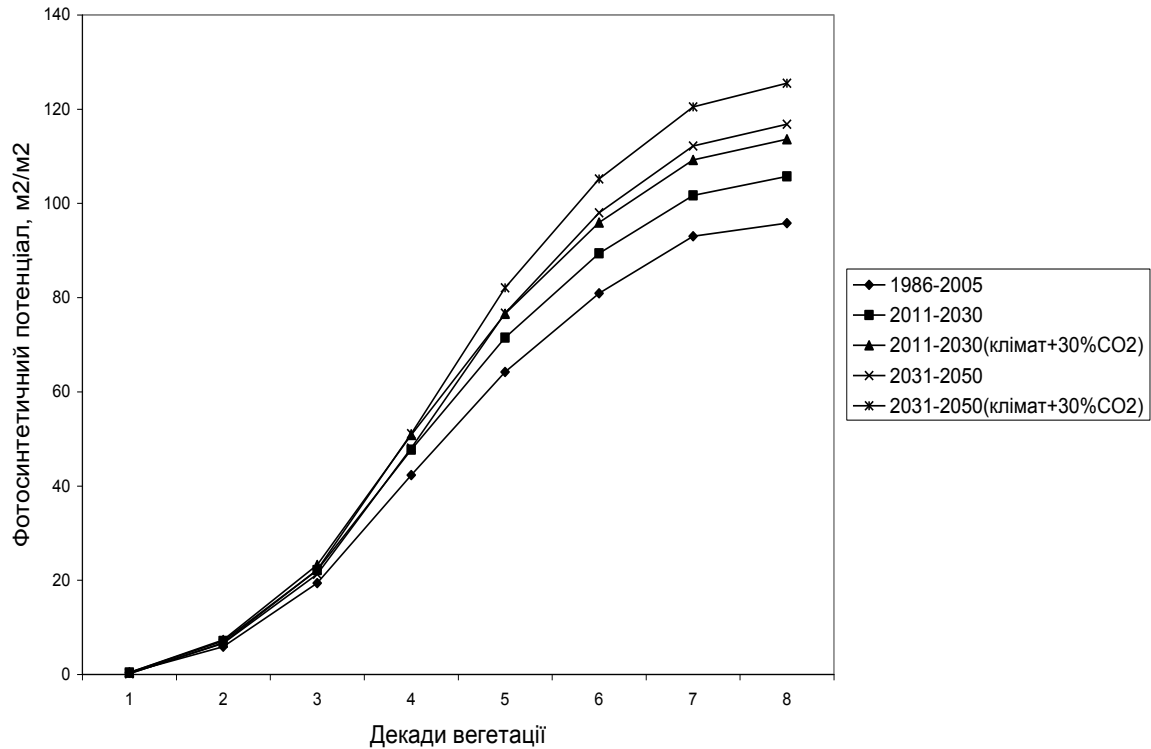


Рисунок 4.2.4 – Фотосинтетичний потенціал картоплі в Поліссі за умов реалізації сценарію зміни клімату A1B за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

За умов реалізації сценарію зміни клімату A2 аналіз врожайності картоплі за перший сценарний період показав, що найбільшу повторюваність врожаїв у Поліссі складають врожаї 61 - 67 ц/га (табл. 4.2.3).

На території Полісся за перший сценарний період високі врожаї, до 138 ц/га, можуть спостерігатися не частіше одного разу на 10 років. Щорічно в перший сценарний період можна очікувати отримання урожаїв картоплі не менше 50 ц/га.

За другий сценарний період аналіз врожайності картоплі показав, що найбільшу повторюваність врожаїв у Поліссі складають врожаї 63 - 78 ц/га.

Як видно з проведених розрахунків сумарної ймовірності врожаїв картоплі на території Полісся високі врожаї картоплі, до 120 ц/га, можуть спостерігатися не частіше одного разу на 10 років. Щорічно, за підрахунками по другому сценарному періоду, територія Полісся буде забезпечена врожаєм картоплі не менше 70 ц/га.

Таблиця 4.2.3 – Забезпеченість ймовірних врожаїв картоплі (ц/га) за умов реалізації сценарію зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) та (2031-2050 рр.)

Природна зона	\bar{y}	Забезпеченість, %										
		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Полісся (2011-2030 рр.)	91	155	138	122	108	103	84	75	72	67	61	47
Полісся (2031-2050 рр.)	103	147	138	121	116	113	109	106	96	78	72	63

За умов реалізації сценарію зміни клімату А1В аналіз врожайності картоплі за перший сценарний період показав, що найбільшу повторюваність врожаїв у Поліссі складають врожаї 47 - 84 ц/га (табл. 4.2.4).

Таблиця 4.2.4 – Забезпеченість ймовірних врожаїв картоплі (ц/га) за умов реалізації сценарію зміни клімату А1В (2011-2030 рр.) та (2031-2050 рр.)

Природна зона	\bar{y}	Забезпеченість, %										
		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Полісся (2011-2030 рр.)	101	148	147	135	123	108	102	92	87	84	68	47
Полісся (2031-2050 рр.)	100	174	160	141	127	110	96	82	73	71	63	52

Як видно з проведених розрахунків сумарної ймовірності врожаїв картоплі за перший сценарний період, на території Полісся високі врожаї, до 145 ц/га, можуть спостерігатися не частіше одного разу на 10 років. Щорічно за перший сценарний період можна очікувати отримання урожаїв картоплі не менше 50 ц/га.

За умов реалізації сценарію зміни клімату A1B аналіз врожайності картоплі за другий сценарний період показав, що найбільшу повторюваність врожаїв в Поліссі складають врожаї 50 – 70 ц/га (табл. 4.2.4).

Як видно з проведених розрахунків сумарної ймовірності врожаїв картоплі на території Полісся високі врожаї, до 150 ц/га, можуть спостерігатися не частіше одного разу на 10 років. Щорічно за другий сценарний період можна очікувати отримання урожаїв картоплі не менше 60 ц/га.

На рис. 4.2.5 представлена площа листя картоплі в Поліссі за умов реалізації сценарію зміни клімату A2 за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.). З рис. 4.2.5 видно, що площа листя картоплі збільшувалася з першої по четверту декаду вегетації, як за середньо багаторічними даними, так і за сценаріями зміни клімату. За перший сценарний період максимальна площа листя в Поліссі склала $2,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За другий сценарний період максимальна площа листя картоплі склала $2,21 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За середньо багаторічними даними максимальна площа листя картоплі склала $2,29 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В умовах збільшення CO_2 в Поліссі площа листя картоплі почала збільшуватися з першої по четверту декаду вегетації і за перший сценарний період склала $2,24 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за другий сценарний період площа листя картоплі в умовах збільшення CO_2 склала $2,38 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Якщо порівняти площу листя картоплі за сценаріями зміни клімату з середньо багаторічними даними, то різниця буде не значна, за перший сценарний період різниця складає $0,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за другий сценарний період різниця складає $0,08 \text{ м}^2/\text{м}^2$, за умов збільшення CO_2 за перший сценарний період різниця складає $0,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за другий сценарний період

площа листя картоплі буде більше в порівнянні з середньо багаторічними даними і різниця буде $0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

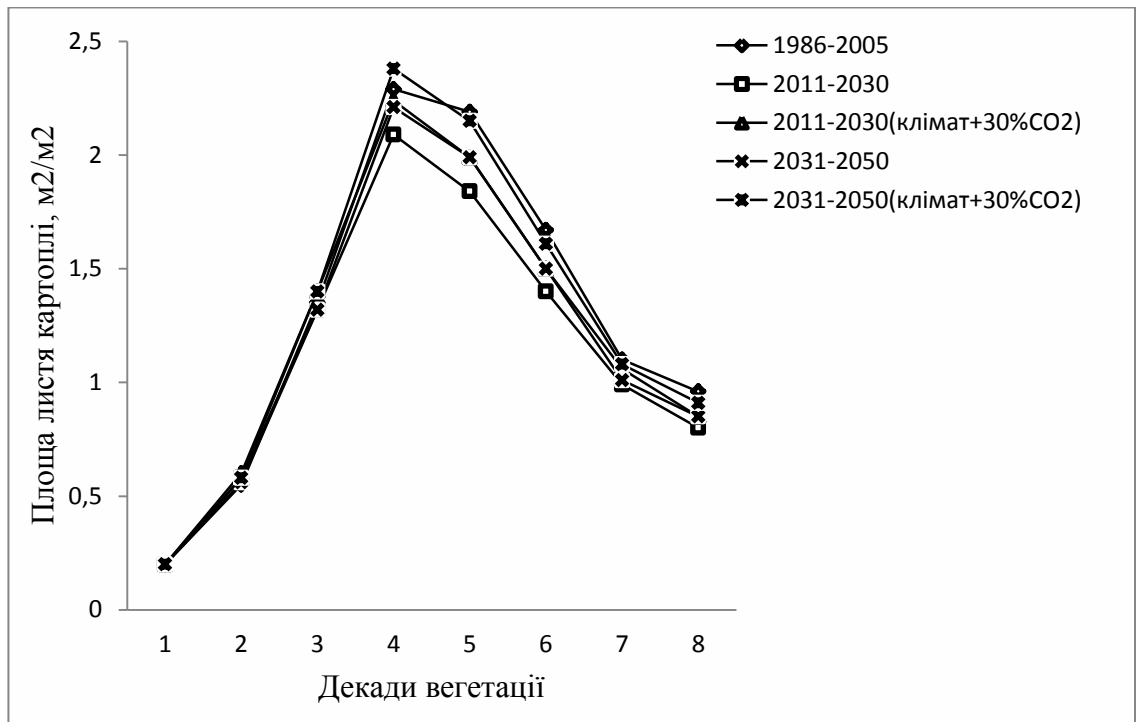


Рис. 4.2.5– Площа листя картоплі в Поліссі за умов реалізації сценарію зміни клімату А2 за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

На рис. 4.2.6 представлена площа листя картоплі в Поліссі за умов реалізації сценарію зміни клімату А1В за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.). З рис. 4.2.6 видно, що площа листя картоплі збільшувалася з першої по четверту декаду вегетації, як за середньо багаторічними даними, так і за перший сценарний період, за другий сценарний період площа листя картоплі збільшувалася з першої по п'яту декаду вегетації. За перший сценарний період максимальна площа листя в Поліссі склала $2,56 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За другий сценарний період максимальна площа листя картоплі склала $2,86 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За середньо багаторічними даними максимальна площа листя картоплі склала $2,29 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В умовах збільшення CO_2 в Поліссі площа листя картоплі почала

збільшуватися з першої по четверту декаду вегетації за перший сценарний період і за перший сценарний період площа листя склала $2,76 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за другий сценарний період площа листя картоплі почала збільшуватися з першої по п'яту декаду вегетації і в умовах збільшення CO_2 склала $3,10 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

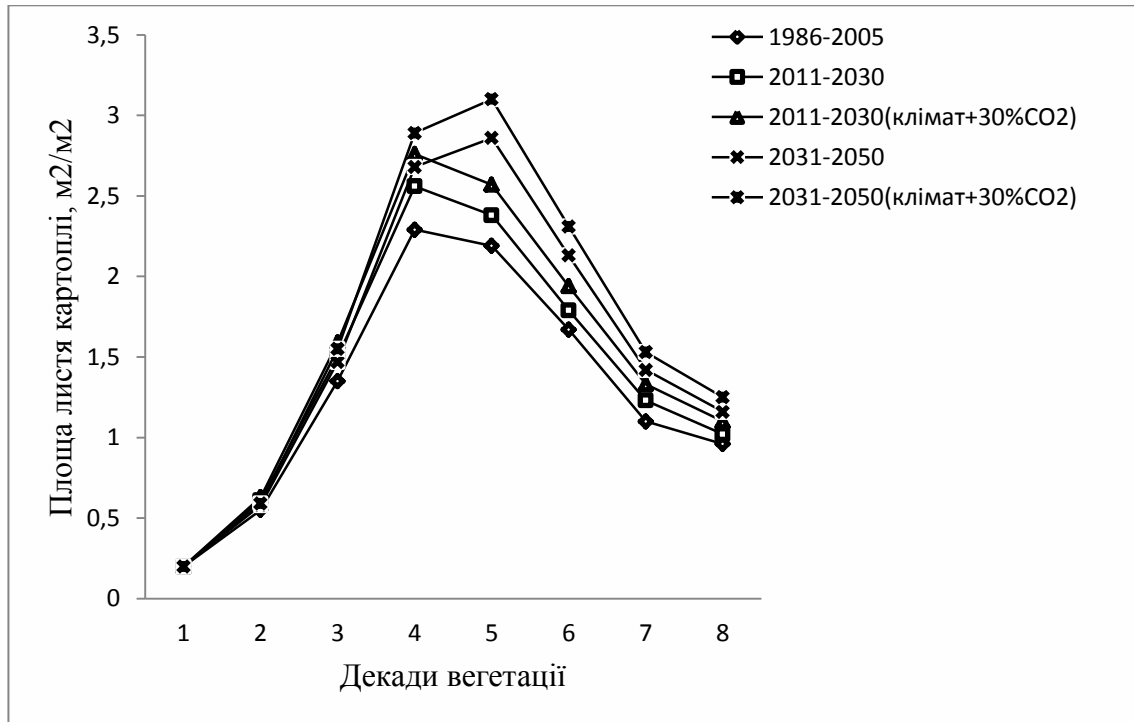


Рис. 4.2.6– Площа листя картоплі в Поліссі за умов реалізації сценарію зміни клімату A1B за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Якщо порівняти площу листя картоплі за сценаріями зміни клімату з середньо багаторічними даними, то різниця буде не значна, за перший сценарний період площа листя картоплі буде більше в порівнянні з середньо багаторічними даними, різниця складає $0,27 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за другий сценарний період різниця складає $0,57 \text{ м}^2/\text{м}^2$, за умов збільшення CO_2 за перший сценарний період різниця складає $0,28 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за другий сценарний період різниця складає $0,81 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

На рис. 4.2.7 представлена суха біомаса бульб картоплі в Поліссі за умов реалізації сценарію зміни клімату А2 за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

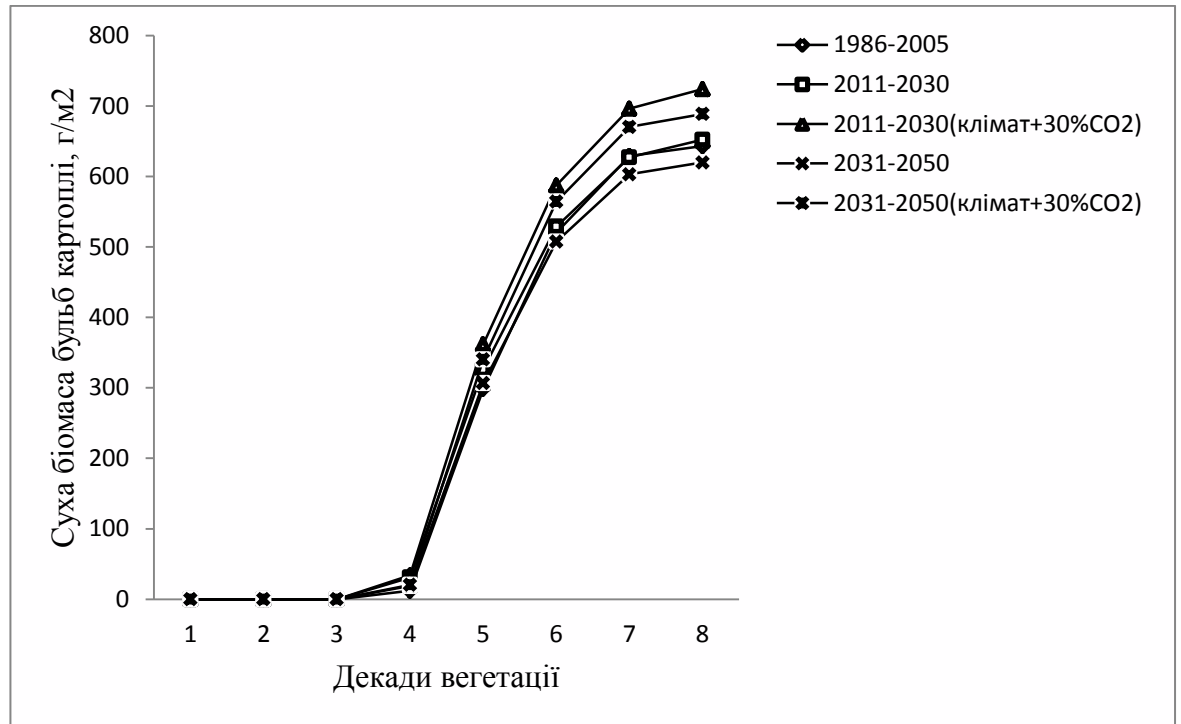


Рис. 4.2.7– Суша біомаса бульб картоплі в Поліссі за умов реалізації сценарію зміни клімату А2 за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

З рис. 4.2.7 видно, що суша біомаса бульб картоплі почала збільшуватися з третьої декади вегетації і досягла максимального значення в восьму декаду вегетації, як за середньо багаторічними значеннями, так і за перший та другий сценарії зміни клімату. За середньо багаторічними даними максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі становить 643 г/м^2 . За перший сценарний період максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі трохи збільшиться і буде складати $652,1 \text{ г/м}^2$, а за другий сценарний період значення сухої біомаси бульб картоплі зменшиться і буде дорівнювати $619,7 \text{ г/м}^2$.

В умовах збільшення CO_2 в Поліссі суха біомаса бульб картоплі за перший сценарний період складатиме $723,7 \text{ г/м}^2$, а за другий сценарний період складатиме $688,7 \text{ г/м}^2$.

Якщо порівняти суху біомасу бульб картоплі за сценаріями зміни клімату з середньо багаторічними даними, то різниця буде не значна, за перший сценарний період суха біомаса бульб картоплі буде більше в порівнянні з середньо багаторічними даними, різниця складає $9,1 \text{ г/м}^2$, а за другий сценарний період суха біомаса бульб картоплі буде менше в порівнянні з середньо багаторічними даними, різниця складає 24 г/м^2 , за умов збільшення CO_2 за перший сценарний період різниця складає $80,7 \text{ г/м}^2$, а за другий сценарний період різниця складає $45,7 \text{ г/м}^2$.

На рис. 4.2.8 представлена суха біомаса бульб картоплі в Поліссі за умов реалізації сценарію зміни клімату А1В за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

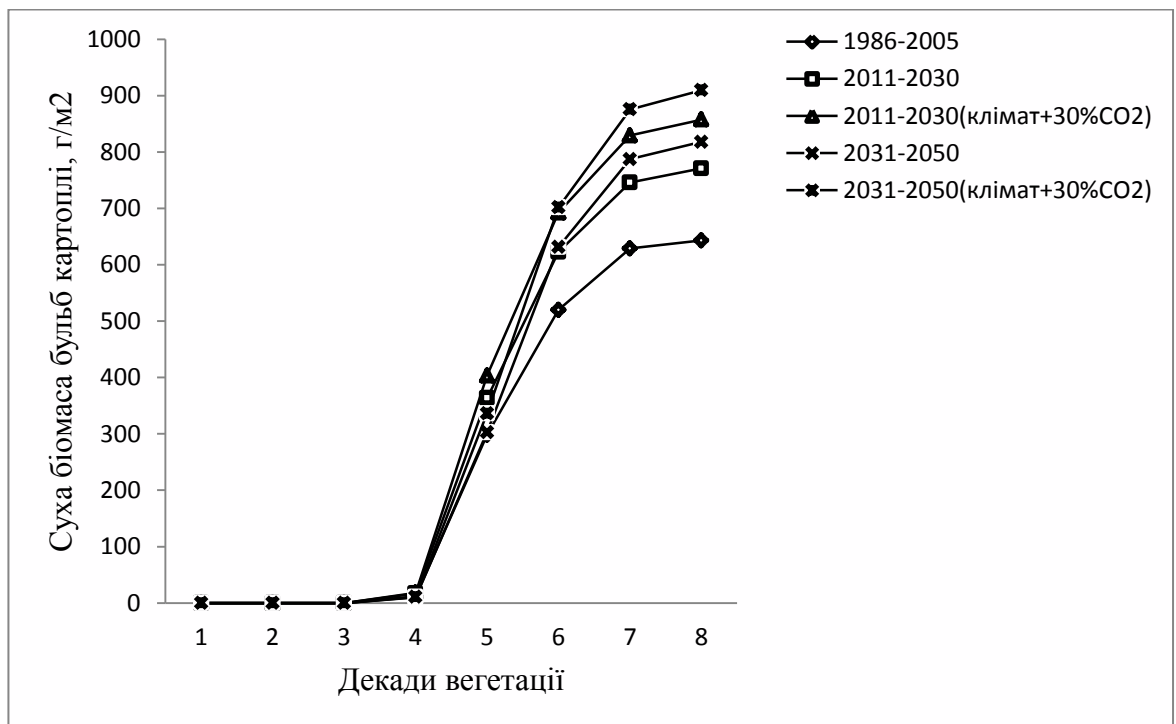


Рис. 4.2.8– Суха біомаса бульб картоплі в Поліссі за умов реалізації сценарію зміни клімату А1В за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

З рис. 4.2.8 видно, що суха біомаса бульб картоплі почала збільшуватися з третьої декади вегетації і досягла максимального значення в восьму декаду вегетації, як за середньо багаторічними значеннями, так і за перший та другий сценарні періоди. За середньо багаторічними даними максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі становить 643 г/м^2 . За перший сценарний період максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі трохи збільшиться і буде складати $770,9 \text{ г/м}^2$, а за другий сценарний період значення сухої біомаси бульб картоплі буде дорівнювати $817,9 \text{ г/м}^2$.

В умовах збільшення CO_2 в Поліссі суха біомаса бульб картоплі за перший сценарний період складатиме $857,3 \text{ г/м}^2$, а за другий сценарний період складатиме $909,5 \text{ г/м}^2$.

Якщо порівняти суху біомасу бульб картоплі за сценаріями зміни клімату з середньо багаторічними даними, то різниця буде значна, за перший сценарний період суха біомаса бульб картоплі буде більше в порівнянні з середньо багаторічними даними, різниця складає $127,9 \text{ г/м}^2$, за другий сценарний період суха біомаса бульб картоплі буде більше в порівнянні з середньо багаторічними даними, різниця складає $174,9 \text{ г/м}^2$, за умов збільшення CO_2 за перший сценарний період різниця складає $214,3 \text{ г/м}^2$, а за другий сценарний період різниця складає $266,5 \text{ г/м}^2$.

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 даного дипломного проекту 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. Розраховані фази розвитку картоплі та тривалість вегетаційного періоду за базовими даними та за сценаріями зміни клімату A1B та A2.
6. Визначені агрокліматичні умови вирощування картоплі.
7. Розрахована площа листя картоплі (за середньо багаторічними даними максимальна площа листя картоплі склала $2,29 \text{ м}^2/\text{м}^2$, за сценарієм A2

за перший і другий сценарні періоди площа листя зменшилась і склала 2,09-2,21 м²/м², а за сценарієм А1В максимальна площа листя збільшилась в порівнянні з базовими даними і склала 2,56-2,86 м²/м², в умовах збільшення СО₂ за сценарієм А2 площа листя картоплі збільшилась і склала 2,24-2,38 м²/м², за сценарієм А1В 2,76-3,10 м²/м²).

8. Розрахована суха біомаса бульб картоплі (за середньо багаторічними даними максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі становить 643 г/м², за сценарієм А2 за перший сценарний період максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі буде складати 652 г/м², а за другий сценарний період зменшиться і буде дорівнювати 619 г/м², за сценарієм А1В максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі збільшиться і складатиме 770-817 г/м², в умовах збільшення СО₂ суха біомаса бульб картоплі збільшиться за сценарієм А2 складатиме 688-723 г/м², а за сценарієм А1В 857-909 г/м²).

9. Розраховані чиста продуктивність фотосинтезу та приріст маси в період максимального розвитку, суха біомаса цілої рослини картоплі та урожай картоплі.

Всі розрахунки і графіки були розраховані та побудовані на основі базових середньо багаторічних даних за 1986-2005 рр. та за сценаріями зміни клімату А2 та А1В за два розрахункових періоди (2011-2030 рр.) та (2031-2050 рр.) у Поліссі України.

Зауважимо, що отримані результати щодо кількості опадів, на відміну від температури повітря, повинні сприйматися з певними застереженнями. Відомо, що опади є досить мінливим у просторі та часі явищем, хоча й мають за достатнього усереднення певний сезонний хід та розподіл за площею. Вони обумовлені передусім географічним положенням та підстильною поверхнею. Однак, проведене дослідження все ж виявило певні тенденції в можливих майбутніх змінах сезонних характеристик опадів, і отримані висновки відповідають сучасному стану розвитку кліматичної науки [12].

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 значущим кроком у розвитку методів дослідження клімату та дозволяє йти в ногу з методологічними тенденціями сучасної науки [27].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Адаменко Т.І., Кульбіді М.І., Прокопенко А.Л. Агрокліматичний довідник по території України — Кам'янець-Подільський: 2011. — 107 с.
2. Антоненко В.С. Динамическое моделирование роста, развития и формирования продуктивности озимой пшеницы. — К.: АртЭк, 2002. — 64с.
3. Бобылев С.Н., Грицевич И.Г. Глобальное изменение климата и экономическое развитие. - 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., Жуковский И.Г., Мушкина И.Г. и др.. Моделирование продуктивности агроэкосистем. — 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 /А.—К.: Видавництво «Українська енциклопедія» ім. Бажана М.П., Український виробничо-комерційний центр «Олімп», 1992.—544 с.
8. Гупало П.И., Гончарик Н.М. Рост и развитие картофельного растения в связи с условиями среды //Физиология сельскохозяйственных растений (в 12 томах)/ (отв. ред. Потапов Н.Г.). — М.: Изд-во МГУ, 1971.
9. Дітчук Т.Л.,Заставецька О.В., Брущенко І.В. Фізична географія України : 1971.
10. Дроздов О.А., Арапов П.П., Лугина К.М., Мосолова Г.И. Об особенностях климата при потеплениях последних столетий //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. Липінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко/ – К.:Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
13. Кондратьев К.Я. Глобальные изменения на рубеже тысячелетий //Вестник РАН. 2000.
14. Корнелюк Г.Я., Корнелюк В.Г. Місцеві сорти картоплі — цінний генофонд практичної селекційної роботи //Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки Науковий журнал. — 2009, № 9.
15. Краківська С.В., Паламарчук Л.В., Шедеменко І.П., Дюкель Г.О., Гнатюк Н.В. Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (REMO) щодо прогнозу приземної температури повітря за контрольний період 1961–90 рр. //Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2008, №257.
16. Краткий агроклиматический справочник Украины. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 256 с.
17. Кулик М.С. Погода и минеральные удобрения. – Л.: Гидрометеиздат,
18. Курицкий Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0. – С-Пб.: ВHV-Санкт Петербург, 1997. – 384 с.
19. Лавров С.Б. Глобальные проблемы современности. – СПб.: Проспект, 2000. – 341 с.;
20. Ліхацькій В.І., Бургарт Ю.Є. Овочівництво: Практикум.-К.: Вища школа, Іл.,1994.-366 с.
21. Мазуров Г.И., Вишнякова Т.В., Акселевич В.И. Меняется ли климат Земли //Материалы Международной научно-практической конференции Пермь. 2002.
22. Методика исследований по культуре картофеля.— М.: ВАСХНИЛ, 1967.— 263 с

23. Мироненко В. Г., Свистунова І. В., Захарків Г.С. Енергетична цінність рослинної сировини //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., Сапожнікова Л.М.,Клечковський Ю.Е.. Довідник овочівника степу України, 2014
[<http://agrosience.com.ua/library/shpaar-d-bykin-dreger-d-kartofe>]
26. Муминов Ф.А. Тепловой баланс и метеорологический режим картофельного поля . – 1963. – 150 с.
27. Наук. праці УкрНДГМІ, 2010.- 259 с.
28. Орден Дж. Глобальная экология. - М.: Мир, 1999 - 377 с.
29. Подпратов Г. І., Скалецька Л. Ф., Сеньков А.М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. 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 CO₂ в атмосфере //В сб. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – С-Пб.: Гидрометеиздат, 2010. – Том XXIII.
31. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 319 с.
32. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 175 с.
33. Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. – С-Пб.:Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2006. – 396 с.
34. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем – К.: КНТ, 2007. – 344 с.
35. Поповича Ф.Я. Урожай — 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 р.
37. Україна та глобальний парниковий ефект. (Книга 2) Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату. /За ред. Васильченка В.В., Рапцуна М.В., Трофимової І.В. – Київ: 1998. – 208 с.
38. Франс Дж., Торнли Дж. Х. М. Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1990. – 303 с.
39. Шпаар Д.Т., Быкин А.Л., Дрегер Д.К. и др. Картофель /Под редакцией Шпаара Д.Т. — Мн.: ЧУП «Орех», 2004. - 465 с
40. 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.
41. Delworth T.L. et al. GFDL's CM2 Global Climate Model. Part I: Formulation and simulation characteristics //J. Climate. – 2006. – V. 19. – 643 - 674p.
42. 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.
43. Stastna Milada, Dufkova Jana. Potato Simulation Model and its Evaluation in Selected Central European Country. Agricultural Conspectus Scientificus (ACS) 01. 2008.
44. K. Somasundaram, V.S. Santhosh Mithra. A Simulation model for Sweet Potato Growth. Word Journal of Agricultural Sciences. 4 (2), 2008. 214-254 p.
45. K. Somasundaram, V.S. Santhosh Mithra. Mathematical model of plant growth on the example of potatoes. Word Journal of Agricultural Sciences. 4 (2), 2008. 260-278 p.

46. C.J.T. Spitters. An analysis of variation in yield among potato cultivars in terms of light absorption, light utilization and dry matter partitioning. ISHS Acta Horticultural 214. Agrometeorology of the Potato Crop.
47. M.Smith, D.Kivumbi. Use of the FAO CROPWAT model in the deficit irrigation studies. Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
48. Joost Wolf. Comparison of two potato simulation models under climate change. Model calibration and sensitivity analyses. Journal of climate research. Vol. 21. 2002. 173-186 p.
49. H.Dommermuth. A warning service for combating late blight of potato (*phytophthora infestans*) in the federal republic of Germany. ISHS Acta Horticultural 214. Agrometeorology of the Potato Crop.
50. V.Eremeev, J.Joudu, P.Laaniste, E.Maeorg, A.Selge, A.Tsahkna, M.Noormets. Influence of the thermal shock and pre-sprouting on potato tuber yield. Spanish Journal of Agricultural Research. 6 (1). 2008. 105-113 p.
51. D.Harahagazwe, J.F.Ledent, G.Rusuku. Growth analysis and modeling of CIP potato genotypes for their characterization in two contrasting environments of Burundi. African Journal of Agricultural Research. Vol. 7(46). 2012. 173-185 p.