

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

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра агрометеорології та
агроекології

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **Вплив змін клімату на продуктивність лучних та степових трав**

Виконала студентка 2 курсу групи МЗА-18
Спеціальності 103 «Науки про Землю»,
(шифр і назва)

Освітня програма «Агрометеорологія»
(назва)

Лука Марія Михайлівна

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

Керівник д.геогр.н., професор

Польовий Анатолій Миколайович

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

Консультант _____ - _____

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

Рецензент д.геогр.н., професор

Лобода Наталія Степанівна

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

Одеса 2019 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут гідрометеорологічний
Кафедра агromетеорології та агроекології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма Агromетеорологія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри
агromетеорології та агроекології**

Польовий А.М.

« 28 » жовтня 2019 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Лука Марії Михайлівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вплив змін клімату на продуктивність лучних та степових трав
керівник роботи Польовий Анатолій Миколайович, д.геогр.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від « 18 » жовтня 2019 року № 235 «С»
2. Строк подання студентом роботи 09 грудня 2019 року
3. Вихідні дані до роботи: 1. Агрокліматичні дані за періоди: 1986 – 2010 рр.(фактичні); 2021 – 2050 рр. (сценарії RCP4.5, RCP8.5). Математична модель формування продуктивності сільськогосподарських культур
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Вивчити фізико-географічні та агрокліматичні особливості українського степу; 2. Вивчити біологічні особливості лучних та степових трав; 3. Оцінити агрокліматичні умови вирощування лучних та степових трав в українському степу за базовими умовами та з врахуванням змін клімату за періоди 2021 – 2050 рр.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
1. Графіки динаміки площі трав за період 1980 – 2010 рр. та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5. у Північному та Південному Степу;
2. Графіки динаміки інтенсивності фотосинтезу листя трав за період 1980 – 2010 рр. та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5. у Північному та Південному Степу.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 28 жовтня 2019 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання та ознайомлення з фізико-географічними особливостями території дослідження. Біологічні особливості трав та їх вимоги до навколишнього середовища. Підготовка банку даних.	28.10.2019 р. - 04.11.2019 р.	85	4(добре)
2	Вивчення алгоритму динамічної моделі продуктивності сільськогосподарських культур, проведення розрахунків.	05.11.2019 р. - 17.11.2019 р.	85	4(добре)
	<i>Рубіжна атестація</i>	18.11.2019 р. - 23.11.2019 р.	85	4(добре)
3	Виконання розрахунків, побудова графіків, таблиць. Аналіз отриманих результатів, написання основного тексту роботи.	24.11.2019 р. - 30.11.2019 р.	92	5(відмінно)
4	Узагальнення отриманих результатів. Написання висновків.	01.12.2019 р. - 05.12.2019 р.	93	5(відмінно)
5	Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.	06.12.2019 р. - 09.12.2019 р.	95	5(відмінно)
6	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту.			
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90,0	

Студентка _____ Лука М.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Польовий А.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Лука М. М. «Вплив змін клімату на продуктивність лучних та степових трав»

Актуальність обраної теми зумовлена тим, що для отримання сталих і високих урожаїв будь-якої сільськогосподарської культури, необхідне детальне вивчення агрокліматичних умов її вирощування на досліджуваній території з метою раціонального використання цих умов. Особливого значення набуває вирішення цього питання у зв'язку зі змінами клімату на планеті.

Метою даного дослідження є оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні ресурси стосовно умов формування продуктивності лучних та степових трав степової зони України.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- дати кількісну оцінку впливу агрометеорологічних умов на темпи розвитку рослин і формування врожаю;
- адаптувати і модифікувати стосовно до лучних та степових трав модель оцінки агрокліматичних ресурсів;
- оцінити вплив агрокліматичних умов на динаміку формування приростів різних рівнів агроекологічної врожайності.

Об'єкт дослідження - агрокліматичні умови формування продуктивності лучних та степових трав в умовах зміни клімату.

Предмет дослідження - оцінка впливу агрокліматичних умов на продуктивність лучних та степових трав Українського Степу.

Методи дослідження - методи математичного моделювання продукційного процесу рослин, статистичні та ймовірнісні методи.

Отримані результати можуть бути використані при виконанні комплексної оцінки агрокліматичних ресурсів стосовно вирощування лучних та степових трав.

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків та переліку посилань. Повний обсяг роботи становить 65 сторінок, 4 рисунків, 4 таблиць, списку використаної літератури, який містить 50 найменувань.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: зміна клімату, агрометеорологічні умови, продуктивність, фотосинтез, лучна, степова рослинність, базова модель, площа листя, урожай, органічний вуглець.

SUMMARY

Luka M. M. «The impact of climate change on the productivity of meadow and steppe grasses».

The relevance of the chosen topic is due to the fact that in order to obtain sustainable and high yields of any crop, in particular spring wheat, it is necessary to study in detail the agroclimatic conditions of its cultivation in the studied territory in order to use these conditions rationally and to optimally locate the crops. Of particular importance is the resolution of this issue in the context of climate change on the planet.

The purpose of this study is to assess the impact of climate change on agroclimatic resources in terms of productivity conditions for meadow and steppe grasslands in the steppe zone of Ukraine.

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

- to give a quantitative assessment of the influence of agrometeorological conditions on the rate of plant development and crop formation;
- to adapt and modify the model of agroclimatic resources in relation to meadow and steppe grasses;
- to evaluate the influence of agroclimatic conditions on the dynamics of formation of increments of different levels of agroecological productivity;

Object of study - agroclimatic conditions of formation of productivity of meadow and steppe grasses in the conditions of climate change.

The subject of the study is an assessment of the influence of agroclimatic conditions on the productivity of meadow and steppe grasses of the Ukrainian steppe.

Research methods - methods of mathematical modeling of the production process of plants, statistical and probabilistic methods.

The results obtained can be used to perform a comprehensive assessment of agroclimatic resources for the cultivation of meadow and steppe grasses.

The work consists of an introduction, 4 sections, conclusions and a list of references. The total volume of work is 65 pages, 4 figures, 4 tables, the list of used literature sources contains 50 titles.

KEYWORDS: climate change, agrometeorological conditions, productivity, photosynthesis, meadow, steppe vegetation, basic model, leaf area, yield, organic carbon.

ЗМІСТ		
ВСТУП.....		6
1	ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС СТЕПУ.....	7
2	БІОЛОГІЧНИЙ ОПИС ТРАВ	11
	2.1 Біологічний опис типчаку (костриця валіська)	11
	2.2 Біологічний опис ковилу лессінга.....	12
	2.3 Біологічний опис полину звичайного.....	13
3	БАЗОВА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР А. М. ПОЛЬОВОГО....	14
	3.1 Концепція моделювання	14
	3.2 Блок вхідної інформації	15
	3.3 Блок показників сонячної радіації і волого-температурного режиму з врахуванням експозиції поля	17
	3.4 Блок функцій впливу фази розвитку і метеорологічних факторів на продукційний процес рослин	26
	3.5 Блок родючості ґрунту і забезпеченості рослин мінеральним живленням.....	29
	3.6 Блок агроекологічних категорій урожайності.....	31
	3.7 Блок узагальнених оціночних характеристик.....	34
4	АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВИРОЩУВАННЯ ЛУЧНИХ ТА СТЕПОВИХ ТРАВ УКРАЇНСЬКОГО СТЕПУ.....	37
	4.1 Сучасні дослідження впливу погодних умов на продуктивність трав.....	37
	4.2 Продуктивність трав та їх фотосинтетична діяльність в умовах зміни клімату.....	41
ВИСНОВКИ.....		59
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....		60

ВСТУП

В Україні в результаті інтенсивного сільськогосподарського використання земель степова рослинність в природному вигляді до теперішнього часу зберіглася тільки на схилах балок, масивах зі складним рельєфом, в заповідниках, на території колишніх військових полігонів, а також в передгір'ях Криму, на піщаних косах Азово-Чорноморського узбережжя та островах. Ділянки цілинних степів охороняються в заповідниках і заказниках.

У типовій степовій зоні на півночі поширена різнотравно-типчаково-ковилова рослинність на звичайних чорноземах, на півдні – типчаково-ковиловий на чорноземах південних і темно-каштанових ґрунтах, вздовж Азово-Чорноморського узбережжя – полиново-злакова рослинність на каштанових солонцюватих ґрунтах [3, 6].

Сучасний стан фітоценозів, які представляють фіто різноманітну степовій і луговий рослинності, свідчить про їх високу здатність до стійкого і довгострокового існування, але під впливом антропогенних факторів різноманітність рослинного світу зменшується, що набуває актуальності як на світовому, так і на регіональному рівнях [1, 2, 23].

Важливим питанням сучасних проблем збереження біорізноманіття, раціонального використання рослинних ресурсів і оптимізації їх стану в умовах глобального потепління є збереження існуючих рослин і збагачення їх асортименту культурами, які були б пристосовані до екстремальних факторів зміни агрокліматичних показників [16, 13, 46].

Метою виконаної роботи була оцінка впливу кліматичних змін на продуктивність природної рослинності в Північному та Південному Степу України.

1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС СТЕПУ

Степова природна зона охоплює південну та південно-східну частини країни від лісостепу до узбережжя Чорного й Азовського морів. У межах України це справді найбільша природна зона: її площа становить близько 40% території країни! У цій зоні розташовані південні райони Кіровоградської та Харківської областей, а також Одеська (крім північної окраїни), Миколаївська, Херсонська, Дніпропетровська, Запорізька, Донецька, Луганська області.

Ширина зони змінюється від 100 км на заході до 300 км на сході. Відхилення степової зони від широтного напрямку і зміщення її північної межі на північ зумовлено закономірною зміною циркуляції повітряних мас. На сході послаблюється вплив вологих повітряних мас із Середземного моря і посилюється роль східних і південно-східних континентальних мас повітря помірною й тропічного поясів [4].

Степова зона в межах території України є порівняно молодого. Вона утворилася після відступу четвертинного Дніпровського зледеніння і накопичення лесових гірських порід унаслідок збільшення континентальності клімату. Існує думка, що попередницею степів була давня лісостепова зона.

Рельєф українських степів рівнинний, але неоднорідний. Південно-західна, центральна частини степів розташовані на Причорноморській низовині. Вона майже плоска, лише подекуди ускладнена неглибокими ярами, балками та западинами, які дещо підняті по краях і тому мають назву степові блюдця. Великі степові блюдця називають подами [5].

На сході Причорноморська низовина переходить у Приазовську низовину, хвилясту і дуже вузьку. На півночі у степову зону заходять південні окраїни Придніпровської височини та Придніпровської низовини,

які порізані ярами і балками. На північному заході до цієї зони підходять південні відгалуження Подільської височини, порізані густою сіткою глибоких балок. На сході степової зони розташувалися Донецький кряж і Приазовська височина, на південних схилах якої виступають кристалічні породи - «могили».

Степ, що займає близько 40% площі України, є найбільшим зональним природним комплексом. Він простягається від південної межі лісостепу до берегів Чорного й Азовського морів.

Зона степу має рівнинний рельєф. На півдні розкинулися низовини – Причорноморська та Приазовська, на півночі та сході лежать височини – відроги Подільської і Придніпровської, Приазовська і Донецька. У східній частині абсолютні висоти території сягають найбільших показників – 367 м (г. Могила Мечетна). Кургани-могили є виходами на поверхню кристалічних порід Українського щита й Донецької складчастої споруди. Для Донецького кряжу характерні гриви – вузькі видовжені підняття. На схилах височин багато ярів та балок. На півдні низовин поширені поди (або степові блюдця) – неглибокі овальні зниження з плоским дном [4].

У степовій зоні знайдено значні поклади кам'яного вугілля (Донецький басейн), залізних, марганцевих, уранових і ртутних руд, солей. Є також природний газ, нікелеві руди. Степова зона багата на різноманітні природні будівельні матеріали (вапняк, мергель, глини), лікувальні грязі.

Клімат зони помірно континентальний з найбільшими в Україні різницями температур між зимою і літом та найменшою кількістю опадів. Середні температури січня змінюються з півночі на південь зони від -5 до -1°C , липня – від $+20$ до $+23^{\circ}\text{C}$. Сніг лежить лише в окремі роки 1 – 2 місяці, але сніговий покрив нестійкий. Часто бувають посухи, суховії, які завдають шкоди сільському господарству. Кількість опадів становить 450 – 350 мм за рік. Випаровуваність вологи суттєво перевищує кількість опадів, тому зволоження території скрізь недостатнє.

У степу негуста річкова мережа. Своїми нижніми течіями стікають до моря великі річки України – Дніпро, Дунай, Дністер, Південний Буг, перетинає зону Сіверський Донець. Притоки Дніпра – Оріль, Самара, Інгулець, а також Інгул, Кальміус, Молочна, Берда повністю формують свій стік у межах зони. Невеликі степові річки мілководні, у верхів'ях вони часто пересихають. На півдні зони є великі зрошувальні системи, які напоюють поля водами Дніпра. У степовій зоні багато озер: у пониззі Дунаю (Ялпуг, Кагул та ін.), на узбережжях морів (Сасик-Кундук, Шагани, Алібей). Численні озера-лимани –Дністровський, Хаджибейський, Куяльницький, Тилігульський, Молочний. У деяких озерах внаслідок великої випаровуваності або ж зв'язку з морем вода солонa [7].

Колись стеги були різнотравним зеленим морем, яким перекочувалися сріблясті хвилі ковили. Лише блакитні стрічки річок, їхні долини з непролазними верболозами і очеретами, балки та скіфські могили урізноманітнювали степовий ландшафт. Безмежним трав'яним роздоллям бродили численні стада турів, тарпанів, сайгаків. Нині ж, всі степові ділянки, де може пройти трактор, розорані, а природна рослинність змінена на сільськогосподарські культури.

За відмінностями природних умов у степовій зоні розрізняють три підзони – північно-, середньо- і південностепову, які змінюють одна одну широтними смугами. Північностепова підзона займає більшу частину зони. Там сформувалися чорноземи звичайні. У різнотравному степу рослини цвітуть у різний час, тому він виглядає по-різному кожної пори року. Навесні спершу зацвітають тюльпани, шафран, гіацинти, пізніше – горицвіт жовтий, степові півники і фіалки, згодом – ковила, півонія тонколиста, шавлія, вика, лабазник, катран, волошки, льон австрійський. З середини літа степ вигоряє, але восени, завдяки дощам, зеленіє від мохів ще раз, а взимку перепочиває [5].

У середньостеповій підзоні поширені менш родючі чорноземи південні. На них сформувалися типчаково-ковилові стеги, які за видовим складом значно бідніші за різнотравні. Там ростуть ковила, типчак, гвоздика, деревій, шавлія. Однак рослинний покрив розріджений.

Південностепова підзона, яка охоплює Причорномор'я, Приазов'я, отримує найбільше сонячної радіації, проте має значний дефіцит вологи. Там утворилися каштанові ґрунти, які нерідко чергуються з солонцями і солончаками. У полиновому степу росте сухостепова і пустельна рослинність: полин, типчак, житняк, нехворощ чорна, хрінниця жовта. Рослини утворюють окремі острівці, що чергуються з голими піскуватими місцями. У Присивашші степ набуває зелено-сірого відтінку і нагадує пустелю.

Степова зона відрізняється від лісостепу відсутністю лісів на вододілах. Невеликі за площею ліси з дуба і береста (байраки) ростуть лише на балках. На їх схилах утворюють зарості терен, шипшина, мигдаль степовий, степова вишня. У долин річок поширені левади з вербою, в'язом і трав'яною рослинністю. Вдовж доріг та полів насаджено захисні лісосмуги.

Основне багатство степової зони – ґрунти. Саме завдяки їх високій родючості степ є основним сільськогосподарським районом України [4].

2 БІОЛОГІЧНИЙ ОПИС ТРАВ

2.1 Біологічний опис типчаку (костриця валіська)

Багаторічна щільнодерниста рослина. Величезна кількість щетиновидних, звивистих, згорнутих уздовж сизих листків створює густу щітку до 10 см у діаметрі. Але плідних пагонів небагато. Вони заввишки 20—25 см і закінчуються вузькою волоттю з досить великих 5—6-квіткових колосків. Нижня квіткова луска з остюком 4—7 мм завдовжки. Плід — зернівка. Цвіте в травні — червні. Росте на ущільнених ґрунтах на степах, сухих луках, сухих сонячних схилах, кам'янистих місцях по всій Україні.

Латинську назву роду утворено від кельтського слова, що означає їжа; цю назву рослина дістала за чудові кормові якості. Видова назва в перекладі з латинської мови — борозниста (краї листка згорнуті уздовж, між ними утворюється борозенка).

Костриця має добре розвинену кореневу систему, основна маса коренів якої міститься на глибині 20 см, але частина коренів проникає вглиб на 80—100 см і глибше, що є пристосуванням до життя на сухих місцезростаннях. Розмножується насінням і вегетативно. Центральні пагони поступово відмирають, а на периферії наростають нові. Поступово стара дерновина розпадається на кілька нових [8].

Рослина посухостійка. Листки вузькі, із загорнутими краями і восковим нальотом, що є пристосуванням до життя в умовах посухи. Ще одне пристосування до несприятливих умов — літній період спокою, яким характеризується типчак.

Типчак — один з головних компонентів степових рослинних угруповань. Прекрасна пасовищна рослина.

2.2 Біологічний опис ковила лессінга

Багаторічна рослина зі щільною дерниною. Численні стебла до 30—70 см заввишки, з щетинковидними листками. Кішки зібрані в колоски. Нижня квіткова луска має довгий (12—25 см), двічі колінчасто-зігнутий остюк, який у нижній частині голий, закручений у формі штопора, а у верхній перистий. Плід - зернівка. Цвіте в травні червні. Ростає на плакорах, кам'янистих схилах у степовій зоні, передгір'ях Карпат. у східній частині Південного узбережжя Криму і дуже рідко на півдні лісостепової зони.

Латинську назву роду утворено від грецького слова, що означає волос, пакля. Можливо також, що ця назва утворена від латинського слова, що означав тіснитися і рослини створюють щільні дернини. Видову назву рослина дістала на честь ботаніка Лессінга [9].

Цвітіння ковили справляє незабутнє враження: від найменшого подиху вітру сріблясті остюки перекочуються, ніби морські хвилі. Легенький пухнастий остюк відіграє значну роль розповсюдженні плодів ковили. Коли вітер несе зернівку, остюк, як парашут, підтримує її в повітрі. Він сприяє тому, що зернівка завжди падає на землю гострим кінцем. На вологому ґрунті кінець остюка розкручується і, як штопор, угвинчує зернівку в ґрунт. Підсихаючи, остюк знову скручується, а зернівка залишається в ґрунті, бо вона вкрита волосками, спрямованими вгору. Волоски сприяють проникненню зернівки в ґрунт і перешкоджають їй рухатися в зворотному напрямі. Коли зернівка досягне глибини ґрунтового шару, необхідного для її проростання, остюк перестав обгортатися, бо його рух залежить від зміни вологості, а тут вона стала [10].

Рослина стала рідкісною, її занесено до Червоної книги УРСР.

На Україні росте 12 видів ковили, усі вони погребують охорони.

2.3 Біологічний опис полину звичайного

Багаторічна рослина 50—150 см заввишки, внизу гола, угорі коротковолоса, з кореневищем. Стебло здебільшого темно-червоне. Листки перисті, зверху голі, зелені, знизу — білоповстисті, сіруваті. Усі квітки трубчасті. Прямостоячі кошики зібрані у довгі волотевидні суцвіття червонуватого кольору. Сім'янки дрібні, з чубком, легко розносяться вітром. Цвіте в липні — вересні. Ростає на луках, по берегах річок, на засмічених місцях, городах, полях, у садах по всій Україні.

Полин звичайний має пристосування до захисту від надмірного випаровування: опівдні, коли сонце припікає найдужче, його листки повертаються до сонця нижнім боком, який має повстисте опушення і добре відбиває надмірне світло [11].

Розмножується насінням і вегетативно. Одна рослина може утворювати 150—200 тис. сім'янок, які добре проростають з поверхні ґрунту або з незначної глибини. Окремі рослини можуть утворювати 2 372 100 000 сім'янок. Вегетативне розмноження відбувається частинами кореневища. Головний корінь проникає на глибину до 80 см і дуже галузиться. Восени біля основи стебла закладаються бруньки, а від кореневої шийки розвивається велика кількість кореневищ, верхівки яких виходять на поверхню, вкорінюються і дають початок новим рослинам. Тому полин звичайний дуже швидко розростається. Приживаються не тільки кореневища та їх частки, а й молоді підрізані пагони, якщо вони потрапляють у вологу землю. У посівах стає злісним бур'яном, основним засобом боротьби з яким є додержування правил агротехніки [12].

3 БАЗОВА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

А. М. ПОЛЬОВОГО

Однією з основних умов високої культури землеробства є найбільш повне використання кліматичних ресурсів. У цьому аспекті вивчення кліматичної забезпеченості формування урожаю сільськогосподарських культур з врахуванням особливостей мікроклімату конкретних територій має важливе наукове і практичне значення. При врахуванні впливу клімату на ефективність сільськогосподарського виробництва головним є визначення агрокліматичних ресурсів території, реалізоване шляхом їх агрокліматичного районування.

3.1 Концепція моделювання

Базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур [18] заснована на концепції максимальної продуктивності рослин Х.Г. Тоомінга, результатах моделювання формування урожаю рослин А.М. Польового і методах оцінки мікрокліматичної мінливості елементів клімату у горбистому рельєфі Е.Н. Романової.

Базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів [18] має блокову структуру і містить шість блоків (рис. 3.1):

- блок вхідної інформації;
- блок показників сонячної радіації і волого-температурного режиму з врахуванням експозиції схилів;

- блок функцій впливу фази розвитку і метеорологічних факторів на продукційний процес рослин;
- блок родючості ґрунту і забезпеченості рослин мінеральним живленням;
- блок агроекологічних категорій урожайності;
- блок узагальнюючих оцінюючих характеристик.

Розглянемо більш докладно ці блоки.

3.2 Блок вхідної інформації

Цей блок складається із даних стандартних метеорологічних і агрометеорологічних спостережень і містить в собі всі необхідні для виконання розрахунків характеристики (рис. 3.1). Вони поділяються на три групи:

Перша група – запаси продуктивної вологи у ґрунті, середньодекадна температура повітря, середня за декаду кількість годин сонячного сяйва, сума опадів за декаду, середній за декаду дефіцит насичення повітря, кількість днів у розрахунковій декаді.

Друга група – інформація про внесення доз азотних, фосфорних і калійних добрив, дані про оптимальні дози цих добрив, дані про внесення органічних добрив та їхній оптимальній дозі, рік внесення органічних добрив, бал ґрунтового бонітету.

Третя група – інформація про експозицію та крутість схилу, на якому розташоване поле, характеристика типу схилу і місця розташування поля на схилі.

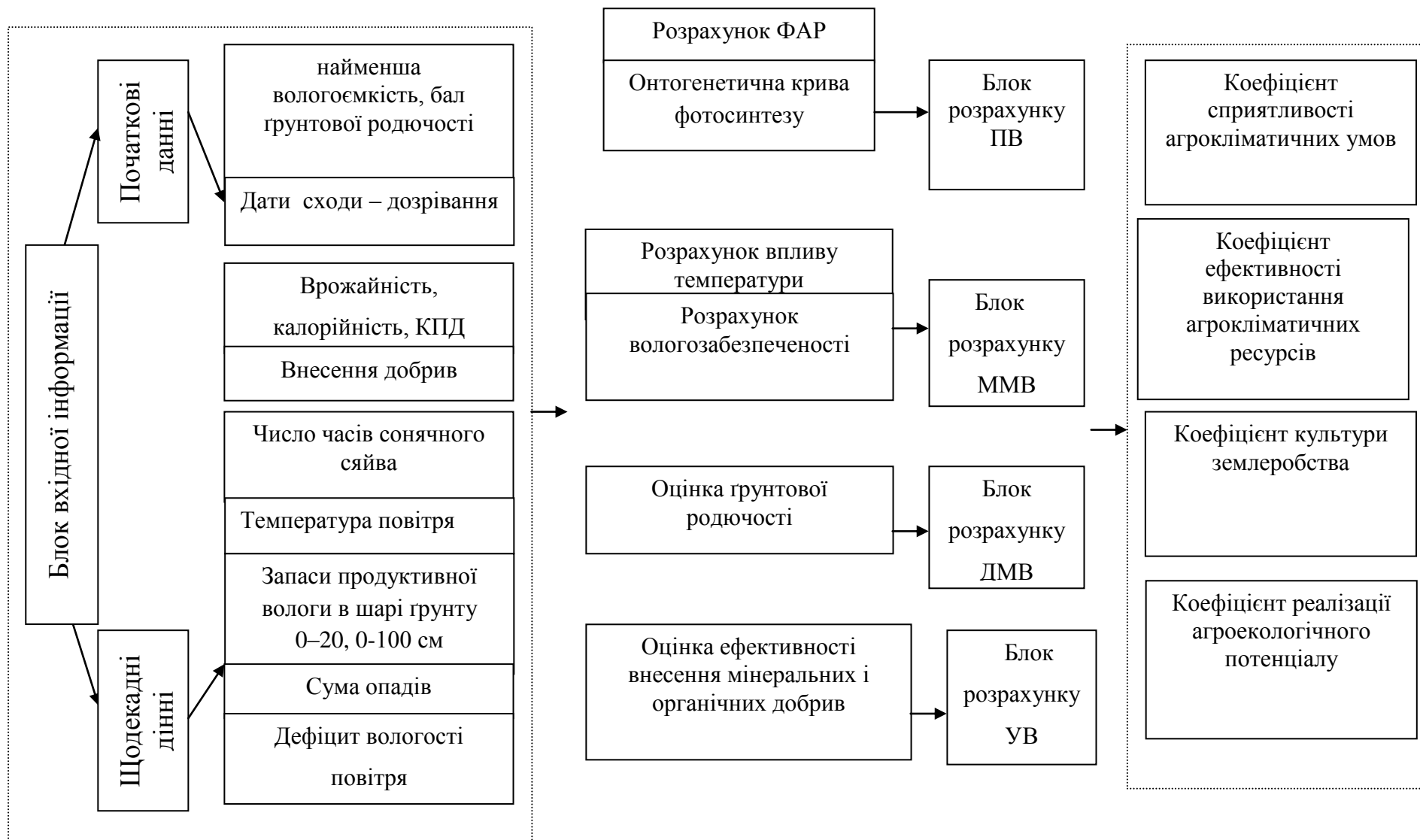


Рисунок 3.1 – Блок – схема агрокліматичної моделі формування урожаю сільськогосподарських культур.

3.3 Блок показників сонячної радіації і волого-температурного режиму з врахуванням експозиції поля

Для розрахунку інтенсивності сумарної сонячної радіації використовується формула С.І. Сівкова

$$Q_o^j = 12,66 \cdot (SS^j)^{1,31} + 315 \cdot (A^j + B^j)^{2,1}, \quad (3.1)$$

де Q_o – сумарна сонячна радіація, що приходить на горизонтальну поверхню, кал/см²·доба;

SS – середня за декаду кількість годин сонячного сяйва;

j – номер розрахункової декади;

A і B – проміжні характеристики, що визначаються в залежності від широти місцевості та схилення Сонця.

Інтенсивність сумарної сонячної радіації з урахуванням експозиції і крутості схилу визначається за виразом

$$Q_{eks}^j = k_{eks}^{Q(j)} \cdot Q_o^j, \quad (3.2)$$

де Q_{eks} – сумарна сонячна радіація в залежності від експозиції і крутості схилу, кал/см²·доба;

k_{eks}^Q – коефіцієнт для перерахунку середньої за декаду сумарної сонячної радіації з горизонтальної поверхні для схилів різної крутості, відн. од.

Величина k_{eks}^Q визначається в залежності від широти місцевості, календарного місяця, експозиції і крутості схилу (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Поправки для розрахунку середньої за декаду сумарної сонячної радіації

Широта, град.	Місяць					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Північний схил 200 44	0,86	0,91	0,92	0,91	0,87	0,75
46	0,85	0,90	0,92	0,91	0,86	0,75
48	0,85	0,90	0,92	0,91	0,86	0,75
50	0,84	0,90	0,91	0,90	0,85	0,75
52	0,83	0,89	0,91	0,90	0,85	0,75
Північний схил 100 44	0,93	0,95	0,96	0,96	0,94	0,89
46	0,93	0,95	0,96	0,96	0,94	0,89
48	0,93	0,95	0,96	0,96	0,94	0,89
50	0,92	0,94	0,96	0,96	0,94	0,88
52	0,92	0,94	0,96	0,96	0,94	0,88
Південний схил 200 44	1,07	1,02	0,99	1,01	1,05	1,15
46	1,07	1,02	0,99	1,01	1,06	1,15
48	1,08	1,03	1,0	1,01	1,06	1,16
50	1,08	1,03	1,0	1,01	1,06	1,16
52	1,09	1,04	1,0	1,02	1,07	1,16

Кінець табл. 3.1 – Поправки для розрахунку середньої за декаду сумарної сонячної радіації

Південний схил 100 44	1,05	1,01	1,0	1,01	1,04	1,08
46	1,05	1,02	1,0	1,01	1,04	1,08
48	1,05	1,02	1,0	1,01	1,04	1,08
48	1,05	1,02	1,0	1,01	1,04	1,08
50	1,05	1,02	1,0	1,01	1,04	1,08
52	1,06	1,02	1,0	1,02	1,04	1,08

Для розрахунку температури повітря на схилі використовується вираз

$$T_{S_{eks}}^j = k_{eks}^{T(j)} \cdot T_S^j, \quad (3.3)$$

де $T_{S_{eks}}$ – середньодекадна температура повітря на схилі, °С;

k_{eks}^T – коефіцієнт для перерахунку температури повітря на схилі, відн.

од.;

T_S – середньодекадна температура повітря на горизонтальній поверхні, °С.

Величина k_{eks}^T визначається в залежності від широти місцевості і крутості схилу:

а) північний схил

$$k_{eks}^{T(j)} = 1 - 0,003 \cdot (1 + 0,02\varphi) \cdot \beta_{kp}, \quad (3.4)$$

б) південний схил

$$k_{eks}^{T(j)} = 1 + 0,001 \cdot (1 + 0,007\varphi) \cdot \beta_{kp}, \quad (3.5)$$

в) східний і західний схили

$$k_{eks}^{T(j)} = 1 - 0,001 \cdot (1 - 0,005\varphi) \cdot \beta_{kp}, \quad (3.6)$$

г) північно-східний і північно-західний схили

$$k_{eks}^{T(j)} = 1 - 0,0025 \cdot (1 + 0,02\varphi) \cdot \beta_{kp}, \quad (3.7)$$

д) південно-східний і південно-західний схили

$$k_{eks}^{T(j)} = 1 - 0,00085 \cdot (1 + 0,07\varphi) \cdot \beta_{kp}, \quad (3.8)$$

де φ – широта пункту, град;

β_{kp} – крутість схилу, град.

Режим зволоження ґрунту з урахуванням експозиції схилу визначається двома способами:

– перший спосіб – при наявності даних про вологість ґрунту

$$W_{eks}^j = k_{eks}^{W(j)} W_o^j, \quad (3.9)$$

де W_o – запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту на горизонтальній поверхні, мм;

W_{eks} -запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см на схилі, мм;

k_{eks}^W – коефіцієнт для перерахунку запасів вологи на схилі, відн. од.

Величина k_{eks}^W визначається в залежності від зволоження місцевості, пори року, експозиції схилу і форми рельєфу (табл. 3.2);

– другий спосіб – при відсутності даних про вологість ґрунту визначається сума опадів з урахуванням факторів зволоження території, експозиції схилу та форми рельєфу

$$O_{S_{eks}}^j = k_{eks}^{O_s} \cdot O_s^j, \quad (3.10)$$

де $O_{S_{eks}}$ – сума опадів за декаду з урахуванням схилу, мм;

$k_{eks}^{O_s}$ – коефіцієнт для перерахунку опадів на схилі, відн. од;

O_s – сума опадів за декаду на горизонтальну поверхню.

Таблиця 3.2 – Поправки для розрахунку запасів продуктивної вологи

Форма рельєфу	Пора року			Середня величина
	весна	літо	осінь	
а) Схили прямого та ввігнутого профілю				
Вершина	0,54	0,46	0,42	0,47
Північний схил:				
верхня частина	1,0	0,86	0,98	0,95
середня –"–	1,0	1,0	1,0	1,03
нижня –"–	1,5	1,49	1,08	1,36
підніжжя	2,0	1,50	1,60	1,70
Південний схил:				
верхня частина	0,45	0,41	0,37	0,41
середня –"–	0,62	0,50	0,48	0,53
нижня –"–	0,93	0,93	0,96	0,95
підніжжя	1,22	1,20	1,14	1,19
Рівна місцевість	1,0	1,0	1,0	1,0
б) Схили випуклого профілю				
Водороздільне плато	1,0	1,0	1,0	1,0
Північний схил:				
верхня частина	0,95	0,97	0,98	0,97
середня –"–	1,03	1,0	1,0	1,01

Кінець табл. 3.2 – Поправки для розрахунку запасів продуктивної ВОЛОГИ

нижня –"–	1,03	0,92	0,82	0,92
підніжжя	2,18	1,88	1,99	2,02
Південний схил:				
верхня частина	0,85	0,82	0,76	0,81
середня –"–	0,73	0,77	0,71	0,74
нижня –"–	0,78	0,72	0,66	0,72
підніжжя	1,22	1,18	1,14	1,18

Величина $k_{eks}^{O_s}$ визначається в залежності від зволоження території, експозиції схилу і форми рельєфу (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Поправки для розрахунку суми опадів в залежності від зволоження території, експозиції схилу та форми рельєфу

Зона зволоження	Північний схил				Південний схил			
	верхня частина	середня частина	нижня частина	підніжжя	верхня частина	середня частина	нижня частина	підніжжя
Грунт типу «а»								
Надмірно зволожена	0,82	0,87	0,92	1,50	0,88	0,90	0,92	1,38
Достатньо зволожена	0,83	0,85	0,88	1,56	0,88	0,94	0,96	1,32
Слабко посушлива	0,84	0,88	0,90	1,48	0,90	0,94	0,96	1,26
Посушлива	0,88	0,92	0,95	1,25	0,93	0,96	0,98	1,19

Кінець табл. 3.3 – Поправки для розрахунку суми опадів в залежності від зволоження території, експозиції схилу та форми рельєфу

Дуже посушлива	0,93	0,95	0,98	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0
Суха	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ґрунт типу «б»								
Надмірно зволожена	0,86	0,89	0,90	1,37	0,92	0,96	0,98	1,28
Достатньо зволожена	0,88	0,90	0,92	1,33	0,94	0,97	0,99	1,14
Слабко посушлива	0,89	0,92	0,95	1,20	0,96	0,98	1,0	1,06
Посушлива	0,95	0,97	0,89	1,15	0,98	1,0	1,0	1,02
Дуже посушлива	0,98	0,98	1,0	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0
Суха	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Примітка:

Ґрунти типу «а»: підзолисті супіски, потужний чорнозем, типові і південні чорноземи, світло-каштанові.

Ґрунти типу «б»: підзолисті суглинки, лучні та деградовані чорноземи, терасовий чорнозем.

Для розрахунку випаровуваності E_0 використовується метод А.М. Алпатьєва:

$$E_0^j = 0,65 \cdot DWW^j \cdot dv^j \cdot 0,75, \quad (3.11)$$

де DWW – середній за декаду дефіцит насичення повітря;

dv – кількість днів у розрахунковій декаді.

Розрахунок випаровуваності з врахуванням експозиції схилу виконується за співвідношенням

$$E_{0eks}^j = k_{eks}^{E(j)} \cdot E_O^j, \quad (3.12)$$

де E_{0eks} – випаровуваність на схилі;

k_{eks}^E – коефіцієнт для перерахування випаровуваності на схилі.

Сумарне випаровування визначається за формулою С.І. Харченко

$$E_{eks}^j = \frac{2W_{eks}^j + O_{S_{eks}}^j + P_{нор}^j}{1 + \frac{2W_{HB}}{E_{O_{eks}}^j}}, \quad (3.13)$$

де E_{eks} – сумарне випаровування на схилі;

$P_{нор}$ – норма вегетаційних поливів;

W_{HB} – найменша вологоємність у шарі ґрунту 0-100 см;

$O_{S_{eks}}$ – сума опадів за декаду з урахуванням схилу;

W_{eks} – запаси продуктивної води у метровому шарі ґрунту на схилі.

Величина коефіцієнта для перерахунку випаровуваності на схилі k_{eks}^E знаходиться в залежності від зволоження території, пори року, експозиції і крутості схилу (табл. 3.4).

За допомогою наступного співвідношення розраховується інфільтрація у нижні шари ґрунту

$$F_{ilt_{eks}}^j = W_{eks}^j + O_{S_{eks}}^j + P_{нор}^j - E_{eks}^j - W_{HB}, \quad (3.14)$$

де $F_{ilt_{eks}}$ – інфільтрація в нижні шари ґрунту на схилі за декаду, мм.

Для розрахунку запасів продуктивної вологи на схилі використовується рівняння водного балансу

$$W_{eks}^{j+1} = W_{eks}^j + O_{S_{eks}}^j + P_{nor}^j - E_{eks}^j - F_{ilt_{eks}}^j. \quad (3.15)$$

Таблиця 3.4 – Поправки для розрахунку випаровуваності

Зона зволоження	Експозиція та крутизна схилу							
	Північний схил				Південний схил			
	50	100	150	200	50	100	150	200
а) весна								
Достатньо зволожена	0,94	0,84	0,77	0,72	1,08	1,12	1,19	1,25
Слабко посушлива	0,92	0,87	0,76	0,69	1,05	1,11	1,17	1,20
Посушлива	0,91	0,82	0,75	0,66	1,05	1,10	1,17	1,19
Дуже посушлива	0,91	0,83	0,73	0,64	1,03	1,08	1,14	1,18

Примітка:

Зони зволоження визначаються на основі середньорічних даних про зволоження ґрунту:

- 1) надмірно зволожена 70–90 % ПВ;
- 2) достатньо зволожена 50–60 % ПВ;
- 3) слабо посушлива 40–50 % ПВ;
- 4) посушлива 30–40 % ПВ;
- 5) дуже посушлива 20–30 % ПВ;
- 6) суха < 20 % ПВ;

ПВ - повна вологоємність ґрунту, мм.

3.4 Блок функцій впливу фази розвитку і метеорологічних факторів на продукційний процес рослин

В основі продукційного процесу рослин лежить фотосинтез. Його інтенсивність обумовлюється фазою розвитку рослин і умовами навколишнього середовища. Для розрахунку онтогенетичної кривої фотосинтезу використовується формула

$$\alpha_{\Phi}^j = \exp \left[-a_{\Phi} \left(\frac{TS_2 - \Sigma t_1}{10} \right)^2 \right], \quad (3.16)$$

де величина α_{Φ} знаходиться за виразом

$$\alpha_{\Phi} = \frac{-100 \cdot \ln \alpha_{\Phi}^o}{(\Sigma t_1)^2}, \quad (3.17)$$

де α_{Φ} – онтогенетична крива фотосинтезу, відн. од.;

α_{Φ}^o – початкове значення онтогенетичної кривої фотосинтезу, відн. од.;

Σt_{1_1} – сума ефективних температур повітря від сходів, при якій спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу рослин, °С;

TS_2 – сума ефективних температур, °С.

Функція впливу температури повітря на продукційний процес рослин визначається як

$$\psi_{\Phi} = \begin{cases} 13,7 \cdot \sin(0,077 \cdot x_1^j) & \text{при } (T^j - T_{\Phi}) < T_{opt1}^j, \\ 1 & \text{при } T_{opt1} \leq (T^j - T_{\Phi}) \leq T_{opt2}^j, \\ 1,13 \cdot \cos(1,570 \cdot x_2^j) & \text{при } (T^j - T_{\Phi}) > T_{opt2}^j, \end{cases}, \quad (3.18)$$

де ψ_{Φ} – температурна крива фотосинтезу, відн. од.;

T – середньодекадна температура повітря, °C;

T_{Φ} – середньодекадна температура повітря, при якій починається фотосинтез, °C;

T_{opt1} – нижня межа температурного оптимуму для фотосинтезу, °C;

T_{opt2} – верхня межа температурного оптимуму для фотосинтезу, °C.

У рівнянні (3.18) проміжні величини знаходяться за формулами

$$x_1^j = (T_s^j \cdot k_{eks}^T - T_{\Phi}) / (T_{opt1}^j - T_{\Phi}), \quad (3.19)$$

$$x_2^j = (T_s^j \cdot k_{eks}^T - T_{opt2}^j) / (T_{max} - T_{opt2}^j), \quad (3.20)$$

де T_{max} – середньодекадна температура повітря, при якій припиняється фотосинтез, °C;

T_s – температура повітря на горизонтальній поверхні, °C;

k_{eks}^T – коефіцієнт для перерахування температури повітря на схилі.

Значення нижньої і верхньої межі температурного оптимуму для фотосинтезу визначаються як функції часу.

Функція впливу вологості ґрунту на фотосинтез γ_{Φ} знаходиться як

$$\gamma_{\Phi} = \begin{cases} -1,163 \cdot (x_3^j)^2 + 2,187 \cdot x_3^j & \text{при } W^j \cdot k_{eks}^W < W_{opt1}^j, \\ 1 & \text{при } W_{opt1}^j \leq W^j \cdot k_{eks}^W \leq W_{opt2}^j, \\ -0,654 + 3,824 \cdot x_4^j - 2,633 \cdot (x_4^j)^2 + 0,467 \cdot (x_4^j)^3 & \\ \text{при } W^j \cdot k_{eks}^W > W_{opt2}^j, \end{cases} \quad (3.21)$$

де W – запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту, мм;

W_{opt1} – нижня межа оптимальних запасів вологи, мм;

W_{opt2} – верхня межа оптимальних запасів вологи, мм.

$$x_3^j = W^j \cdot k_{eks}^W / W_{opt1}^j, \quad (3.22)$$

$$x_4^j = W^j \cdot k_{eks}^W / W_{opt2}^j, \quad (3.23)$$

де k_{eks}^W – коефіцієнт для перерахування запасів вологи на схилі, відн.

од..

Функція впливу вологозабезпеченості посівів розглядається як сполучення двох функцій. Враховується функція впливу вологості ґрунту на продуктивність рослин (за даними про фактичні запаси вологи) і відношення сумарного випаровування посівів до випаровуваності з врахуванням експозиції і крутості схилів:

$$FW = \left(\gamma_{\Phi}^j \cdot \frac{E_{eks}^j}{E_{0\ eks}^j} \right)^{0,5}, \quad (3.24)$$

де FW – відносна вологозабезпеченість посівів, відн. од..

Аналогічно визначається узагальнена функція впливу термічного режиму і вологозабезпеченості FTW_1 на фотосинтез:

$$FTW_1 = (\psi_{\Phi} FW)^{0,5}. \quad (3.25)$$

До цієї функції вводиться корекція на рівень температури в сполученні з вологозабезпеченістю

$$FTW_2 = \begin{cases} FTW_1[1 + (1 - \Psi_\Phi)(1 - FW)] & \text{при } t_n < t_{opt1} \\ FTW_1 & \text{при } t_{opt1} \leq t_n \leq t_{opt2} \\ FTW_1[1 - (1 - \Psi_\Phi)(1 - FW)] & \text{при } t_n > t_{opt2} \end{cases} . \quad (3.26)$$

3.5 Блок родючості ґрунту і забезпеченості рослин мінеральним живленням

Родючість ґрунту характеризується вмістом у ній гумусу, що залежить від міри впливу ерозії ґрунту.

$$G_{umeks} = k_{er}^G \cdot G_{um}, \quad (3.27)$$

$$F_{Gum} = \frac{G_{umeks}}{G_{umopt}}, \quad (3.28)$$

де G_{um} – вміст гумусу у ґрунті, %;

G_{umeks} – вміст гумусу у ґрунті на схилах з врахуванням ерозії, %;

k_{er}^G – функція впливу ерозії ґрунту на вміст гумусу у ґрунті, відн. од;

G_{umopt} – оптимальний для вирощування сільськогосподарської культури вміст гумусу у ґрунті, %.

Функція впливу вмісту гумусу у ґрунті визначається за формулою О.С. Образцова для розрахунку забезпеченості рослин елементами мінерального живлення

$$FW_{Gum} = (F_{Gum})^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_{Gum})], \quad (3.29)$$

де FW_{Gum} – функція впливу вмісту гумусу у ґрунті на формування урожаю, відн. од..

Значення функцій оптимальності азотного, фосфорного і калійного живлення розраховується за методом О.С. Образцова з деякими модифікаціями

$$F_N = \frac{N_m}{N_{opt}}, \quad (3.30)$$

$$FW_N^j = \left\{ (F_N)^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_N)] \right\} \cdot k_{ef}^j, \quad (3.31)$$

де N_m – внесена доза азотних добрив, кг/га;

N_{opt} – оптимальна доза азотних добрив, необхідна для одержання максимального урожаю, кг/га;

FW_N – функції впливу забезпеченості азотом, відн. од.;

k_{ef} – коефіцієнт ефективності добрив в залежності від вологості ґрунту, відн. од.

Аналогічно визначаються функції впливу забезпеченості фосфором FW_P і калієм FW_K .

Вплив режиму зволоження ґрунту на ефективність добрив враховується за виразом:

$$k_{ef}^j = \begin{cases} 1 & \text{при} & \frac{W_{eks}^j}{W_{optl}^j} \geq 0,85, \\ 0,8 & \text{при} & 0,70 < \frac{W_{eks}^j}{W_{optl}^j} < 0,85, \\ 0,6 & \text{при} & \frac{W_{eks}^j}{W_{optl}^j} \leq 0,70, \end{cases} \quad (3.32)$$

Аналогічно визначається співвідношення дози органічних добрив до їх оптимальної величини і розрачується функція впливу внесення органічних добрив з врахуванням року внесення добрив

$$F_{Org} = \frac{O_{rg}}{O_{rg\ opt}}, \quad (3.33)$$

$$FW_{Org}^j = \left\{ F_{Org} \right\}^{1,35} \cdot \exp \left[1,1 \cdot (1 - F_{Org}) \right] \cdot k_{Org}^g \cdot k_{ef}^j, \quad (3.34)$$

де FW_{Org} – функція впливу внесення органічних добрив на урожай;

O_{rg} – внесена доза органічних добрив, т/га;

$O_{rg\ opt}$ – оптимальна для вирощування сільськогосподарської культури доза внесення органічних добрив, т/га;

k_{Org}^g – коефіцієнт впливу року внесення органічних добрив, відн. од.

Узагальнена функція впливу родючості ґрунту і внесення мінеральних та органічних добрив розрачується за принципом Лібіха

$$FWM_{ef}^j = \min \left\{ FW_{Org}^j, FW_N^j, FW_P^j, FW_K^j \right\}, \quad (3.35)$$

де FWM_{ef} – функція впливу ефективної родючості на урожай, відн. од.

3.6 Блок агроекологічних категорій урожайності

Визначення величини різних агроекологічних категорій урожайності здійснюється з врахуванням внесених модифікацій, із залученням більш повної інформації і наповненням цих категорій новим змістом.

Збільшення потенційної урожайності загальної біомаси за декаду визначається в залежності від інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР) і біологічних особливостей культури з врахуванням зміни здатності рослин до фотосинтезу протягом вегетації

$$\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} = \alpha_{\Phi}^j \frac{\eta \cdot Q_{\text{фар}}^j \cdot k_{\text{eks}}^{Q^j} \cdot d\nu^j}{q}, \quad (3.36)$$

де $\frac{\Delta ПУ}{\Delta t}$ – приріст потенційної урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²;

α_{Φ} – онтогенетична крива фотосинтезу, відн. од.;

η – КПД посівів, відн. од.;

$Q_{\text{фар}}$ – середньодекадна за добу сума ФАР, кал/см² доба;

$k_{\text{eks}}^{Q^j}$ – коефіцієнт для перерахування середньої за декаду сумарної сонячної радіації з горизонтальної поверхні для схилів різної експозиції і крутості, відн. од.;

q – калорійність.

Приріст метеорологічно-можливої урожайності загальної біомаси являє собою приріст потенційної урожайності, який буде обмежений впливом волого-температурного режиму:

$$\frac{\Delta ММУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} \cdot FTW_2, \quad (3.37)$$

де $\frac{\Delta ММУ}{\Delta t}$ – приріст метеорологічно-можливої урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²;

FTW_2 – узагальнена функція впливу волого-температурного режиму з корекцією на сполучення різних екстремальних умов, відн. од.

Формування дійсно можливої урожайності загальної біомаси обмежується рівнем природної родючості ґрунту:

$$\frac{\Delta ДМУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ММУ^j}{\Delta t} B_{пл} F_{Gum}, \quad (3.38)$$

де $\frac{\Delta ДМУ}{\Delta t}$ – приріст дійсно можливої урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²;

$B_{пл}$ – бал ґрунтового бонітету, відн. од.

Одержання рівня господарської урожайності загальної біомаси обмежується реально існуючим рівнем культури землеробства й ефективністю внесених мінеральних і органічних добрив:

$$\frac{\Delta УВ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ДМУ^j}{\Delta t} k_{земл} FWM_{ef}^j, \quad (3.39)$$

де $\frac{\Delta УВ}{\Delta t}$ – приріст урожайності загальної біомаси у виробництві, г/м²;

$k_{земл}$ – коефіцієнт, що характеризує рівень культури землеробства і господарської діяльності, відн. од.;

FWM_{ef} – функція ефективності внесення органічних і мінеральних добрив в залежності від умов вологозабезпеченості декад вегетації, відн. од.

Різні агроекологічні категорії врожаю зерна при його стандартній 14 %-ій вологості визначаються за виразом

$$ПУ_{зерна} = ПУ \cdot K_{госп}^{ПУ} 1,14 \cdot 0,1 \quad (3.40)$$

де $ПУ_{зерна}$ – потенційний урожай зерна, ц/га;

$K_{госп}^{ПУ}$ – частка зерна в загальній масі потенційного врожаю, відн. од., яка визначається в залежності від розмірів врожаю загальної біомаси.

Аналогічно визначаються відповідно метеорологічно-можливий $ММУ_{зерна}$, дійсно можливий $ДМУ_{зерна}$ і урожай у виробництві $УВ_{зерна}$ зерна.

3.7 Блок узагальнених оціночних характеристик

Аналіз різноманітних агроекологічних категорій врожайності ($ПУ$, $ММУ$, $ДМУ$, $УВ$), а також їхніх співвідношень і відмінностей дозволяє судити про природні й антропогенні ресурси сільського господарства, а також про ефективність господарського використання цих ресурсів стосовно вирощування сільськогосподарських культур.

Розглянемо п'ять узагальнених характеристик:

1. Ступінь сприятливості метеорологічних умов вирощування культури характеризує співвідношення метеорологічно-можливої врожайності і потенційної врожайності

$$K_m = ММУ_{зерна} / ПУ_{зерна}, \quad (3.41)$$

де K_m – коефіцієнт сприятливості метеорологічних умов, відн. од.

2. Сприятливість ґрунтових умов показує відношення дійсно можливої врожайності до метеорологічно-можливої врожайності

$$K_2 = ДМУ_{зерна} / ММУ_{зерна}, \quad (3.42)$$

де K_2 – коефіцієнт сприятливості ґрунтових умов, відн. од.

3. Співвідношення врожайності у виробництві і метеорологічно можливої врожайності встановлює ефективність використання агрокліматичних ресурсів. Якщо це співвідношення розраховується за середніми багаторічними даними, то воно відображає ефективність використання агрокліматичних ресурсів

$$K_{акл} = UB_{зерна}/ММУ_{зерна}, \quad (3.43)$$

де $K_{акл}$ – коефіцієнт ефективності використання агрокліматичних ресурсів, відн. од.

4. При реальних ґрунтових умовах співвідношення урожайності у виробництві і дійсно можливої урожайності можна розглядати як показник досконалої агротехнології

$$K_{земл} = UB_{зерна}/ДМУ_{зерна}, \quad (3.44)$$

де $K_{земл}$ – коефіцієнт ефективності використання існуючих агрометеорологічних і ґрунтових умов (характеризує рівень культури землеробства з погляду ефективності господарського використання існуючого комплексу агрометеорологічних і ґрунтових умов), відн. од.

5. Величина відношення урожайності у виробництві до потенційної урожайності характеризує рівень реалізації агроекологічного потенціалу

$$K_{аек.пот} = UB_{зерна}/ПУ_{зерна}, \quad (3.45)$$

де $K_{аек.пот}$ – коефіцієнт реалізації агроекологічного потенціалу, відн. од.

Підвищення рівня $UB_{зерна}$ і доведення його до $ДМУ_{зерна}$ вимагає ретельного дотримання всіх засобів агротехніки, виконання їх у повній відповідності з агрометеорологічними умовами на конкретному полі. Це є першочерговою задачею програмування урожаїв, спрямованого на усунення дії різноманітних господарських факторів, які знаходяться у мінімумі.

Наближення $ДМУ_{зерна}$ до $ММУ_{зерна}$ вимагає виконання різноманітних заходів для підвищення родючості ґрунту. Різниця між $ММУ_{зерна}$ і $ПУ_{зерна}$ компенсується за рахунок меліоративних заходів, а також внаслідок

правильного підбору сортів і культур, що краще пристосовані до особливостей конкретного клімату. Підвищення рівня $ПУ_{зерна}$ забезпечується головним чином шляхом селекції нових сортів, які будуть мати більш високий рівень урожайності за рахунок ефективного використання сонячної радіації.

Формули (3.1)–(3.45) дозволяють визначити основні агроекологічні категорії урожайності сільськогосподарських культур для різних елементів рельєфу, що формуються під впливом ґрунтово-кліматичних умов і мікрокліматичних особливостей досліджуваних територій та виконати для цих територій оцінку агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур.

4 АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВИРОЩУВАННЯ ЛУЧНИХ ТА СТЕПОВИХ ТРАВ УКРАЇНСЬКОГО СТЕПУ

4.1 Сучасні дослідження впливу погодних умов на продуктивність трав

Продуктивність дикорослих фітоценозів лук і степів (це порівняно молодий напрямок біологічних і географічних наук, яке отримало розвиток в зв'язку з Міжнародною біологічною програмою (МБП). Результатом роботи МБП є велика кількість досліджень продукційного процесу в цілому, а також первинної продуктивності екосистем різних географічних зон [1, 23, 26].

Біологічна продуктивність лучної і степової рослинності є здатність живої речовини створювати біомасу і утворювати біотичний покрив. Вона формується під впливом цілої низки чинників, одним з яких є клімат.

Питанням дослідження параметрів запасів фітомаси, яка формується протягом року, їх кількісної оцінки присвячені роботи [17, 22, 25].

У них узагальнено весь фактичний матеріал первинної продуктивності екосистем Північної Євразії в межах території колишнього СРСР. Встановлено, що біомаса рослин в степу становить від 100 до 400 ц / га. Крім цього, також встановлено, що для рослинності степів співвідношення між живими і відмерлими органами представляє близько 65% на чорноземах і темно-каштанових ґрунтах і 35% на каштанових ґрунтах. У роботі [2] наводиться характеристика сучасного стану рослин в заповіднику «Михайлівська цілина» і звертається увага на те, що в результаті антропогенного впливу перелік трав скорочується, деякі види зникають і головне завдання людства на даному етапі - зберегти степові екосистеми [2]. Дослідження [22] стосуються довголіття багатьох трав, а роботи присвячені дослідженням сукцесії і степового кругообігу степових трав [5, 7].

Цінність степової рослинності для кормовиробництва розглядалася в роботах [2, 22, 25]. У роботах [17,46] викладені основи лугового і степового кормовиробництва, розглядається питання ресурсозберігаючих технологій створення високопродуктивних сінокосів і пасовищ. Особливу увагу приділено основам отримання якісного насіння трав. Дослідження впливу кліматичних і погодних умов на розвиток степової і лугової рослинності і формування їх продуктивності в Україні нечисленні [46].

Широкому колу проблем впливу кліматичних змін на природну рослинність, адаптації до цих змін і пом'якшення наслідків цього впливу, присвячена робота [37]. Оцінка підвищення продуктивності трав в Європі при реалізації кліматичного сценарію SRES A1B REMO + ECHAM5 передбачається з використанням моделі ORCHIDEE-GM v2.2 за рахунок врахування змін клімату і підвищення концентрації CO₂ [31]. Вважається, що підвищення концентрації CO₂ підвищить рівень інтенсивності фотосинтезу, площі листкової поверхні (LAI), знизить устічний опір. Це зменшить витрати вологи на транспірацію, підвищить ефективність використання вологи і, в кінцевому підсумку, в екосистемі це призведе до підвищення продуктивності трав.

Отримані за допомогою моделі оцінки припускають більш ранній початок вегетації трав і збільшення її тривалості. У роботах [45, 44, 40] відзначається висока чутливість фенології рослин до змін клімату.

Кліматичні зміни, асоційовані з емісією парникових газів, мають велике значення для трав Європи [37]. Проектовані сценарії показують, що підвищення температури повітря і концентрації CO₂ сприяють зростанню трав, особливо бобових, але зміна сезонного кількості опадів знижує продуктивність трав. Надалі зростання трав пов'язаний зі збільшенням частоти засух і іншими екстремальними явищами. Поряд зі зміною клімату в Центральній Європі, очікується збільшення ризиків посушливих умов [30], що призводять до зниження продуктивності трав. У роботі [32] дається

оцінка зниження первинної продуктивності трав в Східній і Західній Європі в зв'язку з посушливими умовами 2003 року. В умовах Австрії [34] посушливі умови знижують продуктивність трав.

Очікується [39] збільшення кількості опадів в Північній і Центральній Європі і зменшення в Південній Європі, регіональне прогнозування передбачає більш посушливі умови в Південній Європі і більш вологі в Північній Європі. У роботі [48] за допомогою трьох моделей вегетації (JSBACH, LPJmL, ORCHIDEE) і трьох моделей специфічних екосистем (BASFOR, EPIC, PASIM) дається імовірнісна оцінка посушливих явищ в Європі, порівнюються два періоди: 1971-2000 і 2071-2100 роки. В якості критерію оцінки посушливості використовується індекс SPEI (Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index). Відзначається збільшення ризику прояви посухи, особливо в Середземномор'ї.

В умовах Ірландії проводилася оцінка потенційної продуктивності трав на найближчий 100-річний період [36]. Очікується зниження продуктивності трав в східній частині країни через літню посушливість і підвищення продуктивності в західній частині країни. У дослідженні [28] отримані оцінки очікуваної продуктивності трав в умовах Великобританії: передбачається підвищення продуктивності трав від 12,5 до 15,5 т га⁻¹ до 2050 року.

У роботі [41] відзначається, що в двох різних регіонах Альп при посухи знижується вологість ґрунту під трав'янистою рослинністю. В умовах Швейцарії [35] очікується до 2070 року зменшення річної кількості опадів на 20%, що викличе зниження продуктивності рослинності. Встановлено прямий зв'язок між продуктивністю рослинності і річною кількістю опадів.

В умовах країн Балтії виконані різнопланові фундаментальні дослідження з питань зміни клімату, також розглядається оцінка продуктивності рослин при кліматичних змінах [29].

Кліматичні зміни на майбутнє розраховуються з використанням кліматичних моделей. Глобальні кліматичні моделі є основними

інструментами, які використовуються для проектування тривалості та інтенсивності змін клімату в майбутньому. При цьому використовуються кліматичні моделі різних рівнів складності, від простих кліматичних моделей до моделей перехідної складності, повних кліматичних моделей і моделей всієї Земній кліматичної системи. Ці моделі розраховують майбутні кліматичні режими на основі ряду сценаріїв зміни антропогенних чинників [16, 13, 14].

В даному дослідженні для кліматичних розрахунків використовується набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways - RCP), які представляють собою чотири сценарії, що включають тимчасові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів [14]. Найбільш дослідженими сценаріями клімату майбутнього вважаються два з них: RCP4.5 і RCP8.5. У роботі [14] запропоновано для умов України очікуване розподіл температури і опадів згідно сценаріями викидів по RCP4.5 і RCP8.5 протягом періоду 2021-2050 рр., Яке було покладено в основу нашого дослідження.

Аналіз впливу змін клімату на режим агрокліматичних показників розвитку і формування продуктивності лучних і степових фітоценозів виконувався шляхом порівняння середніх багаторічних величин (за період 1980-2010 рр.) і величин, розрахованих за кліматичними сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 по десятиліттях: 2021- 2030 рік. (Перший період), 2031-2040 рр. (Другий період), 2041-2050 рр. (Третій період).

При цьому використовувалися спостереження за ростом і розвитком трав, які поширені переважно в Степу України. Це різнотравні злаки: тонконіг лучний (*Poa pratensis* L.), вогнище борознистий або типчак і багаття валескській (*F. valesiaca*), кіпець гребінчастий (*Coeleria cristata*), а також житняк гребінчастий (*Agropyron rectinatum*), тонконіг вузьколистий, тимофіївка степова (*Phleum phleoides*) і деякі види інших дикорослих трав.

Для оцінки умов вегетації розглядалися: тривалість періоду початок вегетації - цвітіння трав, середня температура за цей період, сума опадів, сумарне випаровування, випаровуваність, гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянинова (ГТК), відносна влагообеспеченность, сума фотосинтетичний-активної радіації (ФАР).

Для деталізації дослідження Степова зона України була поділена на 2 підзони: Північна Степ і Південна Степ.

Розрахунки продуктивності трав виконувалися за допомогою базової моделі оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур[18], в основі якої лежить сформульована в роботі [24] концепція максимальної продуктивності посівів. Розрахунки виконувалися за трьома агроекологічних категорій врожайності: потенційної врожайності (ПУ), яка при оптимальній забезпеченості рослин теплом, вологою і мінеральним живленням визначається надходженням сонячної радіації; метеорологічних можливої врожайності (МВУ), рівень якої обмежується температурним режимом і режимом зволоження; дійсно можливої врожайності (ДВУ) визначається природною родючістю ґрунту [18].

4.2 Продуктивність трав та їх фотосинтетична діяльність в умовах зміни клімату

Північна Степ. За середніми багаторічними даними сезонний розвиток трав починається в кінці березня. За сценарієм зміни клімату RCP4.5 він буде починатися на початку квітня в усіх трьох розрахункових періодах. За сценарієм зміни клімату RCP8.5 сезонний розвиток трав почнеться в перший сценарний період на 10 днів пізніше середніх багаторічних термінів (табл. 4.1), в другій розрахунковий період він почнеться на 6 днів пізніше, а в

третій період очікується, що початок вегетації майже співпаде із середнім багаторічним строком.

Таблиця 4.1 – Агрометеорологічні умови вегетації трав Північного Степу при середніх багаторічних умовах і в умовах зміни клімату (за період початок вегетації - цвітіння трав)

Період, роки	Дата початку вегетації	Середня температура повітря, °С	Сума опадів, мм	Сумарне випаровування (E), мм	Випаровуваність (E ₀), мм	Відносна вологозабезпеченість (E/E ₀), відн. од.	Середній ГТК, відн. од.	Сума ФАР, кДж см ⁻²
1980–2010	27.03	13,1	83	98	189	0,52	0,89	51,6
RCP4.5								
2021–2030	2.04	12,5	93	109	193	0,56	0,93	73,4
2031–2040	4.04	12,1	117	120	173	0,69	1,46	70,0
2041–2050	4.04	13,1	83	99	201	0,49	0,85	66,0
RCP8.5								
2021–2030	8.04	14,1	78	97	179	0,54	0,92	58,9
2031–2040	2.04	12,8	98	112	192	0,58	0,90	67,1
2041–2050	29.03	12,7	107	110	154	0,72	1,24	61,0

За період початок вегетації - цвітіння трав надходження ФАР за середніми багаторічними даними становить 51,6 кДж см⁻². Розрахунки за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 показали, що надходження ФАР в перший розрахунковий період буде збільшуватися і складе відповідно 136 і 114% від середньої багаторічної величини. У 2031-2040 рр. надходження ФАР очікується ще на більш високому рівні, особливо за сценарієм RCP4.5, і становитиме відповідно 142 і 130% від середньої величини. У третій розрахунковий період надходження ФАР за сценарієм RCP4.5 буде вище на

28% від середньої багаторічної величини, а за сценарієм RCP8.5 - вище на 18% від багаторічної величини.

ПУ всієї сухої маси трав при середніх багаторічних умовах становить 465 ц га^{-1} . За кліматичному сценарієм RCP4.5 відповідно при збільшенні приходу ФАР значно зросте і очікувана величина ПУ.

Протягом всіх сценарних періодів вона буде перевищувати на 24-48% середню багаторічну величину, при цьому найбільша величина ПУ очікується в перший розрахунковий період.

За сценарієм RCP8.5 ПУ всієї сухої маси також протягом усіх розрахункових періодів буде вище середньої багаторічної величини, але нижче, ніж очікувана за сценарієм RCP4.5 і складе 120-130% від середньої багаторічної величини (табл. 4.2).

Середня за аналізований період вегетації трав температура повітря за середніми багаторічними даними становила $13,1 \text{ }^\circ\text{C}$. У разі реалізації сценарію RCP4.5 в два перших періоду середня температура очікується нижче середньої багаторічної ($12,1-12,5 \text{ }^\circ\text{C}$). У третій період вона дорівнюватиме середньої багаторічної. За сценарієм RCP8.5 середня температура повітря в перший період буде на $1 \text{ }^\circ\text{C}$ вище середніх багаторічних термінів, у другій і третій періоди на $0,3-0,4 \text{ }^\circ\text{C}$ нижче.

За кліматичному сценарієм RCP4.5 очікується збільшення сум опадів в перший період на 12%, і значно більше в другий період - на 41% в порівнянні з багаторічним значенням. Кількість опадів в третій період очікується на рівні середнього багаторічного. Дефіцит вологи ($E_0 - E$) в перший період дещо знизиться від 91 до 84 мм, незначно підвищиться вологозабезпеченність від 0,52 до 0,56 відн. од. Також незначно виросте величина ГТК, яка, тим не менш, характеризує період як посушливий (див. табл. 4.1).

Таблиця 4.2 – Формування врожаю трав Північного Степу при середніх багаторічних умовах і в умовах зміни клімату

Період, роки	Вся сухая масса, ц га ⁻¹			Фото-синте-тичний потенція л, м ² ·м ⁻²	Урожай трав при їх вологості 16 %, т га ⁻¹			Баланс органічно-го вуглецю в ґрунті, т С га ⁻¹
	потенційного уро-жаю	метеоро-логічно можли-вого уро-жаю	дійсно можли-вого урожаю		надзем-ної маси	підзем-ної маси	сумар-ної маси,	
1980–2010	465	218	150	73,2	3,5	13,9	17,4	0,105
RCP4.5								
2021–2030	689	303	209	100,4	4,9	19,4	24,3	0,146
2031–2040	667	318	219	119,5	5,1	20,4	25,5	0,153
2041–2050	575	256	177	81,2	4,1	16,4	20,5	0,123
RCP8.5								
2021–2030	605	265	183	87,5	4,2	16,9	21,2	0,128
2031–2040	569	276	190	92,9	4,5	17,9	22,4	0,135
2041–2050	556	312	215	105,4	5,0	20,0	25,0	0,150

У другому періоді за рахунок збільшення кількості опадів і зниження температур повітря можливе істотне зменшення дефіциту вологи до 53 мм, що значно поліпшить вологозабезпеченість і підвищить ГТК до 1,46 відн. од. Третій період буде характеризуватися як посушливий (ГТК = 0,85): збільшиться дефіцит вологи до 102 мм і погіршиться вологозабезпеченість до 0,49 відн. од.

За сценарієм RCP8.5 сума опадів за аналізований період вегетації трав буде збільшуватися від одного сценарного періоду до іншого. У перший сценарний період очікується, що кількість опадів буде трохи нижче багаторічної величини (94%). Для другого періоду очікується зростання суми опадів на 18%. Збільшення кількості опадів в третій період очікується на 29%

вище середньої багаторічної величини (табл. 4.1). Дефіцит вологи в другій період знизиться від 91 до 80 мм. Відбудеться незначне підвищення вологозабезпеченості від 0,54 до 0,58 відн. од. і збільшення величини ГТК, який, тим не менш, характеризує ці періоди як посушливі. У третьому періоді за рахунок збільшення кількості опадів і кілька знижених температур повітря можливе істотне зменшення дефіциту вологи до 44 мм, значно покращиться вологозабезпеченість (на 0,20 відн. од.) і підвищиться ГТК до 1,24 відн. од. (табл. 4.1).

Таким чином, при порівнянні агрометеорологічних умов, які складуться при кліматичних сценаріях RCP4.5 і RCP8.5, слід зазначити, що температурний режим і умови зволоження (за показником ГТК), будуть кращими в перший і другий сценарні періоди по кліматичному сценарієм RCP4.5 . У третій сценарний період очікується поліпшення умов вегетації лугової рослинності по кліматичному сценарієм RCP8.5 в порівнянні зі сценарієм RCP4.5.

Зміна волого-температурних показників під час вегетації трав спричинить за собою зміну їх фотосинтетичної продуктивності. Так, за сценарієм RCP4.5 очікується, що найвищий рівень відносної площі листя буде в другій період ($3,04 \text{ м}^2/\text{м}^2$) за рахунок кращих умов вологозабезпечення і зниженого температурного режиму (рис. 4.1).

У досить посушливих умовах третього періоду сформується менша площа листового апарату ($1,83 \text{ м}^2/\text{м}^2$). За сценарієм RCP8.5 формування асиміляційного апарату буде йти аналогічно динаміці площі листя при середніх багаторічних агрометеорологічних умов (рис. 4.1). Очікується, що в період максимального розвитку її величина складе: в перший період $2,44 \text{ м}^2/\text{м}^2$, у другій - $2,28 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в третій - $3,07 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

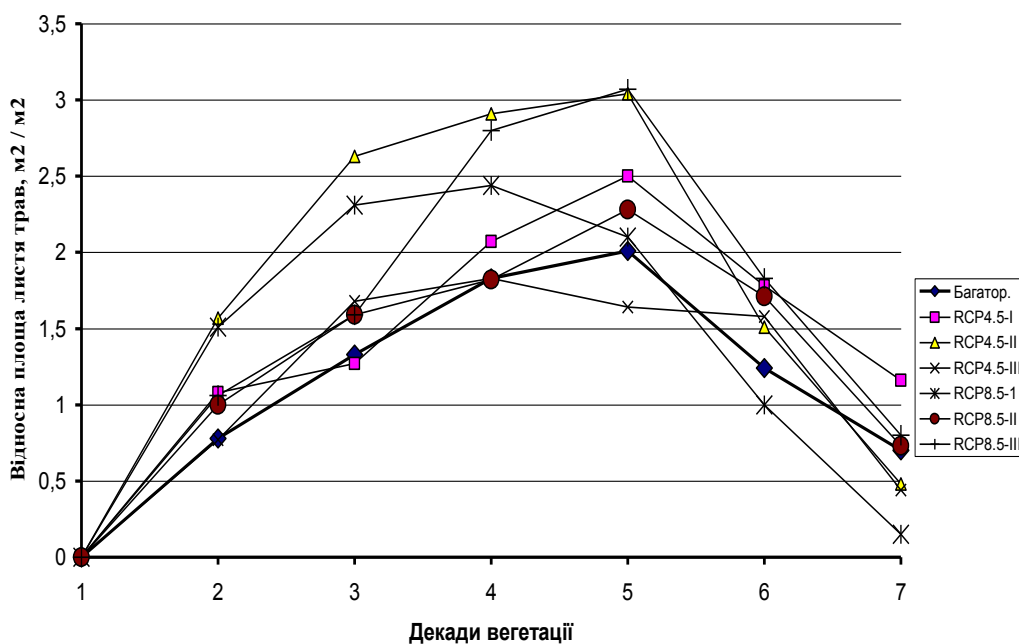


Рисунок 4.1 – Динаміка площі трав в період відновлення вегетації – цвітіння в порівнянні середньої багаторічної та сценарних розрахункових даних. I, II, III – відповідно перший, другий, третій розрахункові періоди за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5. Північний Степ.

Інтенсивність фотосинтезу листя трав за сценарієм RCP4.5 при інтенсивному наростанні асиміляційної поверхні (друга - четверта декади вегетації) в перший і третій сценарні періоди сягатиме 4,5-7,0 мг CO₂ дм⁻² год⁻², що близько до середніх багаторічних значенням. На тлі підвищених значень ФАР сформується і високий фотосинтетичний потенціал травостою в усі сценарні періоди. У перший-другий періоди він буде вище на 37-63% середнього багаторічного значення, в третій, щодо посушливий період, очікується, що він буде на 11% вище середнього значення (рис. 4.2).

За кліматичному сценарієм RCP 8.5 інтенсивність фотосинтезу листя трав буде трохи вище середньої багаторічної.

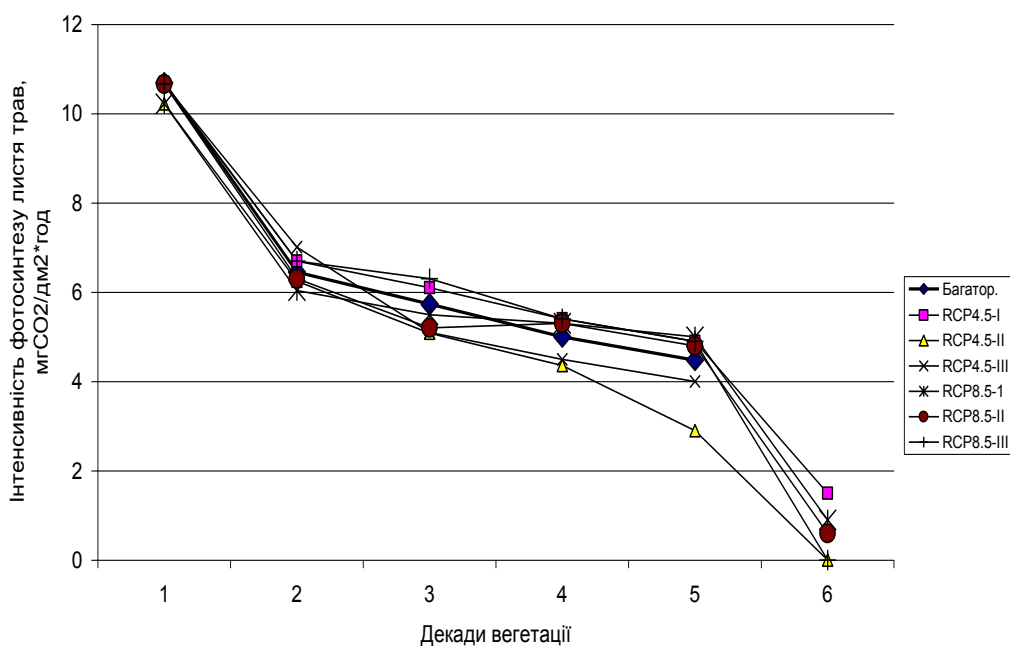


Рисунок 4.2 – Динаміка інтенсивності фотосинтезу листя трав в період початок вегетації – цвітіння в порівнянні середнього багаторічного та сценарних розрахункових даних. I, II, III – відповідно перший, другий та третій розрахункові періоди за сценаріями. Північний Степ.

У другій сценарний період інтенсивність фотосинтезу листя сягатиме $4,9-6,3 \text{ мг CO}_2\text{дм}^{-2}\text{год}^{-1}$, що трохи вище середніх багаторічних значень. Третій період буде найбільш сприятливим по температурному режиму і режиму зволоження, що зумовить підвищення інтенсивність фотосинтезу на $0,1-0,6 \text{ мг CO}_2\text{дм}^{-2}\text{год}^{-1}$ вище в порівнянні з багаторічним значенням. При такій фотосинтетичної діяльності фотосинтетичний потенціал травостою трав по обидва кліматичних сценаріями сформується досить високий ($87,5-105,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$). Слід зазначити, що в перші два сценарних періоду фотосинтетичний потенціал очікується вище за сценарієм RCP4.5 ніж за сценарієм RCP8.5 Для першого і другого сценарних періодів передбачається його перевищення на 20-27% багаторічного значення. Для третього періоду

очікується перевищення цієї величини на 44% від середньої величини (табл. 4.2).

Рівень МВУ всієї сухої маси трав за сценарієм RCP4.5 в першому періоді очікується вище на 39% від середнього багаторічного, який становить 218 ц га⁻¹, значно більшим він буде в другому періоді (на 46% вище середнього). Для третього щодо посушливого періоду рівень МВУ буде трохи нижче порівняно з першим і другим періодом і буде вище на 17% від середнього багаторічного значення.

При середніх багаторічних умовах урожай надземної маси трав при вологості 16% становить 3,5 т га⁻¹. При агрометеорологічних умов першого періоду він буде дорівнює 4,9 т га⁻¹, що складе 140% від середньої багаторічної величини і очікується порівняно з першим періодом дещо нижчим для третього більш посушливого періоду (до 117%). У сприятливих по вологозабезпеченості умовах другого періоду він передбачається на рівні 5,1 т га⁻¹ (146% від середніх значень). Співвідношення надземної частини біомаси до підземної становить близько 0,25.

За кліматичному сценарієм RCP8.5 при невеликому підвищенні температури повітря (на 1 ° C) і деякому нестачі опадів (на 6%) в перший і другий розрахункові періоди рівень МВУ очікується відповідно 265 і 276 ц га⁻¹ всієї сухої рослинної маси, що трохи вище, ніж рівень МВУ травостою при середніх багаторічних умовах (218 ц га⁻¹). Це становитиме 122-127% від середнього багаторічного значення. У третій період, який буде відзначатися сприятливим температурним режимом і режимом зволоження, величина МВУ очікується на рівні 312 ц га⁻¹, що на 43% вище середніх значень.

Природна родючість ґрунту коригує рівень ДВУ трав. По обидва сценаріями ДВУ для першого і другого сценарних періодів очікується 183 і 190 ц га⁻¹ всієї сухої рослинної маси відповідно, що буде вище на 22-27% від середнього значення. Для третього періоду передбачається, що рівень ДВУ

буде самим високим і складе 215 ц га^{-1} (143% від середнього багаторічного значення).

Баланс змісту органічного вуглецю в ґрунті по обидва сценаріями на ділянках луговий рослинності очікується позитивним і складе для сценарію RCP4.5 для двох перших сценарних періодів $0,146-0,153 \text{ т С га}^{-1}$ за рік, а для третього періоду - $0,128-0,150 \text{ т С га}^{-1}$ за рік, що відповідно буде вище на 17-46% від середнього багаторічного значення. За сценарієм RCP8.5 він в перший і другий періоди буде нижче, ніж за сценарієм RCP4.5 (табл. 4.2).

Урожай надземної маси трав при вологості трав 16% становить $4,3 \text{ т га}^{-1}$ при середніх багаторічних умовах. За сценарієм RCP4.5 при агрометеорологічних умов першого і третього сценарних періодів він очікується на 8-15% вище середнього багаторічного значення. У більш сприятливих по вологозабезпеченості умовах другого періоду він буде на рівні $4,6 \text{ т га}^{-1}$. Співвідношення надземної частини біомаси до підземної складе близько 0,11.

За сценарієм RCP8.5 урожай надземної маси трав для першого і другого періодів буде нижче від очікуваного за сценарієм RCP4.5 і складе $4,2-4,5 \text{ т га}^{-1}$. В умовах третього сценарного періоду передбачається, що урожай буде досягати $5,0 \text{ т га}^{-1}$, це на 43% вище середнього багаторічного. Співвідношення надземної частини біомаси до підземної очікується на рівні 0,25.

Південний Степ. Сезонний розвиток трав за середніми багаторічними даними починається в середині третьої декади березня. За кліматичним сценарієм RCP4.5 в перший і другий сценарні періоди сезонне розвиток трав очікується на 1-2 дні раніше. У третьому періоді початок вегетації буде дещо пізніше середніх багаторічних термінів (табл. 4.3). У всіх трьох сценарних періодах передбачається збільшення надходження ФАР, на 2-6% більше воно буде в перші два періоди, меншим - в третьому періоді.

За сценарієм зміни клімату RCP8.5 сезонний розвиток трав почнеться в перший і третій сценарні період на 4-8 днів раніше багаторічних термінів (табл. 4.3), в другий період початок вегетації співпаде з багаторічними термінами.

Таблиця 4.3 – Агromетeорологічні умови вегетації трав Південного Степу при середніх багаторічних умовах і в умовах зміни клімату (за період початок вегетації - цвітіння)

Період, роки	Дата початку вегетації	Середня температура повітря, °C	Сума опадів, мм	Сумарне випаровування (E), мм	Випаровуваність (E ₀), мм	Відносна вологозабезпеченість (E/E ₀), відн. од.	Середній ГТК, відн. од.	Сума ФАР, кДж см ⁻²
1980-2010	24.03	12,2	83	96	191	0,50	0,87	60,5
RCP4.5								
2021-2030	22.03	12,0	61	76	181	0,42	0,64	75,0
2031-2040	23.03	11,6	82	91	162	0,56	0,83	74,8
2041-2050	29.03	13,3	68	84	164	0,51	0,77	63,9
RCP8.5								
2021-2030	16.03	11,9	98	106	162	0,65	0,89	70,5
2031-2040	24.03	11,9	97	105	164	0,64	0,97	70,0
2041-2050	20.03	12,5	98	106	166	0,64	0,94	67,4

Надходження ФАР за середніми багаторічними даними становить 60,5 кДж см⁻² за період. За сценарієм RCP4.5 у всіх три сценарних періоду очікується значне збільшення приходу ФАР; на 6-24% воно буде більше в перші два періоди, меншим - в третьому періоді (табл. 4.3). За сценарієм RCP8.5 надходження ФАР буде більше, ніж за середніми багаторічними даними на 11-16% (табл. 4.4).

При середніх багаторічних умовах ПУ всієї сухої маси трав складе 385 ц га⁻¹, в той час як за сценарієм RCP4.5 протягом двох перших розрахункових періодів вона буде вище на 24-27% від середньої багаторічної величини, а для третього періоду, який буде відрізнятися меншим надходженням ФАР, ПУ сухої маси збільшиться тільки на 8% в порівнянні з багаторічною величиною (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Формування врожаю трав Південного Степу при середніх багаторічних умовах і в умовах зміни клімату

Період, роки	Вся сухая масса, ц га ⁻¹			Фотосинтетичний потенціал, м ² ·м ⁻²	Урожай трав при їх вологості 16 %, т га ⁻¹			Баланс органічного вуглецю в ґрунті, т С га ⁻¹
	потенційного врожаю	метеорологічно можливого врожаю	дійсно можливого врожаю		потенційного врожаю	метеорологічно можливого врожаю	дійсно можливого врожаю	
1980-2010	385	160	104	49,0	1,3	11,5	12,8	0,077
RCP4.5								
2021-2030	490	194	134	59,7	1,5	14,0	15,5	0,093
2031-2040	476	202	139	62,0	1,6	14,5	16,1	0,097
2041-2050	419	180	125	56,0	1,4	13,0	14,4	0,087
RCP8.5								
2021-2030	470	218	150	66,1	1,8	15,7	17,5	0,105
2031-2040	460	200	138	61,0	1,6	14,4	16,0	0,096
2041-2050	472	208	144	53,6	1,7	15,0	16,7	0,100

Температура повітря середня за аналізований період вегетації трав за багаторічними даними становить 12,2 °С. По обидва сценаріями в два перших сценарних періоду вона очікується 11,6-12,0 °С, що трохи нижче багаторічної. У третій період передбачається, що вона буде на 1,1 °С вище

багаторічної за сценарієм RCP4.5 і на 0,3 °C вище середньої величини за сценарієм RCP8.5.

Протягом трьох сценарних періодів зволоження буде нерівномірним. За кліматичному сценарієм RCP4.5 в першому і третьому періодах очікується зменшення суми опадів за аналізований період вегетації трав. У перший період кількість опадів зменшиться майже на чверть, в третій період - на 18%. Зволоження другого сценарного періоду передбачається близьким до кліматичної норми.

За сценарієм RCP8.5 кількість опадів буде очікуватися однаковим у всіх три сценарних періоду і складе 97-98 мм, що буде вище кліматичної норми на 17-18%. Це спричинить за собою зменшення дефіциту вологи ($E_0 - E$) від 95 до 56-60 мм і поліпшення вологозабезпеченості від 0,50 до 0,64-0,65 відн. од. (табл. 4.3).

Дефіцит вологи за сценарієм RCP4.5 в перший період виросте від 95 до 105 мм, погіршиться вологозабезпеченість трав від 0,50 до 0,42 відн. од. Величина ГТК зменшиться від 0,87 до 0,64 відн. од., вона буде характеризувати цей період як посушливий. У другому періоді, для якого вегетація трав буде проходити при знижених на 0,6 °C температурах повітря і кількості опадів, близького до багаторічної величиною, дефіцит вологи зменшиться до 71 мм, покращиться вологозабезпеченість (на 0,06 відн. од.) і підвищиться ГТК до 0,83 відн. од.

Третій сценарний період порівняно з другим періодом буде менш сприятливим для формування врожаю трав. Його характеризує більш підвищена температура повітря (на 1,4 °C) і менша кількість опадів. За цей період ГТК становитиме 0,77 відн. од. У цей період дещо зросте дефіцит вологи до 80 мм, відповідно зменшиться вологозабезпеченість трав до 0,51 відн. од. Остання характеристика вологозабезпеченості буде на рівні багаторічної величини.

Порівнюючи агрометеорологічні умови, які складуться в разі реалізації кліматичного сценарію RCP4.5 і RCP8.5, слід зазначити, що по температурному режиму і режиму зволоження умови вегетації природної рослинності в Південному Степу за сценарієм RCP8.5 очікуються більш сприятливі, ніж при реалізації сценарію RCP4.5 (за винятком кілька зниженою температури вегетації в другій сценарний період).

За сценарієм RCP4.5 формування асиміляційного апарату трав (рис. 4.3) буде йти аналогічно динаміці площі листя при середніх багаторічних агрометеорологічних умовах. При досить посушливих умовах першого періоду сформується менша площа асиміляційного апарату ($1,40 \text{ м}^2/\text{м}^2$). Другий сценарний період буде характеризуватися найбільш високим рівнем відносної площі листя ($1,88 \text{ м}^2/\text{м}^2$) за рахунок кращих умов зволоження і кілька зниженого температурного режиму, а в умовах третього періоду площа листя складе $1,52 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За сценарієм RCP8.5 рівень площі листя в період максимального розвитку буде більш високим у порівнянні з багаторічним значенням.

Очікується, що в третьому сценарному періоді він буде характеризуватися відносно меншим рівнем площі листя ($1,54 \text{ м}^2/\text{м}^2$) внаслідок кілька підвищеного температурного режиму.

В період інтенсивного наростання асиміляційної поверхні (друга - четверта декади вегетації) інтенсивність фотосинтезу листя трав (рис. 4.4) за сценарієм RCP4.5 в першій і третій сценарні періоди сягатиме $5,0\text{-}6,6 \text{ мг CO}_2 \text{ дм}^{-2} \text{ годину}^{-1}$, що близько до рівня фотосинтезу при середніх багаторічних умовах.

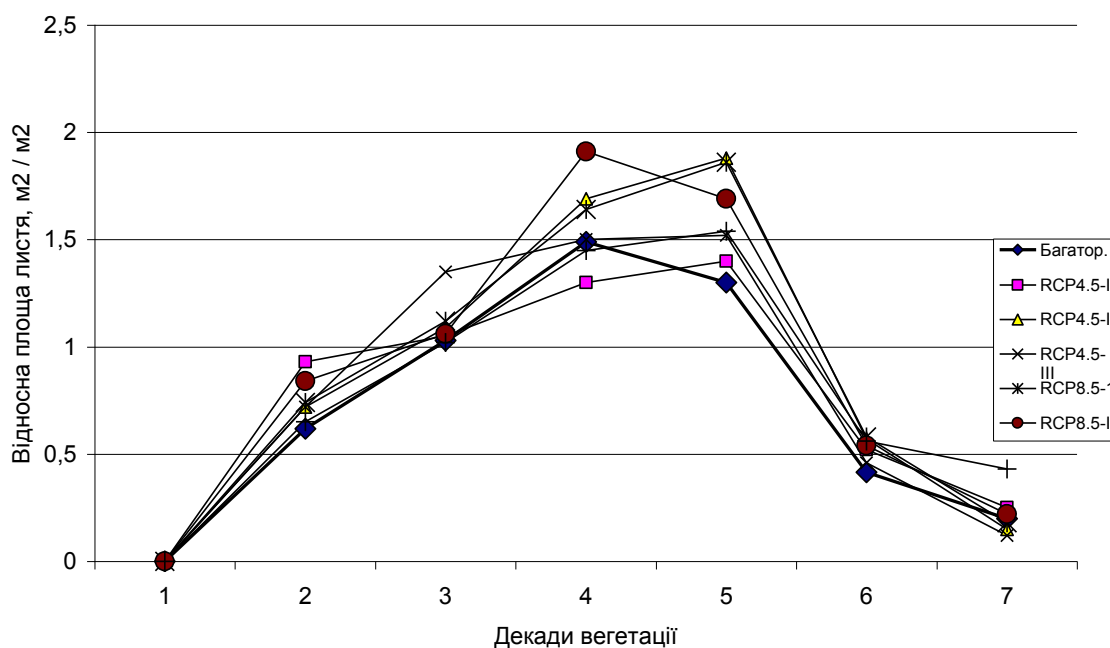


Рисунок 4.3 – Динаміка площі листя трав в період відновлення вегетації-цвітіння в порівнянні середньої багаторічної та сценарних розрахункових даних. I, II, III – відповідно перший, другий, третій розрахункові періоди за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5. Південний Степ.

Фотосинтетичний потенціал травостою в ці періоди очікується на рівні 114-126% від середніх багаторічних значень. В умовах порівняно високою вологозабезпеченістю другого періоду інтенсивність фотосинтезу буде вище від багаторічної величини, за рахунок чого сформується більш високий рівень фотосинтетичного потенціалу травостою порівняно з першим і третім періодами.

За сценарієм RCP8.5 інтенсивність фотосинтезу листя трав (рис. 4.4) в перший і другий сценарні періоди сягатиме 5,1-6,2 мг CO₂ дм⁻² год⁻¹, тобто знаходиться практично на рівні фотосинтезу в середніх багаторічних умовах. Фотосинтетичний потенціал травостою відповідно сформується в ці періоди (124-134% від значень середнього багаторічного). В умовах третього періоду сформується кілька менший рівень фотосинтетичного потенціалу травостою

порівняно з першим і другим періодами (109% від значень середнього багаторічного).

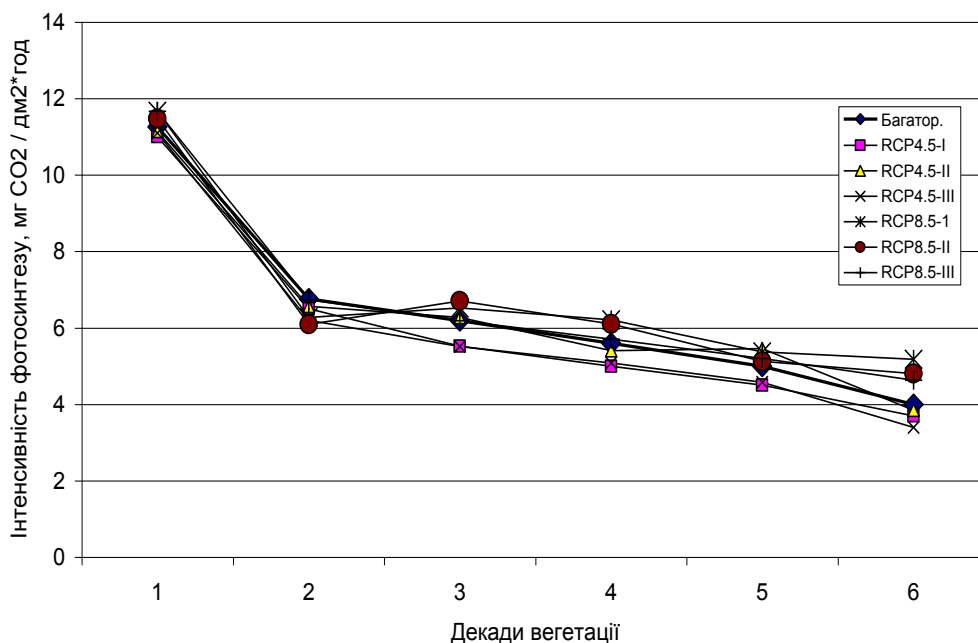


Рисунок 4.4 – Динаміка інтенсивності фотосинтезу листя трав в період початку вегетації – цвітіння в порівнянні середнього багаторічного та сценарних розрахункових даних. I, II, III – відповідно перший, другий та третій розрахункові періоди за сценаріями. Південний Степ.

У разі реалізації сценарію RCP4.5 рівень МВУ всієї сухої маси трав в першому періоді очікується на 21% вище середнього багаторічного значення, великим він передбачається і в другому періоді (на 26% вище середнього). Для третього періоду рівень МВУ знизиться до 180 ц га^{-1} , він буде складати 112% від значення середнього багаторічного, яке дорівнює 160 ц / га . Рівень ДВУ всієї сухої маси трав, обумовлений природною родючістю ґрунту, оцінюється в першому і третьому сценарних періодах на 20-28% вищий за середній багаторічний. Для другого періоду в більш сприятливих

агрометеорологічних умов рівень ДВУ досягне 139 ц га^{-1} , що становить 134% від середнього багаторічного (табл. 4.4).

Урожай надземної маси трав при їх вологості 16% становить $1,3 \text{ т га}^{-1}$ (табл. 4.4) при середніх багаторічних умовах. При очікуваних агрометеорологічних умов першого і третього сценарних періодів (сценарій RCP4.5) він буде дорівнює 108-115% від середнього багаторічного. У більш сприятливих по вологозабезпеченості умовах другого періоду він буде на рівні $1,6 \text{ т га}^{-1}$. Співвідношення надземної частини біомаси до підземної дорівнюватиме близько 0,11.

За сценарієм RCP8.5 в першому періоді величина МВУ всієї сухої маси трав очікується на рівні 136% від середнього багаторічного, дещо меншим урожай буде в другому і третьому періодах (125-130% від середнього). Рівень ДВУ всієї сухої маси трав, обумовлений природною родючістю ґрунту, передбачається в першому періоді 144% від середнього багаторічного. Для другого і третього періодів рівень ДВУ буде дорівнює $138-144 \text{ ц га}^{-1}$, що складе 133-138% від середнього багаторічного (табл. 4.4).

При середніх багаторічних умовах урожай надземної маси трав при вологості 16% дорівнює $1,3 \text{ т га}^{-1}$ (табл. 4.4). Для майбутніх умов першого сценарного періоду він очікується на рівні 138% від багаторічного, для другого та третього сценарних періодів він становитиме 123-131% від багаторічного значення і перебувати на рівні $1,3 \text{ т га}^{-1}$. Співвідношення надземної частини біомаси до підземної дорівнюватиме близько 0,11.

Порівняння очікуваного врожаю надземної маси трав в Південному Степу по обидва кліматичними сценаріями показує, що за винятком другого сценарного періоду більш сприятливі умови формування врожаю по кліматичному сценарієм RCP8.5 дозволять очікувати і вищий рівень врожайності трав, ніж при реалізації сценарію RCP4.5.

По обидва сценаріями баланс органічного вуглецю в ґрунті на ділянках степової рослинності очікується позитивним і складе для першого і третього

сценарних періодів 0,087-0,105 т з га⁻¹ за рік, для другого періоду 0,096-0,097 т С га⁻¹ за рік, що відповідно буде вище на 13-36 і 25-26% від середнього багаторічного значення.

Результати нашого дослідження продуктивності трав добре збігаються з розробками [1] щодо результатів середніх багаторічних величин продуктивності лучної і степової рослинності, в яких для порівняння наводяться дані, які відносяться до степової зони України.

Експериментальні вимірювання балансу вуглецю в ґрунті, проведені в різних ґрунтово-кліматичних умовах, дозволяють зіставити отримані нами результати моделювання з результатами інших авторів. В умовах Європи передбачається [50] значуще збільшення вмісту органічного вуглецю в ґрунті до 2050 року. Отримані нами дані узгоджуються наведеними в роботі [42] даними, що характеризують зміна вмісту органічного вуглецю в ґрунті в Європі до 2100 року. Очікується в зв'язку зі зміною клімату за різними сценаріями зміни клімату збільшення балансу органічного вуглецю в ґрунті від 3 до 13%, а за даними [38] збільшення складе від 23 до 33%.

В умовах Середземномор'я [33] відзначається зменшення вмісту органічного вуглецю в ґрунті в умовах зміни клімату. У роботі [49] вказується, що в умовах Європи баланс органічного вуглецю в ґрунті на орних землях коливається від 0,15 т з га⁻¹ за рік на ділянці з урахуванням внесення соломи і до 1,5 т з га⁻¹ за рік при внесенні органічних добрив. В умовах Західної Німеччини [47] позитивний баланс вуглецю в ґрунті досягав від значень близько 20 кг С га⁻¹ за рік (2003-2005 рр.) До 133 кг С га⁻¹ за рік (2005-2013 рр.) при внесенні органічних добрив. Разом з тим, як показали дослідження на 92 ділянках орних угідь в Південно-Західній Баварії [43] інтенсивне вирощування сільськогосподарських культур в період між 1986 і 2007 роками призвело до зниження вмісту органічного вуглецю в ґрунті навіть якщо внесення органічних добрив зберігалось на колишньому рівні або навіть зменшувалася. Моніторинг органічного вуглецю в ґрунті в умовах

Швеції протягом 25 років [35] показав, що вміст органічного вуглецю в ґрунті коливалося від -11 до +16% за десятиліття на ансамблі спостережуваних ділянок.

Виконані на чорноземах Лівобережної частини України [21] багаторічні вимірювання балансу вуглецю і емісії CO₂ з чорноземного ґрунту під однорічними укісними травами демонструють середні значення балансу вуглецю, рівні -0,10; -0,13 т з га⁻¹ за рік.

В умовах зміни клімату при реалізації сценаріїв в різні періоди по десятиліттях відбуватимуться неоднозначні зміни умов формування продуктивності луговий і степової рослинності. Зміна волого-температурних умов спричинить незначне збільшення площі поверхні листя, яке в свою чергу сприятиме збільшенню біомаси рослин. Майже в усі три періоди за розрахунками очікується зростання агроекологічних категорій врожайності трав.

В цілому за деяким винятком (третій сценарний період) агрометеорологічні умови формування врожаю, які очікуються за кліматичними сценаріями, будуть складатися кращими в Північному Степу за сценарієм RCP4.5, а в Південному Степу за сценарієм RCP8.5. У порівнянні з обох сценаріях агрометеорологічні умови формування продуктивності трав очікуються кращими в Північному Степу, а рівень врожайності луговий рослинності буде втричі вище в порівнянні з урожайністю в Південному Степу.

Баланс вмісту вуглецю в ґрунті також кілька збільшиться і становитиме в Північному Степу 0,123-0,153 т з га⁻¹ за рік, а в Південному Степу - 0,087-0,105 т з га⁻¹ за рік. Відбудеться також і зміну співвідношення надземної і підземної частини рослин.

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської кваліфікаційної роботи були отримані наступні основні результати.

1. Вивчено фізико-географічне районування та агрокліматичні ресурси Українського Степу.
2. Вивчено біологічні особливості лучних та степових трав та їх вимоги до факторів навколишнього середовища.
3. Вивчено базову модель оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур А. М. Польового.
4. Вивчено питання про зміну клімату та вплив на сільське господарство.
5. Виконано аналіз тенденції впливу змін клімату на темпи розвитку лучних та степових трав Українського Степу виконано шляхом порівняння середніх багаторічних агрокліматичних показників (1980-2010 рр.) і розраховано за кліматичними сценаріями RCP4.5 і RCP8.5.
6. Виконані розрахунки продуктивності трав. Зміна кліматичних умов призведе до підвищення продуктивності трав, більш високим воно буде в Північному Степу (на 17-46% в порівнянні з середніми багаторічними значеннями) і меншим в Південному Степу (на 8-38%).
7. Виконано розрахунки балансу вмісту органічного вуглецю в ґрунті. Відбудеться зміна балансу вмісту органічного вуглецю в ґрунті. По обидва розглянутих сценаріїв баланс органічного вуглецю на ділянках лучної і степової рослинності очікується позитивним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М., Наука, 1993. 293 с.
2. Білик Г.І., Ткаченко В.С. и др. Современное состояние растительного покрова заповедника «Михайловская целина» на Сумщине. Украинский ботанический журнал. №29 (6). 1972. 696-702 с.
3. Кондратюк Е.Н., Чуприна Т.Т. Ковыльные степи Донбасса. Современное состояние и перспективы восстановления. Киев, Наукова думка. 1992.171 с.
4. Маринич О. М. та ін. Фізична географія Української РСР. К. 1982.
5. Енциклопедія українознавства : Словникова частина : [в 11 т.] / Наукове товариство імені Шевченка ; гол. ред. проф., д-р Володимир Кубійович. Париж ; Нью-Йорк : Молоде життя ; Львів ; Київ : Глобус, 1955—2003
6. Конопля М.І. Конопля О.М., Душинова Л.В. Сучасний стан та проблеми охорони степової рослинності Сходу України. Зб. наук. праць (Фальцфейнівські читання). Херсон, 2001, с. 75-77.
7. Цветков М. А. Изменение лесистости Европейской России с конца XVII столетия по 1914 год. М.: Издательство АН СССР, 1957.
8. Всё о растениях. Справочник - Ленинград: "Наука", 1978. 417 с.
9. Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. 3-е изд. М. : Советская энциклопедия, 1969-1978.
10. Ковыль, растения из семейства злаков // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона : в 86 т. (82 т. и 4 доп.). 1895.
11. Чопик В. И., Дудченко Л. Г., Краснова А. Н.. Дикорастущие полезные растения Украины. Справочник. Київ: Наукова думка, 1983. 400 с.

12. Морозюк С. С., Протопопова В. В. «Альбом з ботаніки». Київ: Радянська школа, 1979.
13. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: монографія. /За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса, ТЕС, 2015. 520 с.
14. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах змін клімату: монографія. /За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса, ТЕС, 2018. 546 с.
15. Образцов А.С. Системный метод: применение в земледелии. М: Агропромиздат. 1990. 303 с.
16. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України /За ред. С.М. Степаненко, А.М. Польового. Одеса, Екологія, 2011. 694 с.
17. Парахин Н.В., Кобозев И.В., Горбачев И.В и др. Кормопроизводство. М., Колос, 2006. 432 с.
18. Полевой А.Н. 2004. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур. Метеорология, климатология и гидрология. Вып. 48, с. 195-205.
19. Проблемы ландшафтного многообразия Украины. Сборник научных трудов. – Киев, Карбон Лтд, 2000. 325 с.
20. Романова Э.П. Современные ландшафты Европы. М: Изд. МГУ, 1997. 302 с.
21. Сябрук О.П. Оцінка втрат вуглецю з чорнозему типового за різних способів обробітку та систем удобрення. Агрохімія і ґрунтознавство. Вып. 80, 2013. 140-146 с.
22. Танфильев В.Г. О долголетию злаковых, бобовых и некоторых вторых трав. Труды Ставропольского НИИСХ. Вып. 17, 1975. 99-105 с.
23. Титлянова А.А., Афанастев Н.А., Наумова Н.Б. и др. Сукцессии и биологический круговорот. Новосибирск: ВО. Наука, 1993. 157 с.

24. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Л., Гидрометеиздат, 1984. 264 с.
25. Чибилев А.А. Лик степи. Экологогеографические очерки о степной зоне СССР. Л., Гидрометеиздат, 1990. 192 с.
26. Шищенко П.Г. Антропогенные преобразования современных ландшафтов. В сб. Природная среда и хозяйственная деятельность человека. Киев, Изд. Киев.ун-та, 1985. 114-131 с.
27. Шищенко П.Г. Глобализация и деверсфікація функций современных ландшафтных систем в контексте многообразия. В сб. Проблемы ландшафтного многообразия Украины. Киев, 2000. 17-20 с.
28. Aiming Q., Robert A. , Taylor G., Goetz M. R. Grassland futures in Great Britain – Productivity assessment and scenarios for land use change opportunities. *Science of the Total Environment*. Vol. 634, 2018, pp. 1108–1118.
29. *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*. Springer. 2008. P. 472.
30. Burri S., Sturm P., Prechs U.E., A. Knoh A., and N. Buchmann. The impact of extreme summer drought on the short-term carbon coupling of photosynthesis to soil CO₂ efflux in a temperate grassland. *Biogeosciences*. Vol. 11(7), 2014, pp. 961-975.
31. Chang J., Ciais P., Viovy N., Soussana J.-F., Klumpp K. and B.Sultan. 2017. Future productivity and phenology changes in European grasslands for different warming levels: implications for grassland management and carbon balance. *Carbon Balance and Management*. Vol. 12(11), pp. 27-89.
32. Ciais P., Reichstein M., Viovy N., Granier A., Oge J., Allard V., Aubinet M., Buchmann N., Bernhofer C., Carrara A., Chevallier F., De Noblet N., Friend A.D., Friedlingstein P., Grnwald T., Heinesch B., Keronen P., Knohl A., Krinner G., Loustau D., Manca G., Matteucci G., Miglietta F., Ourcival J.M., Papale D., Pilegaard K., Rambal S., Seufert G., Soussana J.-F., Sanz M.J., Schulze E.D., Vesala T., Valentini R. Europe-wide reduction in primary productivity

caused by the heat and drought in 2003. *Nature*. Vol. 437(7058), 2005, pp. 529-533.

33. Escolano J.J.J., Pedreño N.I., Lucas G.M., Candel B.A., Zorpas A.A. Chapter 1 - Decreased Organic Carbon Associated With Land Management in Mediterranean Environments. *Soil Management and Climate Change*. Academic Press, 2018, pp. 1-13.

34. Fuchslueger L., Bahn M., Hasibeder R., Kienzl S., Fritz K., Schmitt M., Watzka M. and A. Richter. Drought history affects grassland plant and microbial carbon turnover during and after a subsequent drought event. *Journal of Ecology*, 2016, pp. 1-13.

35. Gilgen A.K. and N. Buchmann. Response of temperate grasslands at different altitudes to simulated summer drought differed but scaled with annual precipitation. *Biogeosciences*. Vol. 6, 2009, pp. 2525-2539.

36. Holden N.M. and A. J. Brereton. An Assessment of the Potential Impact of Climate Change on Grass Yield in Ireland over the Next 100 Years. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. Vol. 41, No. 2, 2002, pp. 213-226.

37. Hopkins A., Del Prado A. Implications of climate change for grassland in Europe: impacts, adaptations and mitigation options: a review. *Grass and Forage Science. The Journal of the British Grassland Society and the Official Journal of the European Grassland Federation*. 2007. Vol. 62, Issue 2, 2007, pp. 118-126.

38. Ito A. Climate-related uncertainties in projections of the twenty-first century terrestrial carbon budget Off-line model experiments using IPCC greenhouse-gas scenarios and AOGCM climate projections. *Climate Dynamics*. Vol. 24(5), 2005, pp. 435-448.

39. Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Christensen O.B., Bouwer L.M., et al. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change*. Vol.14(2), 2014, pp.563–578.

40. Johansson J., Bolmgren K., Jonz?n N. Climate change and the optimal flowering time of annual plants in seasonal environments. *Global Change Biology*. Vol. 19, Issue 1, 2013, pp. 197-207.
41. Leitinger G., Ruggenthaler R., Hammerle A., Lavorel S., Schirpke U., Clement J.C., Lamarque P., Obojes N., Tappeiner U. Impact of droughts on water provision in managed alpine grasslands in two climatically different regions of the Alps. *Ecohydrology*. Vol. 8, Issue 8, 2015, pp. 1600-1613.
42. Mueller C., Eickhout B., Zaehle S., Bondeau A., Cramer W. Lucht W. Effects of changes in CO₂, climate, and land use on the carbon balance of the land biosphere during the 21st century. *Journal of Geophysical Research - Biogeosciences*; Vol. 112. 2007.
43. Poyda A.,Wizemann H.-D., Ingwersen J.,Eshonkulov R., Demyan M., Kremer ., Wulfmeyer V., Streck T. Carbon fluxes and budgets of intensive crop rotations in two regional climates of southwest Germany. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 276, 2019, pp. 31-46.
44. Reyer C.P.O., Leuzinger S., Rammig A., Wolf A., Bartholomeus R.P., Bonfante A., de Lorenzi F. A plant's perspective of extremes: terrestrial plant responses to changing climatic variability. *Global Change Biology*. Vol. 19, Issue 1. 2013, pp. 1-336.
45. Richardson A.D.,Keenan T.F., Migliavacca M., Ryu Y., Sonnentag O., Toomey M. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 169, 2013, pp. 156-173.
46. Romkin V., Savchenko G. Flora and vegetation of dry grassland of Northeastern Ukraine, and problems of diversity conserlation. *Hacquetia*. 15(2), 2016, pp. 49-62.
47. Steinmann T., Welp G., Wolf A., Holbeck B., Amelung W. Repeated monitoring of organic carbon stocks after eight years reveals carbon losses from

intensively managed agricultural soils in Western Germany. Vol. 179, Issue 3, 2016, pp. 355-366.

48. Van Oijen M., Balkovi J., Beer C., Cameron D.R., Ciais P., Cramer W., et al. Impact of droughts on the carbon cycle in European vegetation: a probabilistic risk analysis using six vegetation models. *Biogeosciences*. Vol. 11(22), 2014, pp. 6357–6375.

49. Vleeshouwers L.M., Verhagen A. Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology*. Vol. 8, 2002, pp. 519–530.

50. Yidini Y., Panados P. Assessment of soil organic carbon stocks under future climate and land cover changes in Europe. *Science of The Total Environment*. Vol. 557–558, Issue 1, 2016, pp. 838-850.