

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра агрометеорології та
агроекології

**КОМПЛЕКСНА МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА
РОБОТА**

**Моделювання формування урожаю соняшника в
агрокліматичних умовах Північного Причорномор'я**

СКЛАД:

1. Моделювання потенційної урожайності посівів соняшника

Виконала студентка групи МЗА-18
Скороход Г.П. - староста
Керівник: к.геогр.н., доцент Жигайло О.Л.

2. Моделювання можливої урожайності соняшника за тепловими ресурсами

Виконав студент групи МЗА-18
Шелест Д.О.
Керівник: к.геогр.н., доцент Жигайло О.Л.

3. Моделювання дійсно можливого урожаю соняшника за
вологозабезпеченістю посівів

Виконав студент групи МЗА-18
Сніговий О.В.
Керівник: к.геогр.н., доцент Жигайло О.Л.

4. Моделювання урожаю насіння соняшника у виробництві

Виконала студентка групи МЗА-18
Степаненко Є.О.
Керівник: к.геогр.н., доцент Жигайло О.Л.

Науковий керівник: к.геогр.н., доцент Жигайло О.Л.

Рецензент: к.геогр.н., доцент Боровська Г.О.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра агрометеорології та
агроекології

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Моделювання можливої урожайності соняшника за
тепловими ресурсами

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

Освітня програма «Агрометеорологія»
(назва)

Шелест Денис Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

Керівник к.геогр.н., доцент

Жигайло Олена Леонідівна

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

Консультант _____

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

Рецензент к.геогр.н., доцент

Боровська Галина Олександрівна

(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 СТУДЕНТУ

Шелесту Денису Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Моделювання можливої урожайності соняшника за тепловими ресурсами

керівник роботи Жигайло Олена Леонідівна, к.геогр.н., доцент
(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: Агрокліматичні дані по Одеській, Миколаївській і Херсонській областям за періоди: 1980 – 2010 рр.(історичні); 2021 – 2050 рр., (сценарії RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5). Програма базової динамічної моделі впливу агрокліматичних умов на формування урожаю сільськогосподарських культур

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1) Вивчити сучасний стан агromетеорологічних досліджень культури соняшника

2) Вивчити ставлення соняшника до тепла і методи розрахунку програмування можливої урожайності

3) Вивчити базову динамічну модель впливу агрокліматичних умов на формування урожаю сільськогосподарських культур

4) Отримати параметри та змінні для розрахунків за моделлю

5) Провести розрахунки і аналіз формування можливої урожайності всієї біомаси соняшника в сучасних і очікуваних агрокліматичних умовах

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

Графіки динаміки середньої температури повітря за 1980 – 2010 рр. у Північному Причорномор'ї для лісостепової і степової зони (північно-степової і південно-степової підзони)

Графіки динаміки середньої температури повітря за 2021-2050 рр.у Північному Причорномор'ї для лісостепової і степової зони (північно-степової і південно-степової підзони) за сценаріями RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 і RCP8.5

Графіки динаміки можливої урожайності (МУ) за 1980 – 2010рр. у Північному Причорномор'ї для лісостепової і степової зони (північно-степової і південно-степової підзони)

Графіки динаміки можливої урожайності (МУ) за 2021-2050 рр.у Північному Причорномор'ї для лісостепової і степової зони (північно-степової і південно-степової підзони) за сценаріями RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 і RCP8.5.

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 огляд літературних джерел. Формування банку даних. Оформлення текстової частини першого розділу магістерської роботи	28.10.2019 р. - 04.11.2019 р.	90	5(відмінно)
2	Вивчення алгоритму моделі формування продуктивності соняшнику. Розв'язок задач дослідження на ПЕОМ	05.11.2019 р. - 10.11. 2019 р.	90	5(відмінно)
3	Проведення чисельних розрахунків на ПЕОМ. Оформлення текстової частини другого розділу.	11.11.2019р. - 17.11.2019р.	90	5(відмінно)
	<i>Рубіжна атестація</i>	18.11.2019 р. - 23.11.2019 р.	90	5(відмінно)
4	Побудова табличного та графічного матеріалу. Аналіз отриманих розрахунків. Оформлення текстової частини третього розділу.	24.11.2019 р. - 30.11.2019 р.	90	5(відмінно)
5	Узагальнення отриманих результатів. 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.	01.12.2019 р. - 09.12.2019 р.	90	5(відмінно)
6	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту.			
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90,0	

Студент _____
(підпис)

Шелест Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Жигайло О.Л.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шелест Д.О. Моделювання можливої урожайності соняшника за тепловими ресурсами

Тема цієї роботи є невід'ємною ланкою спільного комплексної магістерської кваліфікаційної роботи, спрямованого на з'ясування взаємовідношення продуктивності соняшнику у районі Північного Причорномор'я України із змінами агрокліматичних умов в усьому світі та в нашій країні, зокрема. Така проблематика дослідження є неабияк важливою в аспекті необхідності вирішення продовольчих проблем в суспільстві, що дедалі загострюються.

Метою даного дослідження було змоделювати процес впливу теплових ресурсів на рівень можливої урожайності соняшника на сільськогосподарських угіддях Північного Причорномор'я.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі основні завдання:

- отримати параметри та змінні для розрахунків можливої урожайності за тепловими ресурсами;
- провести розрахунки і аналіз формування можливої урожайності всієї біомаси соняшника в історичних агрокліматичних умовах (за період з 1980 по 2010 рр.)
- провести розрахунки і порівняльний аналіз формування можливої урожайності всієї біомаси соняшника в очікуваних агрокліматичних умовах (за період з 2021 по 2050 рр.) за сценаріями концентрації парникових газів RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 і RCP8.5.

Об'єкт дослідження - агрокліматичні умови формування можливої урожайності соняшника.

Предмет дослідження – аналіз впливу теплових ресурсів на можливу урожайність соняшника на сільськогосподарських угіддях Північного Причорномор'я.

Методи дослідження - базова динамічна модель впливу агрокліматичних умов на формування урожаю сільськогосподарських культур.

Вперше: встановлені закономірності впливу теплових ресурсів за сценаріями RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 і RCP8.5 на можливу урожайність соняшника в Північному Причорномор'ї.

Отримані результати можуть бути використані при оптимізації розміщення посівних площ соняшника в Північному Причорномор'ї.

Робота складається із вступу, 3 розділів, висновків, списку використаної літератури. Повний обсяг роботи становить 61 сторінка, 12 рисунків, 6 таблиць. Список використаної літератури містить 29 найменувань.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: соняшник, модель, агрокліматичні умови, середня температура повітря, можлива урожайність, теплозабезпеченість.

SUMMARY

D. Shelest. Modeling of possible sunflower yield by thermal resources.

The theme of this work is an integral part of a joint comprehensive master's qualification work aimed at exploring the relationship of sunflower productivity in the Northern Black Sea region of Ukraine with changes in agro-climatic conditions around the world and in our country, in particular. This kind of research is of great importance in terms of the need to address the growing problems of food in society.

The purpose of this study was to simulate the process of influence of thermal resources on the level of possible sunflower yields on the agricultural lands of the Northern Black Sea.

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

- obtain parameters and variables for calculating the possible yield on thermal resources;

- to carry out calculations and analysis of formation of possible yield of all sunflower biomass in historical agroclimatic conditions (for the period from 1980 to 2010).

- to perform calculations and comparative analysis of the formation of possible yield of all sunflower biomass in the expected agro-climatic conditions (for the period from 2021 to 2050) according to the scenarios of concentration of greenhouse gases RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5.

The object of study - agroclimatic conditions for the formation of possible sunflower yields.

The subject of the study is the analysis of the influence of thermal resources on the possible sunflower yield on the agricultural lands of the Northern Black Sea.

Research methods - a basic dynamic model of the influence of agro-climatic conditions on crop production.

For the first time, regularities of the influence of thermal resources under the scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5 on the possible sunflower yield in the Northern Black Sea have been established.

The results obtained can be used to optimize the placement of sunflower acreage in the Northern Black Sea.

The work consists of an introduction, 3 sections, conclusions, a list of used literature. The total volume of work is 61 pages, 12 figures, 6 tables. The list of used literature sources contains 29 titles.

KEYWORDS: sunflower, model, agroclimatic conditions, average air temperature, possible yield, heat supply.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 СУЧАСНИЙ СТАН АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КУЛЬТУРИ СОНЯШНИК	10
1.1 Вплив агрометеорологічних умов на темпи розвитку соняшнику.....	10
1.2 Агрометеорологічні умови і продуктивність соняшнику.....	14
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГРАМУВАННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ І ПЛАНУВАННЯ УРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	23
2.1 Розрахунок можливої урожайності за тепловими ресурсами агрокліматичних районів.....	23
2.2 Моделювання можливого урожаю соняшника з урахуванням теплових ресурсів Північного Причорномор'я.....	26
2.2.1 Агрокліматичні умови північно-причорноморського району.....	26
2.2.2 Моделювання можливого урожаю соняшника з урахуванням теплових ресурсів.....	29
3 АНАЛІЗ МОЖЛИВОЇ УРОЖАЙНОСТІ ПОСІВІВ СОНЯШНИКА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ	33
3.1 Вплив температури на ріст, розвиток і урожай соняшника ...	33
3.2 Розрахунки і аналіз можливої урожайності посівів соняшника у Північно-причорноморському районі в залежності від температурного режиму.....	34
3.2.1 Аналіз можливої урожайності соняшника у лісостеповій зоні.....	35
3.2.2 Аналіз можливої урожайності соняшника у північно-	

степовій підзоні.....	42
3.2.3 Аналіз можливої урожайності соняшника у південно-степовій підзоні.....	49
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	58

ВСТУП

З олійних культур в Україні традиційно найпоширенішою культурою є соняшник, який входить до структури сівозмін природно-кліматичних зон Степу, Центрального та Східного Лісостепу, і займає понад 90 % посівних площ усіх вирощуваних в Україні олійних культур.

Соняшник - за масштабами поширення, універсальністю використання та енергетичною цінністю - найважливіша олійна культура в Україні. Саме соняшник забезпечує найбільший вихід олії з одиниці площі, а виробництво його є рентабельним у всіх зонах вирощування [21].

Україна входить в число країн-лідерів з виробництва і постачання соняшника та соняшникової олії. Соняшник вважається однією з небагатьох сільськогосподарських культур, яка користується високим попитом як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринку, дає змогу аграрним підприємствам отримувати високі прибутки. Насіння соняшнику використовується як цінний продукт харчування і широко застосовується різноманітними галузями переробної промисловості.

Одним зі шляхів підвищення ефективності виробництва на ринку соняшнику є впровадження сучасних технологій його виробництва й зокрема, велике значення має застосування ресурсозберігаючих технологій з одночасним зростанням урожайності. Насіння соняшнику має сталий попит у різні періоди року, що свідчить про його високу ліквідність та експортну привабливість. Для забезпечення зростання виробництва соняшнику велике значення має концентрація посівів в регіонах із найбільш сприятливими умовами.

Температура є головним чинником зовнішнього середовища, який впливає на швидкість розвитку рослин соняшнику. В міру її підвищення скорочується тривалість всіх міжфазних періодів. Внаслідок зниження середньої температури під час вегетації від посіву до дозрівання рослин

одного і того ж сорту виявляється тим триваліший, аніж північніше розташований район їх вирощування [17,18].

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи було – змоделювати процес впливу теплових ресурсів на рівень можливої урожайності соняшника на сільськогосподарських угіддях Північного Причорномор'я в Україні.

Для досягнення мети були поставлені такі задачі:

- вивчити сучасний стан агрометеорологічних досліджень культури соняшника;
- вивчити ставлення соняшника до тепла і методи розрахунку програмування можливої урожайності;
- вивчити динамічну модель впливу агрокліматичних умов на формування урожаю сільськогосподарських культур;
- отримати параметри та змінні для розрахунків можливої урожайності в залежності від температурного режиму;
- провести розрахунки і аналіз формування можливої урожайності всієї біомаси соняшника в історичному і очікуваному температурному режимі.

Робота виконана на основі агрокліматичних даних Одеської, Миколаївської і Херсонської областей [1, 2, 3]. Розглянуто два кліматичних періоди: з 1980 по 2010 рр. і з 2021 по 2050 рр. Другий кліматичний період розглянуто за сценаріями RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 і RCP8.5 .

Динамічна модель впливу агрокліматичних умов на формування урожаю сільськогосподарських культур [20] стала теоретичною основою для моделювання можливої урожайності соняшника за тепловими ресурсами.

Результати досліджень були представлені на конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету (м. Одеса, 6-19 травня, 2019р.) [26] і на міжнародній науково-практичній конференції «Використання альтернативних джерел енергії в умовах розвитку сільських територій» (м. Полтава, 22 травня, 2019 р.) [7].

1 СУЧАСНИЙ СТАН АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КУЛЬТУРИ СОНЯШНИКУ

Початок досліджень впливу умов погоди (зокрема суми опадів) на врожайність і олійність насіння соняшнику згідно з літературними даними було покладено академіком В. С. Пустовойтом в 1916-1926 роках [18]. Так, В. С. Пустовойт зазначає, що врожаї середні та вище середніх були отримані при коливаннях річних сум опадів від 481 до 825 мм.

Подальші дослідження впливу агрометеорологічних умов на розвиток, ріст і продуктивність соняшнику показали залежність цих процесів від різних агрометеорологічних показників.

1.1 Вплив агрометеорологічних умов на темпи розвитку соняшнику

Вивчаючи швидкість розвитку соняшнику, Міуським П.Ю. встановлено залежність тривалості періоду сівба-сходи від суми ефективних температур і запасів продуктивної вологи в шарі ґрунту 0-20 см [13]

$$N = - 0.128X - 0.837Y + 50.5 \quad (1.1)$$

де N - тривалість міжфазного періоду сівба-сходи, доб.

X – сума ефективних температур за період, °С;

Y - середні запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0-20 см за вказаний період, мм.

Дослідження, що дозволяють оцінювати настання фаз розвитку в цілому для всього онтогенезу, проведені Мельником Ю.С.[10,11]. Так при середній температурі 16°C і вище тривалість періоду посів-сходи мінімальне, вона коливається в межах 6-8 днів (табл. 1.1)

Таблиця 1.1 - Середня температура повітря за період сівба-сходи і тривалість періоду при оптимальному зволоженні

	Середня температура періоду, °С								
	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Тривалість періоду, дні	28	20	14	12	10	8	8	6	6

У цих же роботах подано біологічні мінімуми і суми ефективних температур за між фазними періодами в онтогенезі (табл. 1.2).

Представлені дані дозволяють по температурі повітря розраховувати настання основних фаз розвитку соняшнику.

Таблиця 1.2 - Суми ефективних температур (Σt_{ef}) і біологічний мінімум (В) для окремих міжфазних періодів розвитку соняшнику

Групи сортів	Міжфазні періоди					
	Сходи- утворення суцвіть		Утворення суцвіть - цвітіння		Цвітіння – дозрівання	
	Σt_{ef}	В	Σt_{ef}	В	Σt_{ef}	В
середньопіздньостиглі	250	12	120	15	250	13
середньостиглі	220	12	90	15	230	13
середньоскоростиглі	200	12	70	15	219	13

Австралійські дослідники [28] для прогнозу розвитку соняшнику розбивають весь онтогенез на три стадії: вегетативну, репродуктивну і стадію старіння. Наступ кожної стадії визначається середньою температурою повітря, середнім значенням вологості ґрунту і середньою довжиною світлої частини доби.

При цьому в інші запропоновані два рівняння для репродуктивної стадії старіння показник довжини світлої частини доби не входить. Характеристика умов розвитку соняшнику не буде повною, якщо не дати мінімальні та оптимальні температури для процесів росту і розвитку.

Наприклад для вегетативної стадії

$$D = 0.000749T + 0.00546W + 0.001318H, \quad (1.2)$$

де D - рівень розвитку, відм. од.;

T - середня температура повітря за період вегетативної стадії, °С;

W - середнє відносне значення вологості ґрунту, відн. од.;

H - середня довжина світлової частини доби, год.

В роботі Міуського П. Ю. [13] дана характеристика вимог соняшнику до температурного фактору. Так, автор зазначає, що сходи соняшнику легко переносять заморозки інтенсивністю -3,0, -3,5 °С. У той же час, короткочасне зниження температури повітря до -5 °С пошкоджує листя соняшнику. При більш тривалому впливі низької температури пошкоджуються точки зростання. Міуський П.Ю. вважає, що оптимальною температурою для формування генеративних органів є температура близько 23-25°С. Автор також вважає, що температура повітря вище 25°С діє гнітюче на соняшник.

В цілому, біологічна потреба соняшника в теплі оцінюється Мельником Ю.С. в діапазоні сум температур в 1800 - 2400 °С (табл. 1.3).

Таким чином, спираючись на дані представлені в табл. 1.3, можна зробити висновок, що соняшник пройде весь онтогенез, в тому числі репродуктивну стадію, якщо в даній кліматичній зоні фактор тепла накопичується в не менших межах відповідних сум температур. Для розрахунку настання окремих фаз розвитку соняшнику Мельником Ю.С. використаний транзитивний метод. Цей метод заснований на тому факті, що

настання фаз розвитку підпорядковується певній послідовності, і дата настання кожної попередньої фази визначає дату настання наступної [10].

Таблиця 1.3 - Біологічні і біокліматичні суми температур за період вегетації соняшнику (за даними [10]).

Сорти	Біологічна сума температур	Поправка на кліматичну різницю ^{°C}	Біокліматична сума температур, ^{°C}
Середньо пізньостиглі	2400	-100	2300
середньостиглі	2100	-100	2000
Середньо скоростиглі	1800	-100	1700

У зв'язку з цим, Мельником Ю.С. запропоновані наступні рівняння:

$$x_2 = 0.765 + 22.345 \quad (1.3)$$

$$x_3 = 0.551x_1 + 66.123 \quad (1.4)$$

$$x_4 = 0.556x_1 + 93.988 \quad (1.5)$$

$$x_5 = 0.658x_1 + 124.234 \quad (1.6)$$

$$x_3 = 0.599x_2 + 55.243 \quad (1.7)$$

$$x_4 = 0.672 x_2 + 80.104 \quad (1.8)$$

$$x_5 = 0.788 x_2 + 108.116 \quad (1.9)$$

$$x_4 = 0.706x_3 + 51.814 \quad (1.10)$$

$$x_5 = 0.870x_3 + 71.300 \quad (1.11)$$

$$x_5 = 1.056 x_4 + 26.896 \quad (1.12)$$

У наведених рівняннях:

x_1 - дата посіву;

x_2 — дата сходів;

x_3 – дата утворення суцвіть;

x_4 – дата,цвітіння;

x_5 – дата дозрівання соняшнику.

Всі дати обчислюються від 1 квітня

1.2 Агрометеорологічні умови і продуктивність соняшнику

Розглянемо тепер існуючі методи, які враховують вплив різних агрометеорологічних показників на урожайність соняшнику.

Відомо, що соняшник вирощується в основному в тих кліматичних зонах, де лімітуючим фактором росту та розвитку більшості сільськогосподарських культур є фактор вологи. У зв'язку з цим, Міуський П.Ю. пов'язує урожайність соняшнику з показником зволоження [13]:

$$P=22.86K-15.3 \quad (1.13)$$

$$Sp=\pm 1.58 \quad r=0.89\pm 0.03$$

де P – урожай соняшнику

K – показник зволоження;

Sp – помилка;

r – коефіцієнт кореляції;

В якості показника зволоження за вегетаційний період Міуський П.Ю. пропонує наступні рівняння

$$K = \frac{W+n}{0.1 \cdot \sum t} \quad (1.14)$$

де W – запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0-100 см до початку сівби;

n – опади;

$\sum t$ - сума середніх добових температур за цей період, зменшена в 10 разів.

Слід зауважити, що рівняння (1.13) і (1.14) розраховані для умов агротехніки сортодільниць. Тому вони не стосуються безпосередньо для розрахунку врожайності в умовах господарського обробітку культури соняшника, де рівень агротехніки помітно відрізняється від рівня агротехніки, сортодільниць.

У цій же роботі Міуським П. Ю. [14] запропоновані інші види зв'язків врожайності соняшнику з фактором вологи. Так наприклад, залежність врожаю соняшнику від суми опадів має вигляд

$$Y=0,1x-0,031*10^{-7}*x^4+11,1 \quad (1.15)$$

де Y - урожай соняшнику (в ц/га);

x – сума опадів (в мм) за період від посіву до утворення суцвіть;

Помилка рівняння $S_y = 3.4$ ц/га.

На відміну від робіт Міуського П.Е., Мельником Ю.С. запропоновано дещо інші види зв'язків урожайності соняшнику від показника зволоження.

Мельник Ю. С. також дає інший вид показника зволоження [10,11,12]. Як вважає автор, показник зволоження, заснований на суму опадів за попередній вегетації соняшнику осінньо-зимовий і весняний період, краще визначає рівень врожайності на сортодільницях. Так, рівняння показника зволоження K має вигляд :

$$K = \frac{0,6\sum x_1 + \sum x_2}{0,1\sum t} \quad (1.16)$$

де $\sum x_1$ – сума опадів за попередній вегетації осінньо-зимовий період (рахуючи від дати переходу середньодобової температури повітря через 5°C восени до дати переходу через 10°C навесні наступного року);

$\sum x_2$ – сума опадів за вегетаційний період (рахуючи від дати переходу середньодобової температури повітря через 10°C навесні до дати дозрівання соняшнику);

$\sum t$ – сума температур за період вегетації соняшнику.

Залежність врожайності соняшнику на сортодільницях Y (ц/га) від пропонованого показника зволоження K представлена Мельником Ю.С. у вигляді

$$Y = 23.44(K - 0.46)^{0.8} \quad (1.17)$$

$$S_y = \pm 3.3 \text{ ц/га} \quad r = 0.76$$

де S_y – помилка рівняння;

r – коефіцієнт кореляції.

Для обліку рівня агротехніки обробітку соняшнику в різних районах областях Мельник Ю. С. пропонує наступну схему [11]. На початку розраховується спрощений показник зволоження W :

$$W = 0,6\sum x_1 + \sum x_2 \quad (1.18)$$

де $\sum x_1$ – сума опадів за попередній вегетації осінньо-зимовий період (1.16);

$\sum x_2$ – сума опадів за вегетаційний період (1.16).

Потім даються рівняння регресії залежності врожайності Y_1 в районах і областях від показника зволоження W (рівняння 1.18). Більшість

представлених рівнянь регресії мають параболічний вигляд. При цьому величина врожайності Y_1 являє собою величину врожаю соняшнику з виключенням впливу зміни культури землеробства.

У роботах Мельника Ю.С. [10,11] з'ясувалася роль опадів для соняшнику за основним межфазним періодів.

Так, на основі обробки даних спостережень агрометеорологічних станцій Мельником Ю. С. отримано рівняння множинної регресії

$$Y = 1.026 - 0.065x_1 + 0.054x_2 + 0.073x_3 + 0.054x_4 + 0.041x_5 - 0.032x_6 \quad (1.19)$$

де Y – урожай соняшника на сортоділянках, ц/га;
 x_1 – сума опадів за осінньо-зимовий-весняний період;
 x_2 – те ж за період від сівби до сходів;
 x_3 – те ж за період від сходів до утворення суцвіть;
 x_4 – те ж за період утворення суцвіть – цвітіння;
 x_5 – те ж за період від цвітіння до дати накопичення суми температур 500° ;
 x_6 – те ж за період від дати накопичення після цвітіння суми температур 500° до дати досягання.

За коефіцієнтами рівняння(1.19), що стоять біля кожного аргументу можна судити про значення опадів для виділених міжфазних періодів.

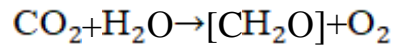
Залежність врожаю соняшнику від сумарних витрат вологи за весь період вегетації дається Мельником Ю. С. у вигляді [14]

$$Y = 0.059 E + 2.83 \quad (1.20)$$

де Y – урожай насіння соняшника, ц/га;
 E – сумарні витрати вологи за період вегетації, $m^3/га$.

Коефіцієнт кореляції рівняння(1.20) дорівнює $r=0.87$, помилка рівняння $S_y = \pm 3.6$ ц/га. Таким чином, знаючи сумарні витрати вологи за весь період вегетації по рівнянню (1.20) можна оцінити врожайність соняшнику.

В роботі [29] французькими дослідниками вивчався процес фотосинтезу соняшнику і його розрахунок. При цьому, вивчались первинні процеси фотосинтезу згідно зі схемою



В результаті експериментальних спостережень газообміну листя соняшнику автори запропонували рівняння для розрахунку інтенсивності фотосинтезу

$$F = \left[\mu - k \frac{dc_i}{dt} - k'(C_i - C_e) \right] \frac{C_0}{C_i} \quad (1.21)$$

де F – інтенсивність фотосинтезу, $\text{mgCO}_2/\text{c}\cdot\text{m}^2$

μ – значення потенційної швидкості газообміну CO_2 ;

C_i – опір CO_2 в середині листка;

C_e – зовнішній опір CO_2 ;

k и k' - коефіцієнти.

Рівняння (1.21) має теоретичний інтерес і не може бути використаний для розрахунків, так як опір газообміну C_i , C_e і C_0 визначаються безпосередньо, або пропонують складні обчислення.

У великому обсязі продукційний процес соняшнику описаний у роботі Ногіє Т [27]. Автор розраховує інтенсивність фотосинтезу за рівнянням

$$P = \frac{bP_m I}{\sqrt{(b^2 I^2 + P_m^2)}} \quad (1.22)$$

де P – інтенсивність фотосинтезу;

I – інтенсивність падаючої радіації;

b – початковий нахил світлової кривої фотосинтезу;

P_m – максимальна швидкість фотосинтезу.

При розрахунку інтенсивності фотосинтезу враховується вплив температурного фактора:

$$P_m = P_{mopt} \{ 1 - a (T - T_{opt})^2 \} \quad (1.23)$$

де P_{mopt} – максимальна інтенсивність фотосинтезу при оптимальній температурі;

T_{opt} – оптимальна температура для фотосинтезу

T – поточна температура.

В той же час враховується вплив фактору вологи на інтенсивність фотосинтезу. Розраховується також процес дихання з урахуванням впливу температурного фактора. Ногіє Т пропонує також опис розподілу продуктів фотосинтезу з органів. Для цього пропонуються так звані розподільні функції. Ці функції одержані автором експериментально і описують розподіл асимілятів за таким органам: листя, стебла, коріння, репродуктивні органи. У запропонованих Ногіє Т розрахунках розподілу асимілятів відсутній опис процесу перетікання пластичних речовин при старінні і відмирання вегетативних органів [27].

Спроба описати число утворюються насіння в кошику соняшнику та накопичення насінням своєї біомаси зроблена Тебуевим Х. Х. у роботі [24]. В основу опису покладено рівняння, яке визначає число закладеного насіння в залежності від фотосинтезу, максимальної та мінімальної температури повітря, вологості ґрунту, кількості дощових днів. При цьому функції впливу використовуваних факторів визначаються безрозмірними коефіцієнтами.

Маса насіння представлена у розрахунках є сумою маси лушпиння і маси ядра. У цьому описі виділяються три зони кошики: крайова, середня і центральна. Маса цих виділених елементів визначається масою кошики через безрозмірні коефіцієнти. Представлений розрахунок реалізований Тебуєвим Х.Х. для умов Північного Кавказу і показує помилку розрахунку в межах 2 – 44 %.

В роботі Тебуєва Х.Х. [24] запропоновано розрахунок фотосинтезу посіву соняшнику. Розрахунок спирається на світлову криву, запропоновану Монси і Саєкі. Враховується вплив фактору світла, тепла і вологи, а так само онтогенетичний аспект фотосинтезу. Представлено зіставлення рослин і фактичної площі листя, що видно, що розрахункові дані задовільно апроксимують фактичні.

Розглянемо тепер роботи, що стосуються безпосередньо прогнозів урожайності соняшника. Довгостроковий прогноз урожайності соняшнику запропоновано Мельником Ю.С. [11]. Автор розглядає проблему формування урожаю, як результат впливу трьох складових:

1. Ресурси (Р), яким має в своєму розпорядженні сільськогосподарського виробництва (мається на увазі ґрунти, їх родючість, а також капіталовкладення в сільське господарство).

2. Агротехніка (Ав) широкому сенсі слова (підбір сортів, прийомів обробітку, та ін.).

3. Погодні умови (П) осінньо-зимового та вегетаційного.

Ці фактори зв'язуються рівнянь

$$Y = P + A + П \quad (1.24)$$

Для конкретної реалізації даного положення про складові фактори урожайності, Мельник Ю.С. виділяє тенденцію урожайності і будує регресійну залежність величини відхилення урожайності від тренду в

залежності від спрощеного показника рівняння (1.18). Прогноз урожайності здійснюється за рівнянням регресії.

У спільній роботі Мельника Ю. С., Тебуева Х. Х., Забеліна Ст. Н. [12] для здійснення прогнозу урожайності насіння соняшнику пропонується розглядати урожайність як функцію двох основних факторів – умов зволоження (W) і зростання культури землеробства (A):

$$Y=f(W,A)$$

Зростання культури землеробства підстави методом аналітичного вирівнювання часових рядів урожайності. В якості показника зволоження застосовували рівняння (1.18). У той же час у цій роботі використовується інший показник агрометеорологічних умов формування урожаю соняшнику: це комплексний агрометеорологічний показник теплової вологозабезпеченості пропозицій Педем Д. А.

$$P_i = \frac{\Delta T}{GT} - \frac{\Delta R}{GR} - \frac{\Delta W}{GW} \quad (1.25)$$

де ΔT - аномалія температури повітря;

ΔR - аномалія опадів;

GR - середньоквадратичне відхилення опадів;

GT – середньоквадратичне відхилення температури;

GW – середньоквадратичне відхилення продуктивної вологи.

Далі в цій роботі пропонуються рівняння регресії, що зв'язують відхилення врожайності від тренду з показником (1.25). при цьому для різних районів і областей запропоновано рівняння , що відрізняються значеннями коефіцієнтів регресії .

В роботі Міщенко З.А. і Кирнасівської Н.В. [16] виконана регіональна агрокліматична оцінка продуктивності соняшнику на території України. Оцінка врожаїв різного виду і рівня виконана на основі фізико-статистичної моделі "Клімат - врожай", яка адаптована до соняшнику з введенням ряду

методичних прийомів і модифікаційних формул. Розрахунки потенціальних і дійсно-можливих урожаїв виконані з прив'язкою до агрокліматичної карти, на якій виділено сім макрорайонів, які відрізняються за кліматичними сумами ФАР за теплий період з T_c вище 10°C , біологічними сумами ФАР за період вегетації середньостиглих сортів соняшнику і за показником вологозабезпеченості у вигляді відносного випаровування.

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГРАМУВАННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ І ПЛАНУВАННЯ УРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

В даний час проблема інтенсифікації виробництва сільськогосподарських культур найбільш актуальна. Можливі перспективи її вирішення лежать в основі підвищення ефективної родючості ґрунту, розробки і впровадження інноваційних прийомів агротехніки, раціонального використання ґрунтово-кліматичних ресурсів. Це основні фактори, регулювання та оптимізація яких ведуть до найбільш повного використання генетичного потенціалу сортів і гібридів сільськогосподарських культур і відповідно забезпечення найбільш високої продуктивності оброблюваних земель [9, 20, 25].

Оскільки правильно управляти природними факторами (наприклад, погодою), особливо в посушливі періоди, неможливо, це обумовлює значне розходження між величинами запланованого і фактично отриманого урожаю.

Програмування врожаю - це науково обґрунтована система вирощування високих врожаїв хорошої якості.

В основі програмування урожаїв лежить вимога задоволення потреб рослин в життєво важливих ресурсах для отримання заданого урожаю.

2.1 Розрахунок можливої урожайності за тепловими ресурсами агрокліматичних районів

При високому рівні агротехніки досягнення урожайності відповідної потенційної можливості сортів обмежується кліматичними умовами району, тобто програмований рівень урожайності не повинен перевищувати величину урожаю, що забезпечується кліматичними факторами. Під кліматично забезпеченим урожаєм розуміють такий рівень урожайності, який можна

досягти в ідеальних ґрунтових і агротехнічних умовах, при обмежуючій дії різних метеорологічних чинників. Рівень кліматично забезпеченого урожаю завжди менше потенційно можливого. Основним лімітуючим фактором є волога, але вельми важливими є і теплові ресурси агрокліматичних районів [9,25].

Забезпеченість району вологою оцінюється за величиною коефіцієнта зволоження

$$K_{увл} = \frac{586 * W}{10^4 * \sum P}, \quad (2.1)$$

де W – водозабезпеченість культури за період вегетації, мм;

$\sum P$ – сумарний прихід ФАР за період вегетації культури, ккал/см²

586 — прихована теплота випаровування одного літра води, ккал.

Величину можливого урожаю (MU) можна обчислювати і за формулою

$$U_v = U_p * K_{увл} \quad (2.2)$$

де U_v – урожайність за водо забезпеченням;

U_p – урожайність потенційна за приходом ФАР.

Але цей розрахунок не враховує цілого ряду факторів і такого важливого чинника, як теплозабезпечення.

Зв'язок між зволоженням і термічним режимом встановлюється гідротермічним показником ГТП, який розраховується в балах

$$ГТП = 0,46 * K_{увл} * T V \quad (2.3)$$

де $ГТП$ – гідротермічний показник продуктивності;

$K_{\text{звол}}$ – коефіцієнт зволоження;

TV — період вегетації культури у декадах.

Урожайність за $ГТП$ розраховується на основі залежності

$$Y_{\text{гтп}} = 22 \text{ ГТП} - 10 \quad (2.4)$$

де $Y_{\text{гтп}}$ – урожай сухої біомаси, ц/га.

Для отримання урожайності при стандартній вологості використовують значення коефіцієнта господарської ефективності K_g по раніше вказаним формулам.

Для регіонів з недостатніми тепловими ресурсами необхідна оцінка можливої урожайності по сумі ефективних температур за період вегетації сільськогосподарських культур. Цей розрахунок проводиться для оцінки потенційної можливості зони і виділення лімітуючого фактору, що визначає рівень дійсно можливої урожайності. Для розрахунків використовують біокліматичний потенціал продуктивності (БКП), який встановлює зв'язок між коефіцієнтами зволоження і сумою ефективних температур

$$БКП = K_{\text{увл}} \frac{\sum T^{\circ} > 10^{\circ} C}{1000^{\circ} C} \quad (2.5)$$

де $K_{\text{звол}}$ – коефіцієнт зволоження;

$\sum T > 10^{\circ} C$ ($5^{\circ} C$ для озимих) – сума ефективних температур за період вегетації вище $10^{\circ} C$ для пізніх ярих і вище $5^{\circ} C$ для озимих культур;

$1000^{\circ} C$ – сума ефективних температур на північній межі польового землеробства.

Розрахунок урожайності за БКП проводиться на підставі формули:

$$U_{\text{БКП}} = V * \text{БКП} \quad (2.6)$$

де $U_{\text{БКП}}$ – кліматично забезпечений по теплу урожай, т/га.

V – коефіцієнт, що відображає рівень культури землеробства і використання ФАР посівами.

2.2 Моделювання можливого урожаю соняшника з урахуванням теплових ресурсів Північного Причорномор'я

2.2.1 Агрокліматичні умови північно-причорноморського району

Для Північного Причорномор'я характерним є помірно-континентальний клімат, порівняно тепла зима з невисоким і нетривалим заляганням снігу, спекотне з частими суховіями літо [1,2,3].

Середня температура січня дорівнює -0,5... -3,1 °С. Середня температура липня становить 21,3... 23,4 °С. Середня температура повітря за рік знаходиться в межах 9,0... 11,0 °С.

Зима у Північному Причорномор'ї триває 60-82 дні (з 10 грудня до 18 лютого).

Період вегетації починається в середньому 18 березня і закінчується 11 листопада і триває 228-246 днів. Цей період характеризується середніми добовими температурами повітря 5°С і вище. Сума позитивних температур повітря (вище 5°С) знаходиться в межах з 3635 °С до 3955 °С.

Період активної вегетації сільськогосподарських культур починається 9-18 квітня і закінчується 13-25 жовтня. Активна вегетація у с.-г. культур обмежується середніми добовими температурами повітря 10°С і вище. Тривалість періоду становить 179-198 днів. Сума позитивних температур повітря вище 10 °С знаходиться в межах з 3105 °С до 3745°С.

Літо починається, коли період із середніми добовими температурами повітря 15°C і вище, триває 127-142 дні - з 11-16 травня до 18-30 вересня. Сума позитивних температур повітря вище 15°C знаходиться в межах з 2585°C до 2835°C .

В районі Північного Причорномор'я середня кількість опадів за рік становить 468 мм, змінюючись по території від 239 до 503 мм.

Суворя атмосферна посуха, яка часто поєднується із ґрунтовою в період активної вегетації сільськогосподарських культур (ГТК менше 0,7).

У вегетаційний період на території Північного Причорномор'я спостерігається від 14 до 20 днів із суховіями різної інтенсивності Вони негативно впливають на розвиток сільськогосподарських культур, що призводить до істотного зниження їх урожайності, у прибережній зоні – 6-11 днів. Найбільш притаманні суховії клімату Херсонщини, у вегетаційний період на території області (крім приморських районів) спостерігається від 15 до 33 днів із суховіями. В окремі роки кількість днів із суховіями досягає 40-43 днів.

Перші осінні заморозки в повітрі спостерігаються в кінці третьої декади вересня, останні весняні – в першій декаді травня.

Загальна тривалість залягання снігового покриву за зиму коливається від 20 до 53 днів. Сніговий покрив залягає протягом січня. Середня висота снігу за зиму – 3-4 см. В останні десятиріччя спостерігаються роки без сталого снігового покриву або взагалі безсніжні зими.

Середня із мінімальних температур ґрунту на глибині 3 см по області за зиму, залежно від типу ґрунту, становить мінус $1,7-2,9^{\circ}\text{C}$.

Узимку зазвичай спостерігаються відлиги, кількість днів з якими за період грудень – лютий по області коливається від 58 до 67. Відлиги, які тривають більше ніж 5 днів поспіль, зумовлюють порушення зимового спокою озимини, що призводить до зниження морозостійкості рослин.

Серед інших несприятливих для сільськогосподарських культур явищ погоди на території Північного Причорномор'я у вегетаційний період спостерігається град, сильний вітер, дуже сильний дощ та зливи.

Агрокліматичне районування. Територія північно-причорноморського району відноситься до дуже посушливої, помірно жаркої зони з м'якою зимою[1,2,3].

В Одеській області територія поділена на три агрокліматичних райони.

- Перший район характеризується помірною теплозабезпеченістю з сумою температур більше 10°C в межах 3200°C , недостатньо зволожений середня кількість опадів становить 360 мм, ГТК дорівнює 1,0.
- Другий агрокліматичний район є високого рівня тепло забезпечення з сумами температур більше 10°C $3201-3500^{\circ}\text{C}$, район оцінюється як посушливий з сумою опадів за період активної вегетації 331-360 мм і ГТК - 0,8-0,9.
- Дуже посушливим є третій агрокліматичний район від Одеси до Ізмаїлу з сумою опадів менше 360 мм. ГТК в цьому районі становить менше 0,8.

В Миколаївській області як і в Одеській виділяють три агрокліматичні райони.

- Перший – високого рівня теплозабезпеченості з сумами позитивних температур повітря $3250-3450^{\circ}\text{C}$. За оцінкою вологозабезпеченості періоду він є недостатньо звоженим. Кількість опадів дорівнює 350–400 мм. Гідротермічний коефіцієнт становить 1,0 -1,1.
- В другому агрокліматичному районі також високий рівень теплозабезпеченості встановлено, суми позитивних температур повітря в даному районі $3300-3450^{\circ}\text{C}$. Однак в порівнянні з першим він є посушливим, опадів тут менше (290–320мм), нижче і гідротермічний коефіцієнт (0,8-0,9).

- У третьому агрокліматичному районі найвища теплозабезпеченість (3450-3550°C). Але за вологозабезпеченістю він є дуже посушливий. Опадів тут ще менше ніж у другому (250-280 мм), а гідротермічний коефіцієнт (ГДК) знижується до 0,7-0,8.

У Херсонській області виокремлюють два агрокліматичних райони.

- Перший агрокліматичний район характеризується як район високого рівня теплозабезпеченості з температурами вище 10°C в межах 3300 - 3400°C. За оцінкою вологозабезпеченості перший район є посушливим з сумою опадів за період активної вегетації 290 – 320 мм і гідротермічним коефіцієнтом 0,9 - 1,0.
- Другий агрокліматичний район також є високого рівня теплозабезпеченості з температурами вище 10°C від 3450 до 3550°C. Однак він за оцінкою вологозабезпеченості є дуже посушливий тому, що опадів в даному районі за період активної вегетації випадає менше (260 – 290 мм) і ГТК знижується до 0,7 - 0,8.

2.2.2 Моделювання можливого урожаю соняшника з урахуванням теплових ресурсів

Продуктивність сільськогосподарських культур обумовлюється цілою сукупністю агрокліматичних факторів - агрокліматичними умовами. Показники агрокліматичних умов повинні всебічно відобразити забезпеченість сільськогосподарських культур природними ресурсами, співвідношення агрокліматичних умов потребам рослин, а також ступінь їх використання. Найбільш адекватне відображення агрокліматичних умов може бути реалізовано в агроекологічних категоріях урожайності, які ґрунтуються на принципах максимальної продуктивності та відповідності умов зовнішнього середовища проживання потребам рослин [20].

В основі продукційного процесу рослин лежить фотосинтез. Його інтенсивність обумовлюється фазою розвитку рослин і умовами навколишнього середовища.

Для розрахунку онтогенетичної кривої фотосинтезу використовується формула виду

$$\alpha_{\phi}^j = \exp \left[-a_{\phi} \cdot \left(\frac{TS_2 - \sum t_1}{10} \right)^2 \right], \quad (2.7)$$

в який величина α_{ϕ} знаходиться за виразом

$$\alpha_{\phi} = \frac{-100(1n)\alpha_{\phi}^0}{(\sum t_1)^2}, \quad (2.8)$$

де α_{ϕ} – онтогенетична крива фотосинтезу, від. од.;

α_{ϕ}^0 – начало онтогенетичної кривої фотосинтезу, від. од.;

$\sum t_1$ – сума ефективних температур от сходів, при якій спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу рослин, °С;

TS_2 – сума ефективних температур, °С.

Функція впливу температури повітря на продукційний процес визначається за допомогою такої процедури.

Температурна крива фотосинтезу визначається за формулою

$$\Psi_{\phi} = \begin{cases} 1.37 \cdot \sin(0.077 \cdot x_1^j), npu(t^j - t_0) < t_{opt1}^j \\ 1, nput_{opt1} \leq (t^j - t_0) \leq t_{opt2}^j \\ 1.13 \cdot \cos(1.570 \cdot x_2^j), npu(t^j - t_0) > t_{opt2}^j \end{cases}, \quad (2.9)$$

де Ψ_{ϕ} – температурна крива фотосинтезу;

t – середня декадна температура повітря, °С;

t_0 – середня декадна 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.

$$x_1^j = (t_x^j - t_0) / (t_{opt1}^j - t_0), \quad (2.10)$$

$$x_2^j = (t_x^j - t_{opt2}^j) / (t_{max}^j - t_{opt2}^j), \quad (2.11)$$

де t_{max} – середня декадна температура повітря, при якій припиняється фотосинтез, °C;

t_x – температура повітря, °C.

Значення нижньої і верхньої меж температурного оптимуму для фотосинтезу розраховуються за формулами

$$t_{opt1}^j = 15.40 + 20.93x_3^j - 20.09(x_3^j)^2, \quad (2.12)$$

$$t_{opt2}^j = 18.49 + 18.53x_3^j - 17.52(x_3^j), \quad (2.13)$$

$$x_3^j = \frac{t^j}{\sum t_{req}}, \quad (2.14)$$

де $\sum t_{req}$ – сума температур, що необхідна для дозрівання рослин, °C.

Функція впливу температури повітря на фотосинтез Ψ змінюється від 0 до 1.

Приріст можливої урожайності є приріст потенційної врожайності, який буде обмежений впливом температурного режиму

$$\frac{\Delta MU^j}{\Delta t} = \frac{\Delta PY^j}{\Delta t} \cdot FTW1, \quad (2.15)$$

де $\frac{\Delta MU^j}{\Delta t}$ – приріст можливої урожайності, г/м²;

FTW2 – функція впливу температурного режиму з корекцією на поєднання різних екстремальних умов.

Для Північно-причорноморського району біло отримано суми ефективних температур за період від посіву до збиральної стиглості для районованих гібридів соняшника. Для лісостеповій зони досліджуваного району вони становлять 1387°C. У північно-степовій підзоні суми ефективних температур за розглянутий період вегетації дорівнюють 1400°C, а у південно-степовій - 1450°C.

Важливим параметром в моделі є оптимальна температура для фотосинтезу соняшника. З літератури відомо [4,18,22,23], що вона дорівнює 25-27°C.

Мінімальна температура (біологічний мінімум), при якій починається розвиток в моделі для соняшника визначається величиною 8°C [11].

3 АНАЛІЗ МОЖЛИВОЇ УРОЖАЙНОСТІ ПОСІВІВ СОНЯШНИКА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ

3.1 Вплив температури на ріст, розвиток і урожай соняшника

Вплив температури на урожай соняшника у звичайних умовах виявити складніше, ніж вплив вологи не тільки через великі її коливання у часі, але і внаслідок значного її опосередкованого впливу на забезпеченість рослин водою. Найбільш сприятливою температурою для росту рослин соняшнику вважається 31-37°C [18,22]. Встановлено, що найбільш інтенсивно поглинається вуглекислота листям соняшнику при температурі 30-36°C, починаючи з 37°C фотосинтез знижується, а при температурі 48°C припиняється зовсім. Разом з тим для формування урожаю більш сприятлива в період від цвітіння до дозрівання середня добова температура порядку 22-25°C, якої зазвичай супроводять більш сприятливі умови зволоження [4,18,22]. Оскільки соняшник екологічно пристосований до континентального клімату з його великими перепадами температур, ставлення його до температури істотно змінюється в залежності від фази вегетації. Якщо для проростання і появи сходів нижня межа ефективної температури дорівнює 5°C, то в період сходи - утворення суцвіть він підвищується до 11-12°C, а до цвітіння - до 15-16°C, після чого знову опускається до 10-14°C.

Температура є головним чинником зовнішнього середовища, який впливає на швидкість розвитку рослин соняшнику. В міру її підвищення скорочується тривалість всіх міжфазних періодів. Внаслідок зниження середньої температури під час вегетації від посіву до дозрівання рослин одного і того ж сорту виявляється тим триваліший, аніж північніше розташований район їх вирощування. У міру просування з півдня на північ

тривалість вегетаційного періоду у соняшнику зростає на кожен градус північної широти [18].

Маючи досить тривалий вегетаційний період, якій збільшується в міру просування на північ, соняшник пред'являє порівняно високі вимоги до тепло забезпеченості місцеперебування. У районах, де середня температура самого жаркого місяця (липня) нижче $18,7^{\circ}\text{C}$, вирощування соняшнику на насіння неможливо. Для гарантованого визрівання насіння навіть скоростиглих сортів за вегетаційний період потрібно сума середньодобових температур вище 10°C від $1600-1800^{\circ}\text{C}$ до $2000-2300^{\circ}\text{C}$. Тому на північ від 56° північної широти олійний соняшник не вирощують. При рівних умовах водозабезпеченості рослин, за даними Д.І. Шашко і В.А. Смирнової, виявляється підвищення врожайності в міру поліпшення теплозабезпечення вегетаційного періоду.

3.2 Розрахунки і аналіз можливої урожайності посівів соняшника у Північно-причорноморському районі в залежності від температурного режиму

При високому рівні агротехніки досягнення урожайності відповідної потенційної можливості сортів обмежується кліматичними умовами району, тобто прогнозований рівень урожайності не повинен перевищувати величину урожаю, що забезпечується кліматичними факторами. Під кліматично забезпеченим урожаєм розуміють такий рівень урожайності, який можна досягти в ідеальних ґрунтових і агротехнічних умовах, при обмеженій дії різних метеорологічних чинників. Рівень кліматично забезпеченого урожаю завжди менше потенційно можливого. Основним лімітуючим фактором є волога, але вельми важливими є і теплові ресурси агрокліматичних районів [20].

В роботі виконані розрахунки можливого урожаю всієї біомаси посівів в залежності від середньої багаторічної температури повітря.

За допомогою підмоделі, що описана в розділі 2 проведені чисельні розрахунки можливого урожаю з урахуванням фактичної середньої багаторічної температури повітря за період з 1986 по 2010 рр.

Розраховано очікуваний можливий урожай за період з 2021 по 2050 рр. по даним середніх багаторічних температур сценаріїв зміни клімату RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8..

3.2.1 Аналіз можливої урожайності соняшника у лісостеповій зоні

В даний час сіяти соняшник в зоні Лісостепу починають в середньому в другій декаді квітня, за сценаріями зміни клімату RCP2.6 і RCP6.0 (табл.3.1) сіяти будуть дещо раніше (на 7-8дней), а за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 пізніше на 10-14 днів.

Сіяти соняшник починають при середній температурі повітря $8,4^{\circ}\text{C}$, сходи з'являються при температурі $13,2^{\circ}\text{C}$, коли сума ефективних температур становить 80°C , середня температура повітря на початок цвітіння дорівнює $19,3^{\circ}\text{C}$ (рис. 3,1А), сума ефективних температур становить 615°C .

Максимальний приріст фактичної можливої урожайності на фазу цвітіння становить 106 г/м^2 . За сценарієм RCP2.6 максимальний приріст можливої урожайності при середній температурі повітря $21,1^{\circ}\text{C}$ буде вище (126 г/м^2).

Середня температура повітря за період сівба - збиральна стиглість, яка в даний час в середньому становить $16,2^{\circ}\text{C}$, за сценарієм RCP2.6 очікується на $2,1^{\circ}\text{C}$ вище (табл.3.1).

Підвищений температурний режим за період вегетації практично не позначиться на метеорологічно-можливому урожаї (95 ц/га проти 98 ц/га).

За кліматичним сценарієм RCP4.5 температура на дату сівби становитиме $8,8^{\circ}\text{C}$, що незначно вище фактичної (рис. 3.2А). Максимальній приріст можливої урожайності на період цвітіння при середній температурі повітря $19,9^{\circ}\text{C}$ очікується 114 г/м^2 , що трохи нижче за фактичний (рис. 3.2Б).

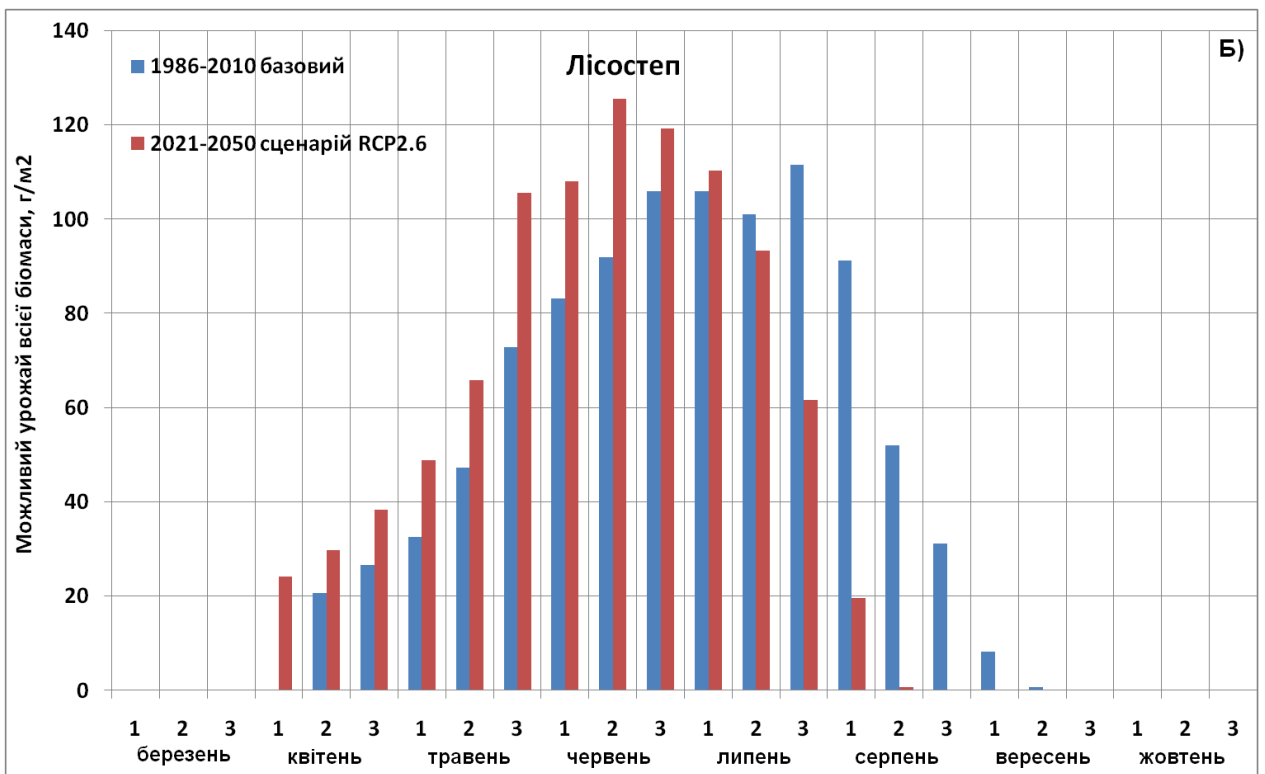
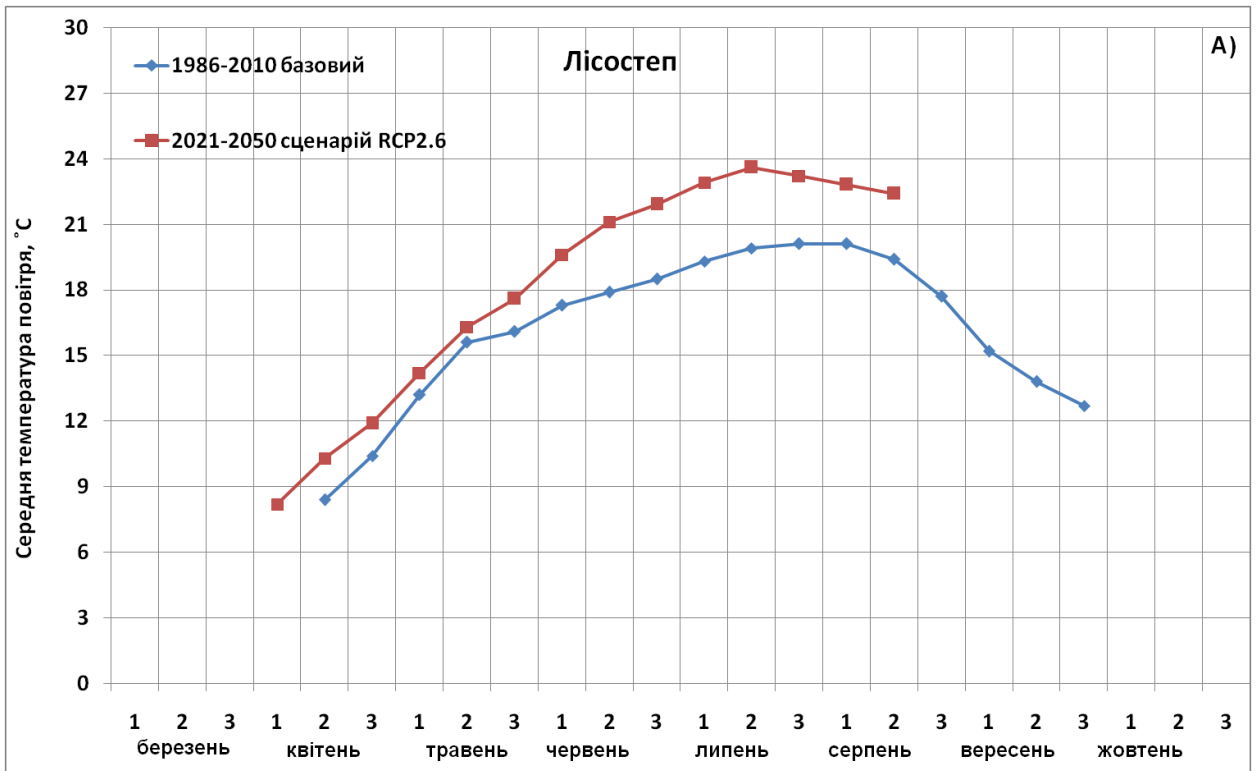


Рисунок 3.1 – Динаміка: А) середньої температури повітря, °С і Б) приростів можливого урожаю всієї маси (ΔМУ), г/м² в період сівба – збиральна стиглість в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних RCP2.6. Лісостепова зона Північного Причорномор'я

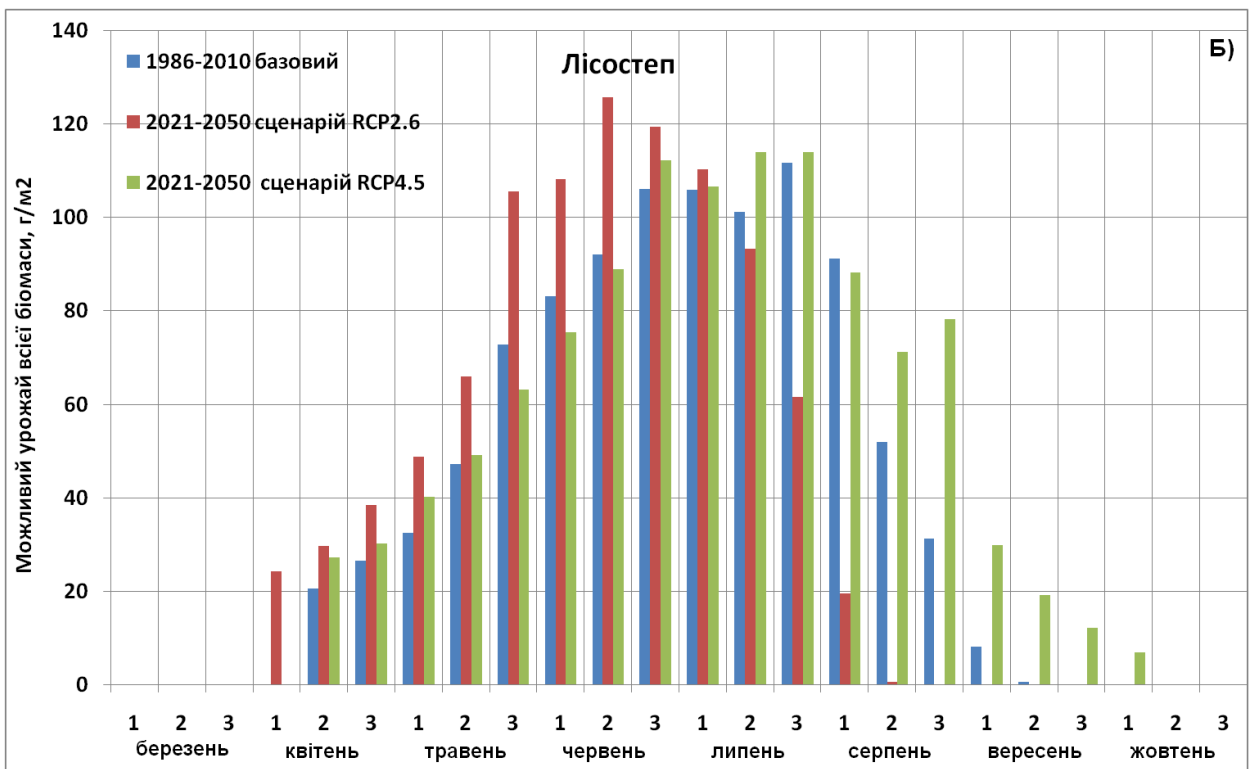
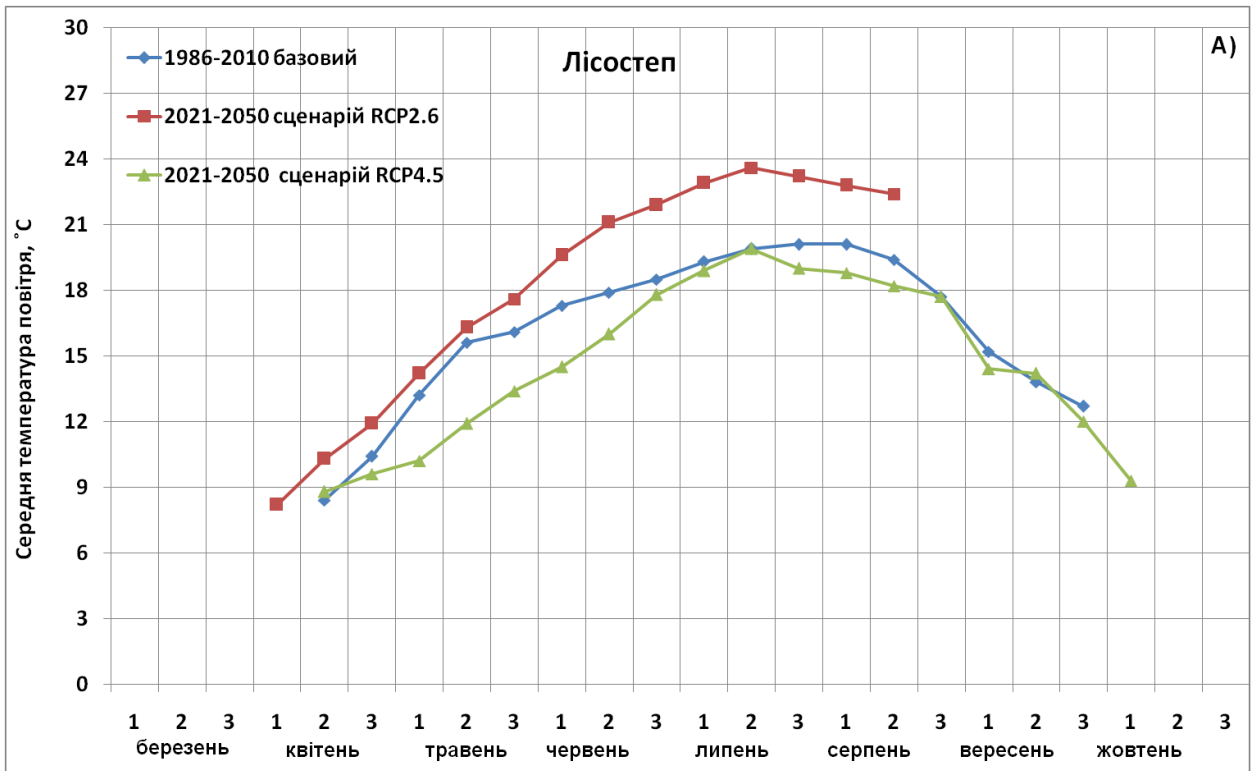


Рисунок 3.2 – Динаміка: А) середньої температури повітря, °С і Б) приростів можливого урожаю всієї маси (ΔМУ), г/м² в період сівба – збиральна стиглість в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних RCP2.6 і RCP4.5. Лісостепова зона Північного Причорномор'я

Температурний режим за кліматичним сценарієм RCP4.5 в період сівба - збиральна стиглість соняшнику буде зниженим в порівнянні з фактичним (на 14,7°C проти 16,2°C), ще більш низьким (на 3,6°C) він очікується в порівнянні зі сценарієм RCP2.6. Рівень МУ становитиме 113 ц/га всієї сухої рослинної маси (табл.3.1), що значно більше, ніж рівень МУ посівів при фактичному середньо багаторічному тепловому режимі (98 ц/га). Слід зазначити, що в порівнянні з розрахованими значеннями МУ посівів за сценарієм RCP2.6, рівень МУ посівів за сценарієм RCP4.5 очікується значно вище (на 18ц/га).

За сценарієм RCP6.0 сіяти будуть при температурі 8,6°C (рис. 3.3А), при середній температурі повітря в період цвітіння 21,2°C приріст можливого урожаю (рис. 3.3Б) буде вище за фактичний (125 г/м² проти 106 г/м²).

Температурний режим в період сівба - збиральна стиглість за сценарієм RCP6.0 буде підвищеним в порівнянні з фактичним середнім багаторічним на 2,2°C (табл. 3.1), в порівнянні з сценарними даними RCP2.6 середня за період сівба - сходи температура повітря буде на 0,1 °C вище, в той же час в порівнянні з сценарними даними RCP4.5 температура буде на 3,7°C вище.

Підвищений температурний практично не позначиться на метеорологічно-можливому урожаї (97 ц/га проти 98 ц/га). Однак він буде нижче МУ за сценарними даними RCP4.5 (на 18 т/га).

За кліматичним сценарієм RCP8.5 сіяти будуть при температурі 9,5°C (рис. 3.4А), при середній температурі повітря в період цвітіння 19,7°C приріст можливого урожаю (рис. 3.4Б) буде вище за фактичний (111 г/м² проти 106 г/м²).

Температурний режим за кліматичним сценарієм RCP8.5 в період посів - збиральна стиглість буде зниженим в порівнянні з фактичним середнім багаторічним (на 15,3°C проти 16,2°C), ще більш низьким (на 3,0°C і 3,1°C) він очікується в порівнянні з сценаріями RCP2.6 і RCP6.0, і на 0,6°C вище в порівнянні з температурою за сценарієм RCP4.5.

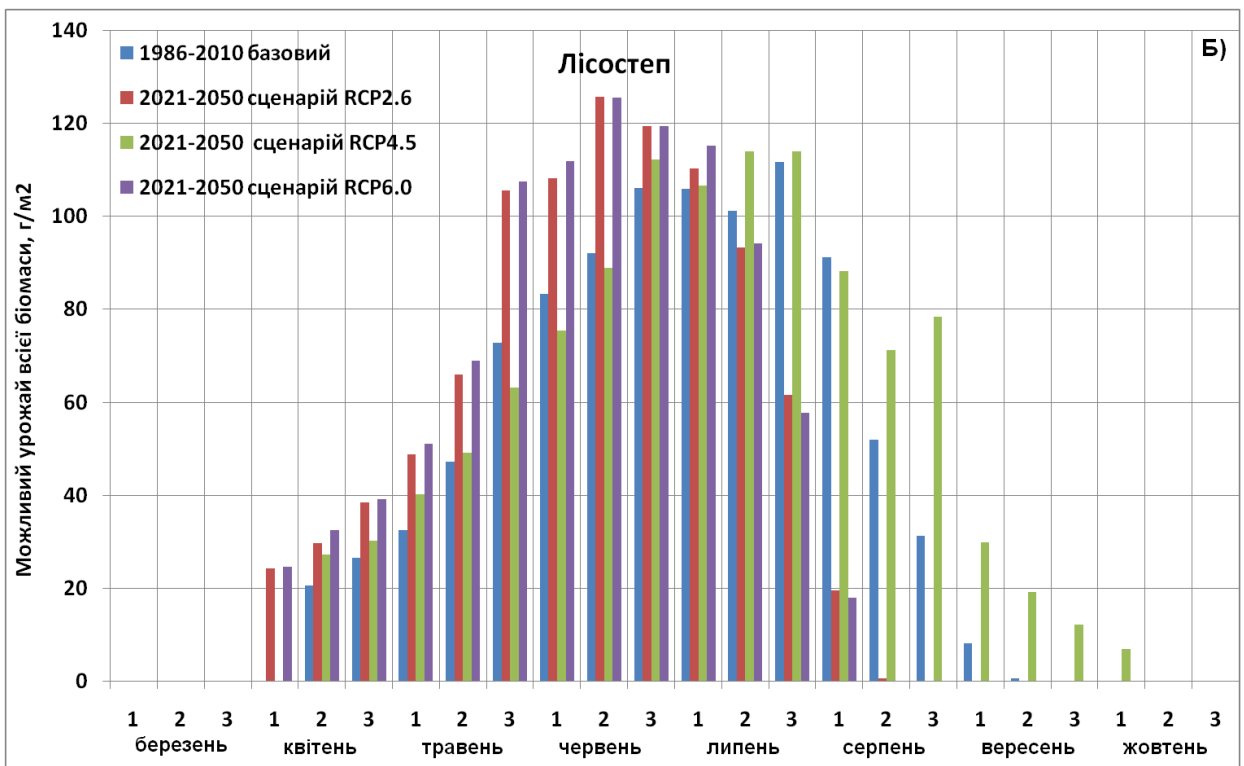
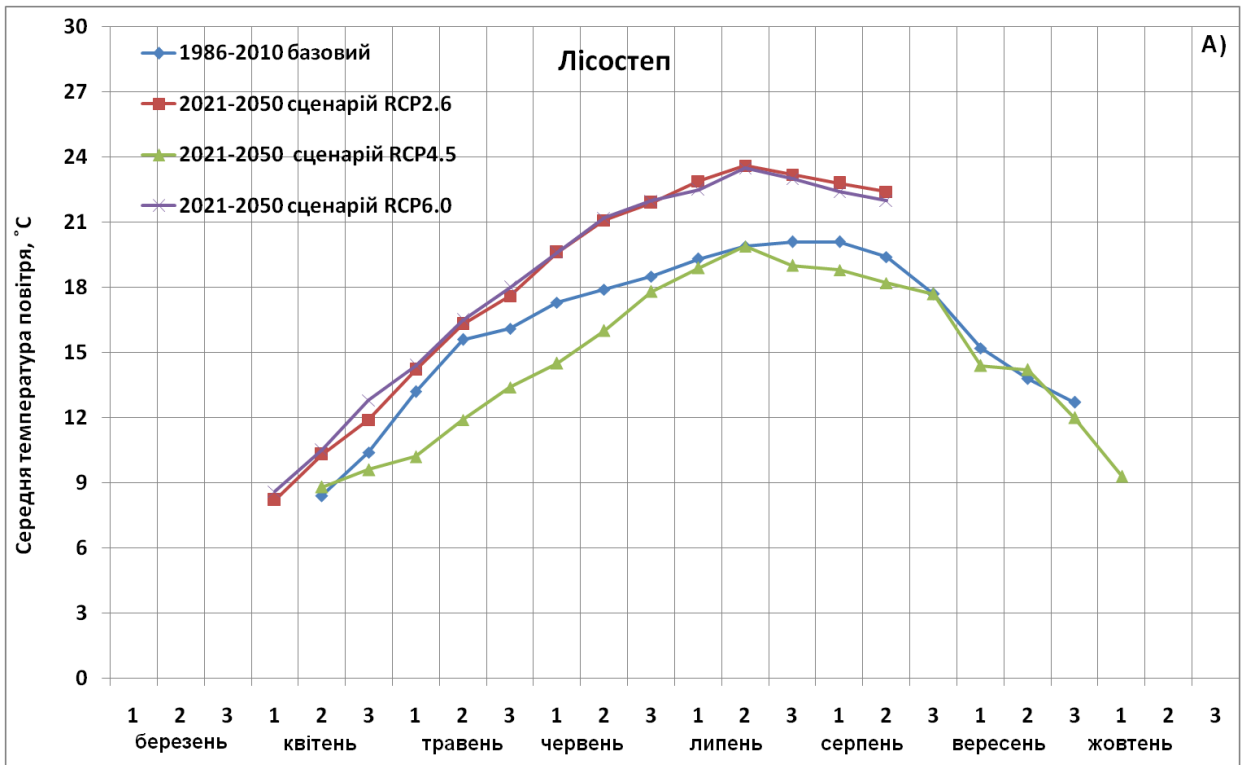


Рисунок 3.3 – Динаміка: А) середньої температури повітря, °С і Б) приростів можливого урожаю (ДМУ), г/м² в період сівба – збиральна стиглість в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних RCP2.6, RCP4.5 і RCP6.0. Лісостепова зона Північного Причорномор'я

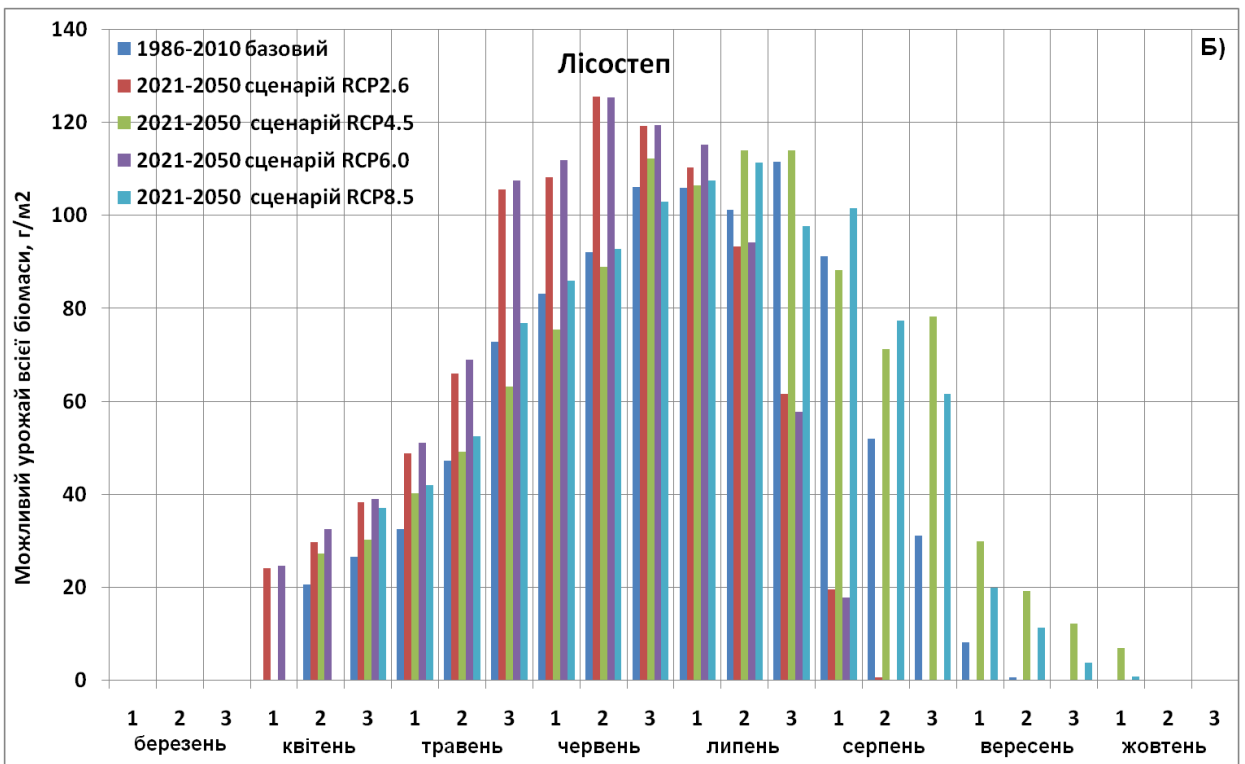
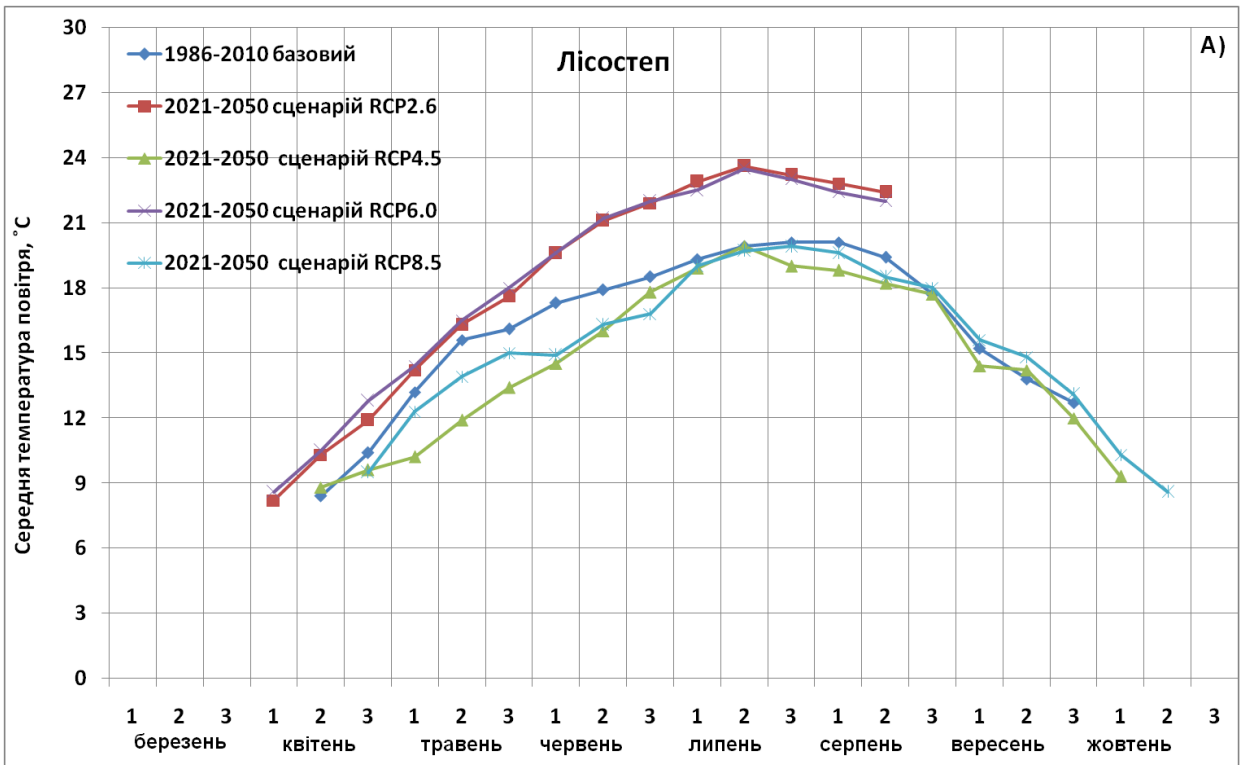


Рисунок 3.4 – Динаміка: А) середньої температури повітря, °С і Б) приростів можливого урожаю (ΔМУ), г/м² в період сівба – збиральна стиглість в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 і RCP8.5. Лісостепова зона Північного Причорномор'я

Таблиця 3.1 – Формування можливого урожаю соняшника в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних в залежності від температурного режиму Лісостепова зона Північного Причорномор'я

(вегетаційний період сівба – збиральна стиглість)

Період	Дата сівби	Середня температура повітря за період (Тср.), °С	Випаровуваність за період, (E ₀), мм	Можливий урожай всієї маси (МУ), ц/га	Період вегетації, дні
Базовий					
1980-2010	11.04	16,2	562	98	164
Сценарій RCP2.6					
2021-2050	04.04	18,3	640	95	133
Сценарій RCP4.5					
2021-2050	25.04	14,7	498	113	168
Сценарій RCP6.0					
2021-2050	03.04	18,4	672	97	133
Сценарій RCP8.5					
2021-2050	21.04	15,3	564	108	182

При даному температурному режимі рівень МУ становитиме 108 ц/га всієї сухої рослинної маси (табл. 3.1), що значно більше, ніж рівень ММУ посівів при фактичних середніх багаторічних умовах (на 10 ц/га). Потрібно відзначити, що в порівнянні з розрахованими значеннями ММУ посівів за сценаріями RCP2.6 і RCP6.0, рівень МУ посівів за сценарієм RCP8.5 буде вище (на 11-13 ц/га) і трохи нижче рівня МУ посівів за сценарієм RCP4.5 (на 5 ц/га).

Відомо, що температура опосередковано впливає на вологопотребу рослин. Розрахунки показали, що вологопотреба соняшника за фактичним температурним режимом становить 562 мм, за рахунок збільшення температури повітря за сценаріями RCP2.6 і RCP6.0 вологопотреба також збільшиться (на 14-20%). За сценарієм RCP4.5 за рахунок зниження температурного режиму волого потреба буде нижче (88% від фактичної), а за сценарієм RCP8.5 дорівнювати фактичній.

3.2.2 Аналіз можливої урожайності соняшника у північно-степовій підзоні

Сіяти соняшник в північно-степовій зоні за фактичними середніми багаторічними даними починають на початку квітня, за сценаріями зміни клімату RCP2.6 і RCP6.0 (табл. 3.2) сіятимуть дещо раніше (1-2 квітня проти 7 квітня), за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 на 5-6 днів пізніше.

Сіяти соняшник починають при середній температурі повітря $9,7^{\circ}\text{C}$, сходи з'являються при температурі $13,8^{\circ}\text{C}$, коли сума ефективних температур становить 100°C , середня температура повітря на початок цвітіння дорівнює $20,3^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.5А), сума ефективних температур становить 648°C .

Максимальний приріст фактичної можливої урожайності на фазу цвітіння становить 106 г/м^2 . За сценарієм RCP2.6 (рис. 3.5Б). максимальний приріст можливої урожайності при середній температурі повітря $22,7^{\circ}\text{C}$ буде вище (114 г/м^2).

Середня за період сівба – збиральна стиглість температура повітря, яка в даний час складає $18,2^{\circ}\text{C}$, за сценарієм RCP2.6 очікується на $0,7^{\circ}\text{C}$ вище.

Температурний режим за сценарієм RCP2.6 зумовлять трохи вище рівень метеорологічно-можливої урожайності всієї сухої маси в порівнянні з фактичною середньою багаторічною (83 ц/га проти 81 ц/га).

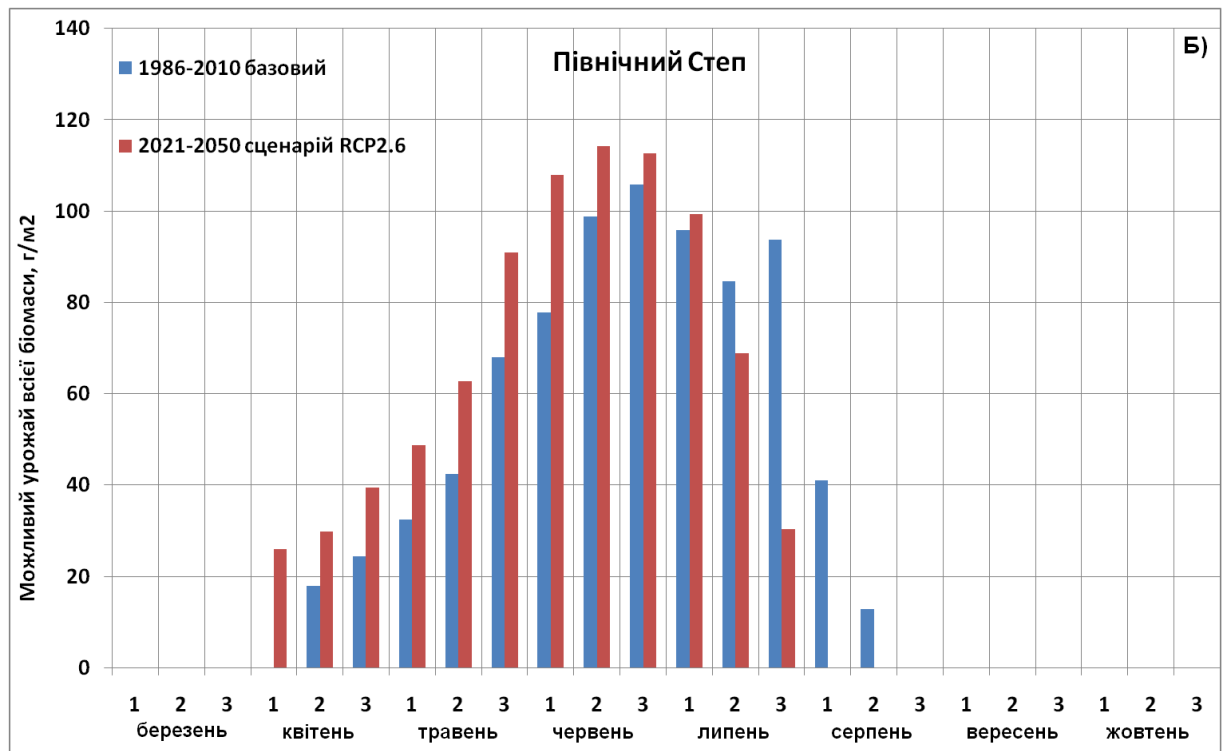
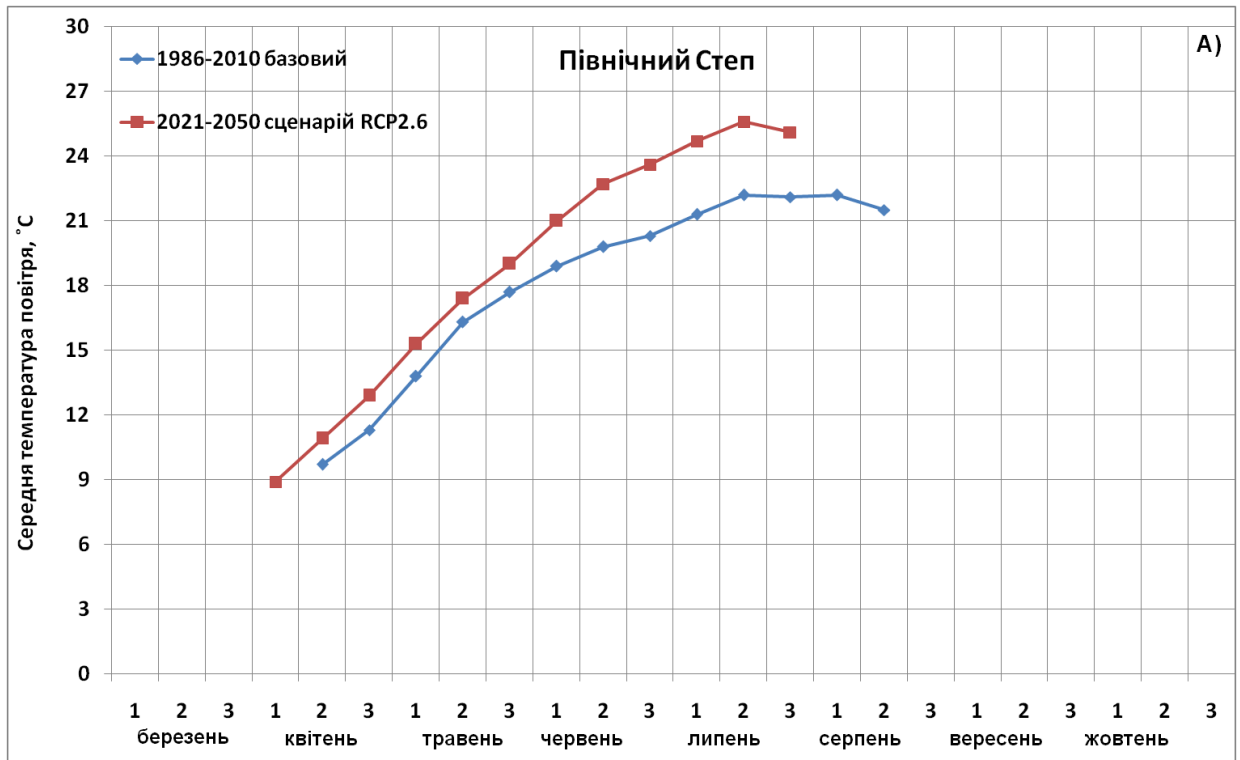


Рисунок 3.5 – Динаміка: А) середньої температури повітря, °С і Б) приростів можливого урожаю всієї маси (ДМУ), г/м² в період сівба – збиральна стиглість в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних RCP2.6. Північне Причорномор'я. Північно-степова підзона

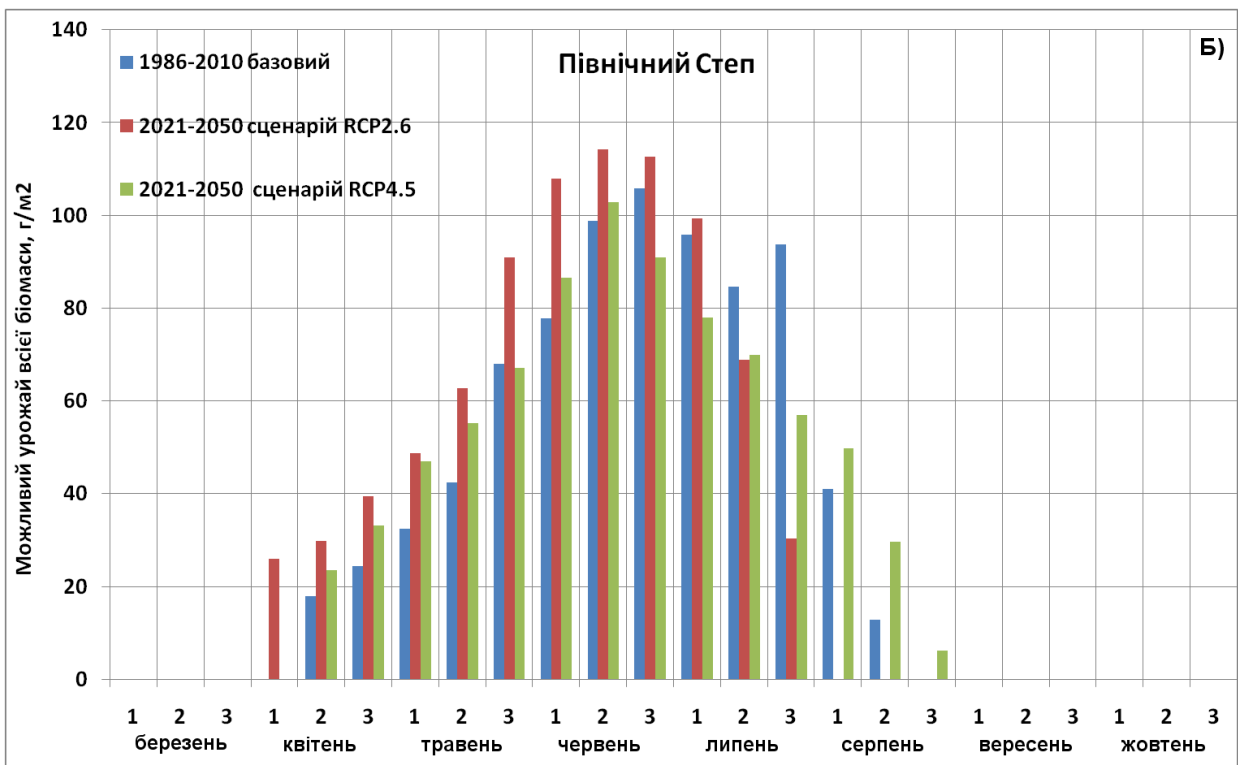
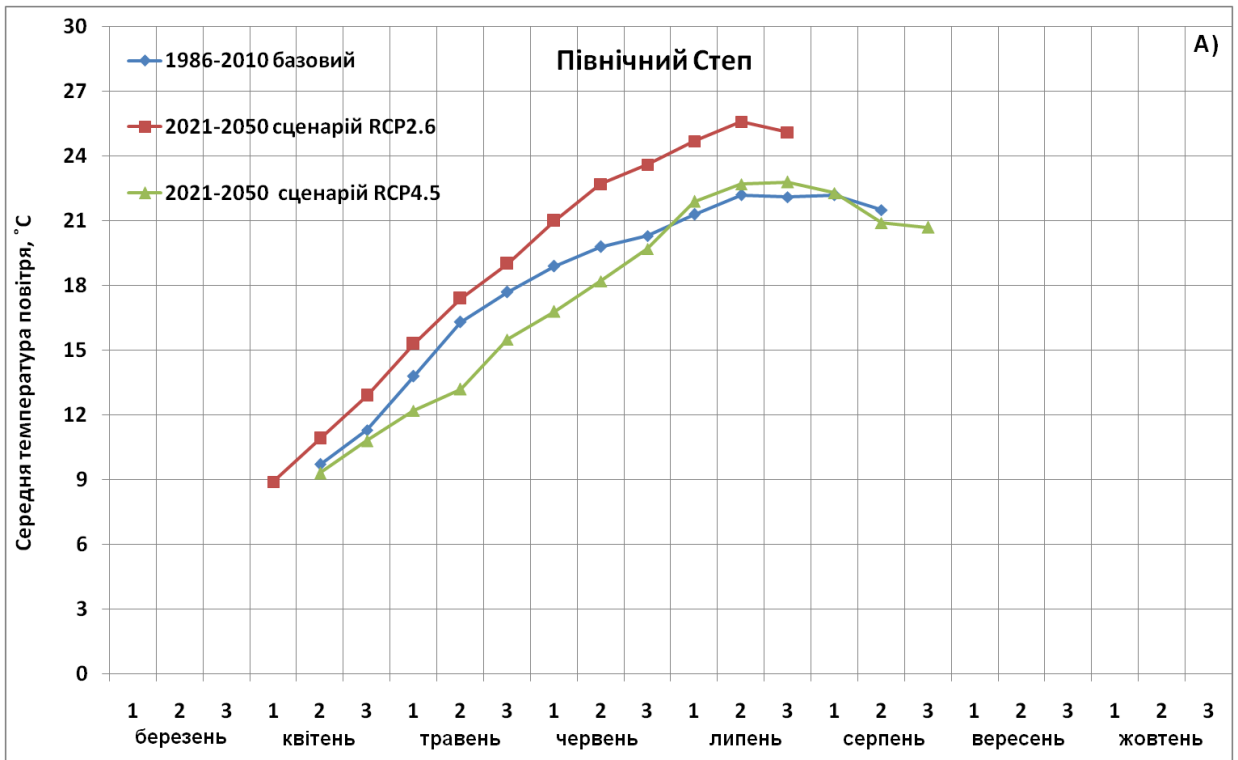


Рисунок 3.6 – Динаміка: А) середньої температури повітря, °С і Б) приростів можливого урожаю всієї маси (ΔМУ), г/м² в період сівба – збиральна стиглість в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних RCP2.6 і RCP4.5. Північне Причорномор'я. Північно-степова підзона

За кліматичним сценарієм RCP4.5 температура на дату сівби становитиме $9,3^{\circ}\text{C}$, що незначно нижче фактичної (рис. 3.6А). Максимальній приріст можливої урожайності на період цвітіння при середній температурі повітря $19,7^{\circ}\text{C}$ очікується 103 г/м^2 , що трохи нижче за фактичний (рис. 3.6Б).

Температурний режим за період від посіву до збиральної стиглості за кліматичним сценарієм RCP4.5 в порівнянні з фактичним буде знижений на $0,6^{\circ}\text{C}$, а в порівнянні з температурним режимом за сценарієм RCP2.6 на $1,3^{\circ}\text{C}$.

У таких умовах фотосинтетичної діяльності посівів рівень МУ становитиме 99% від фактичного середнього багаторічного і 96% від можливого урожаю за сценарієм RCP2.6.

За сценарієм RCP6.0 сіяти будуть при температурі $9,2^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.7А), при середній температурі повітря в період цвітіння $22,9^{\circ}\text{C}$ максимальний приріст можливого урожаю (рис. 3.7Б) буде вище за фактичний (117 г/м^2 проти 106 г/м^2).

Середня температура повітря за сценарієм RCP6.0 за період сівба – збиральна стиглість очікується вище фактичної на $0,8^{\circ}\text{C}$, вона буде трохи вище в порівнянні з температурою за сценарієм RCP2.6 (на $0,1^{\circ}\text{C}$) і значно вище в порівнянні з сценарною величиною RCP4.5 (на $2,4^{\circ}\text{C}$).

При таких агрокліматичних умовах рівень МУ становитиме 84 ц/га всієї сухої рослинної маси, що трохи вище фактичної середньої багаторічної (на 4%).

Рівень МУ посівів за сценарієм RCP6.0 в порівнянні з величиною за сценаріями RCP2.6 і RCP4.5 буде дещо вищою (на 1-4 т/га). У порівнянні з сценарними даними RCP4.5 її рівень на 3 т/га буде вище (табл. 3.2).

За кліматичним сценарієм RCP8.5 сіяти будуть при температурі $8,7^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.8А), при середній температурі повітря в період цвітіння $19,9^{\circ}\text{C}$ приріст можливого урожаю (рис. 3.8Б) буде вище за фактичний (113 г/м^2 проти 106 г/м^2).

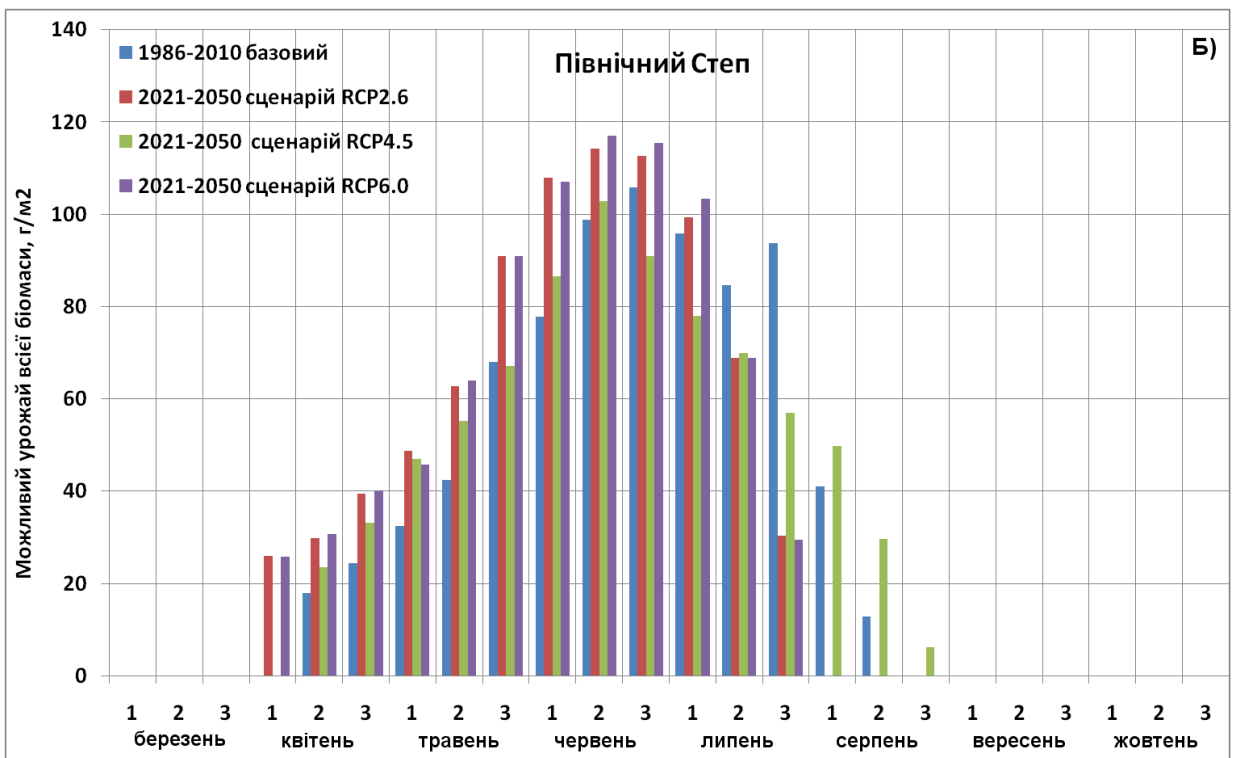
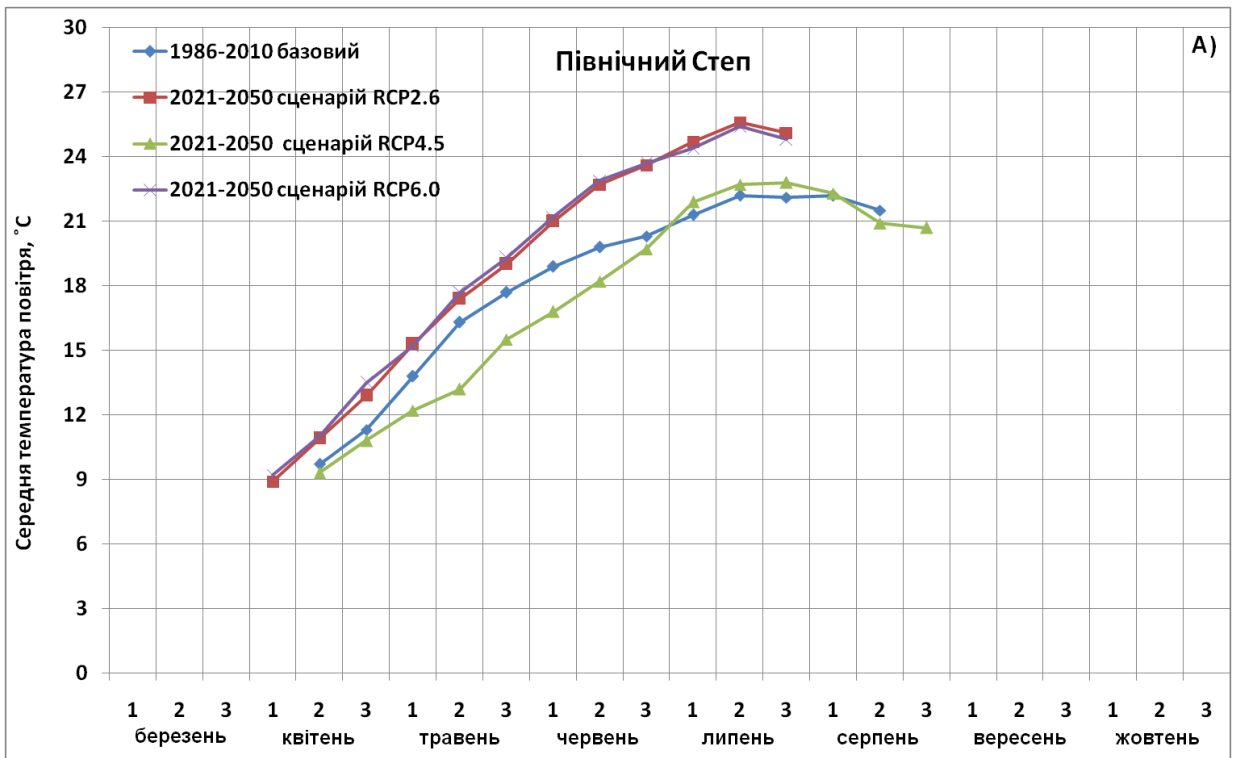


Рисунок 3.7 – Динаміка: А) середньої температури повітря, °С і Б) приростів можливого урожаю всієї маси (ΔМУ), г/м² в період сівби – збирання стиглості в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних RCP2.6, RCP4.5 і RCP6.0. Північне Причорномор'я. Північно-степова підзона

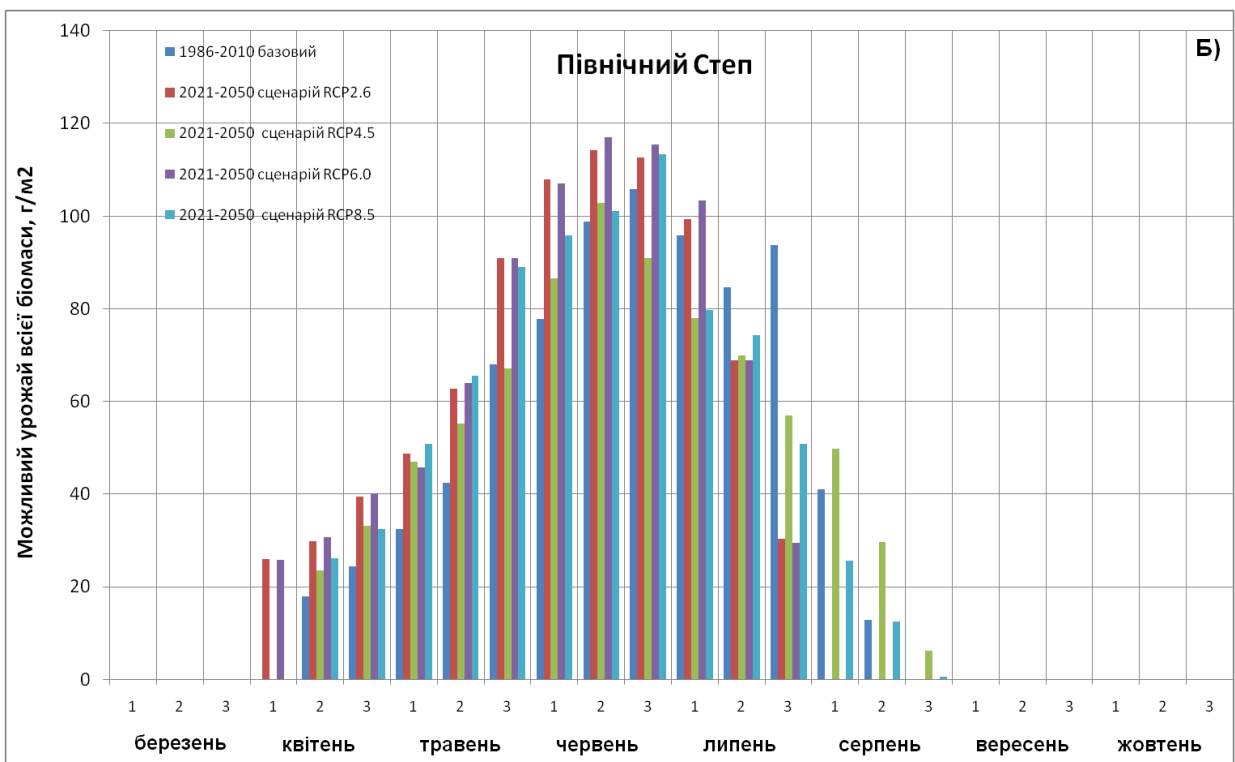
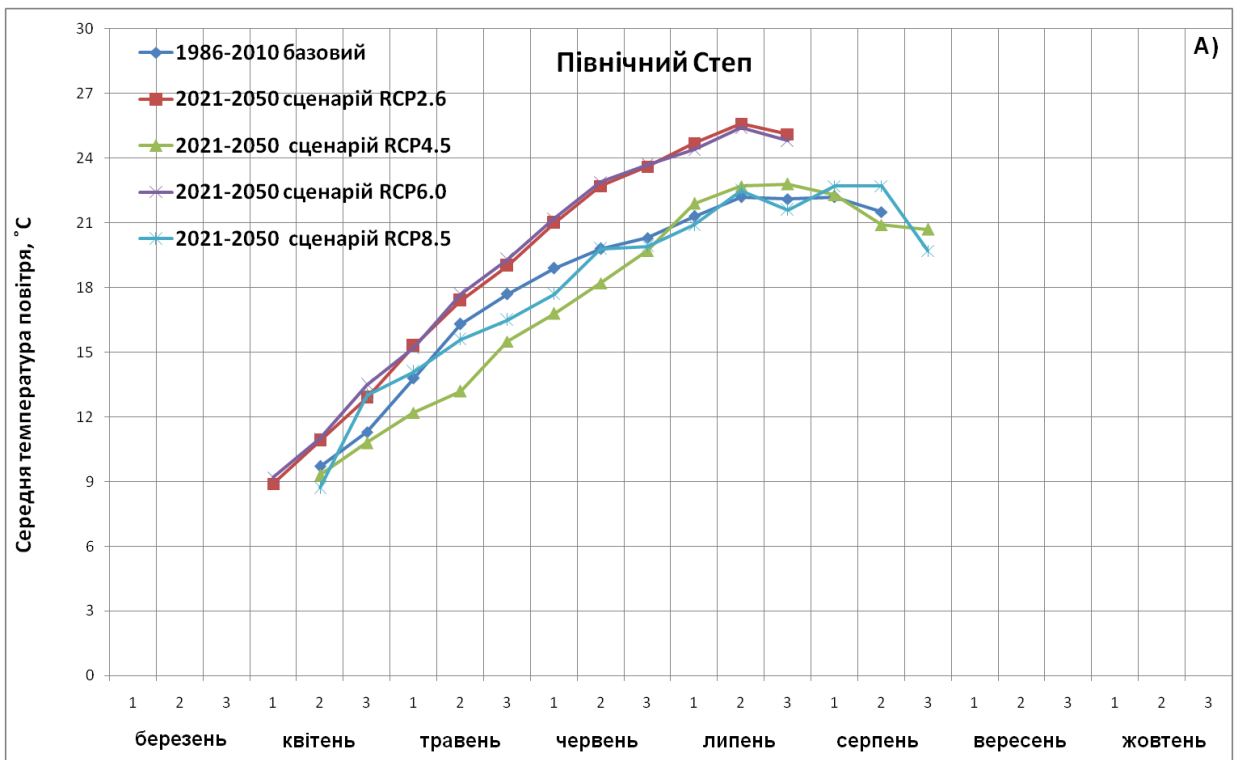


Рисунок 3.8 – Динаміка: А) середньої температури повітря, °С і Б) приростів можливого урожаю всієї маси (ΔМУ), г/м² в період сівба – збиральна стиглість в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 і RCP8.5. Північне Причорномор'я . Північно-степова підзона

Температурний режим за досліджуваний період очікується схожим з фактичним середнім багаторічним (табл. 3.2). У порівнянні з температурним режимом за сценарієм RCP4.5 він буде тепліше (на 0,6° C). У порівнянні з температурою повітря за сценаріями RCP2.6 і RCP6.0 вона буде на 0,7-0,8° C нижче.

Таблиця 3.2 – Формування можливого урожаю соняшника в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних в залежності від температурного режиму Північне Причорномор'я. Північно-степова підзона

(вегетаційний період сівба – збиральна стиглість)

Період	Дата сівби	Середня температура повітря за період (Т _{ср.}), °C	Випаровуваність за період, (E ₀), мм	Можливий урожай всієї маси (МУ), ц/га	Період вегетації, дні
Базовий					
1980-2010	07.04	18,3	565	81	140
Сценарій RCP2.6					
2021-2050	02.04	18,9	671	83	124
Сценарій RCP4.5					
2021-2050	13.04	17,6	630	80	142
Сценарій RCP6.0					
2021-2050	01.04	19,0	664	84	124
Сценарій RCP8.5					
2021-2050	21.04	18,2	540	82	137

При такому тепловому режимі фотосинтетичної діяльності посівів рівень МУ становитиме 82 ц/га всієї сухої рослинної маси, тобто очікується відповідним з рівнем при фактичних умовах. У порівнянні з рівнем МУ за

сценаріями RCP2.6 і RCP6.0 він очікується трохи нижче (97-98%), у порівнянні з сценарними даними RCP4.5 він буде на 3% вище.

Вологопотреба соняшника за фактичним температурним режимом становить 565 мм, за рахунок збільшення температури повітря за сценаріями RCP2.6 і RCP6.0 вологопотреба також збільшиться (на 18-19%). За сценарієм RCP4.5 вологопотреба буде більшою на 12%, а за сценарієм RCP8.5 дорівнювати фактичній.

3.2.3 Аналіз можливої урожайності соняшника у південно-степовій підзоні

Сіяти соняшник у південно-степовій підзоні за фактичними середніми багаторічними даними в південно-степовій зоні починають на початку квітня, за сценаріями змін клімату RCP2.6 і RCP6.0 (табл. 3.3) сіятимуть раніше на 11-14 днів і трохи пізніше (на 4-5 днів) за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5.

Сіяти соняшник починають при середній температурі повітря 8,3°C, сходи з'являються при температурі 12,8 °C, коли сума ефективних температур становить 100°C, середня температура повітря на початок цвітіння дорівнює 21,4°C (рис. 3.9А), сума ефективних температур становить 684°C.

Максимальний приріст фактичної можливої урожайності на фазу цвітіння становить 72 г/м². За сценарієм RCP2.6 (рис. 3.9Б). максимальний приріст можливої урожайності при середній температурі повітря 23,7°C буде вище (77 г/м²).

Середня температура повітря за період сівба – збиральна стиглість, яка за фактичними середніми багаторічними склала 18,2°C, за сценарієм RCP2.6 очікується на 1,0 °C вище.

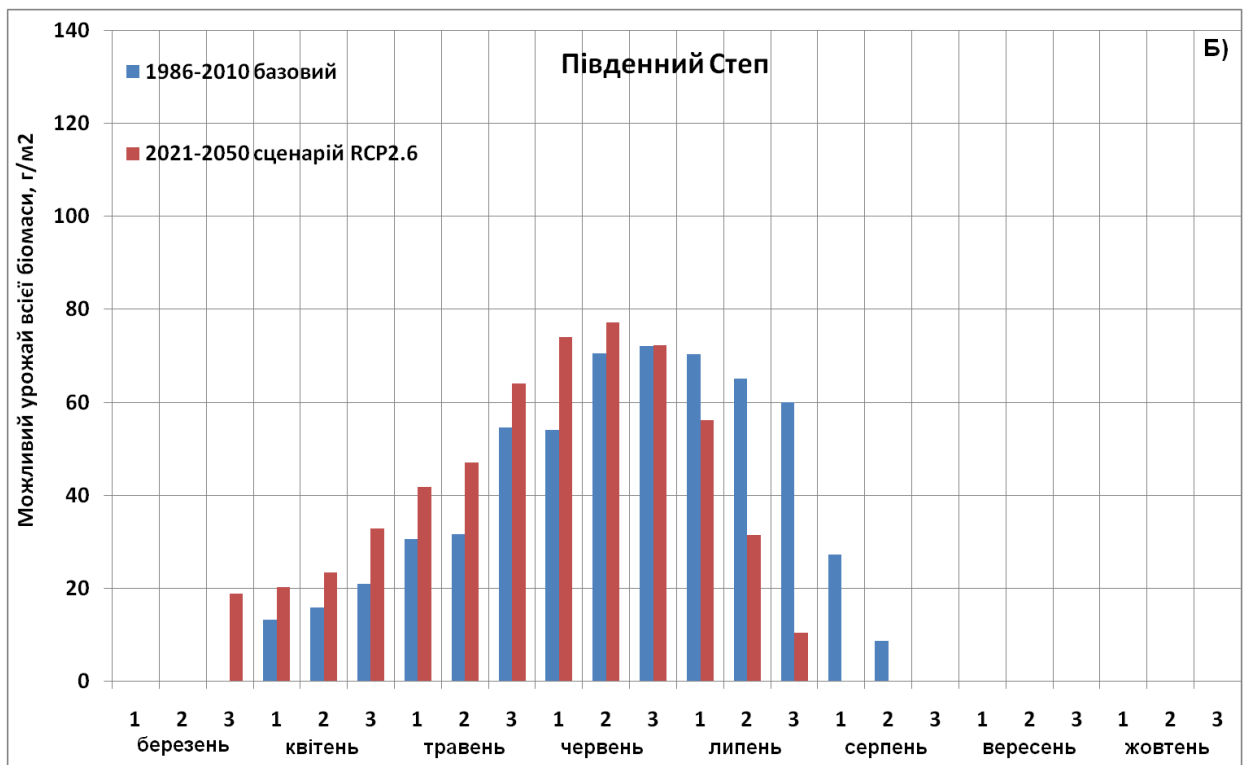
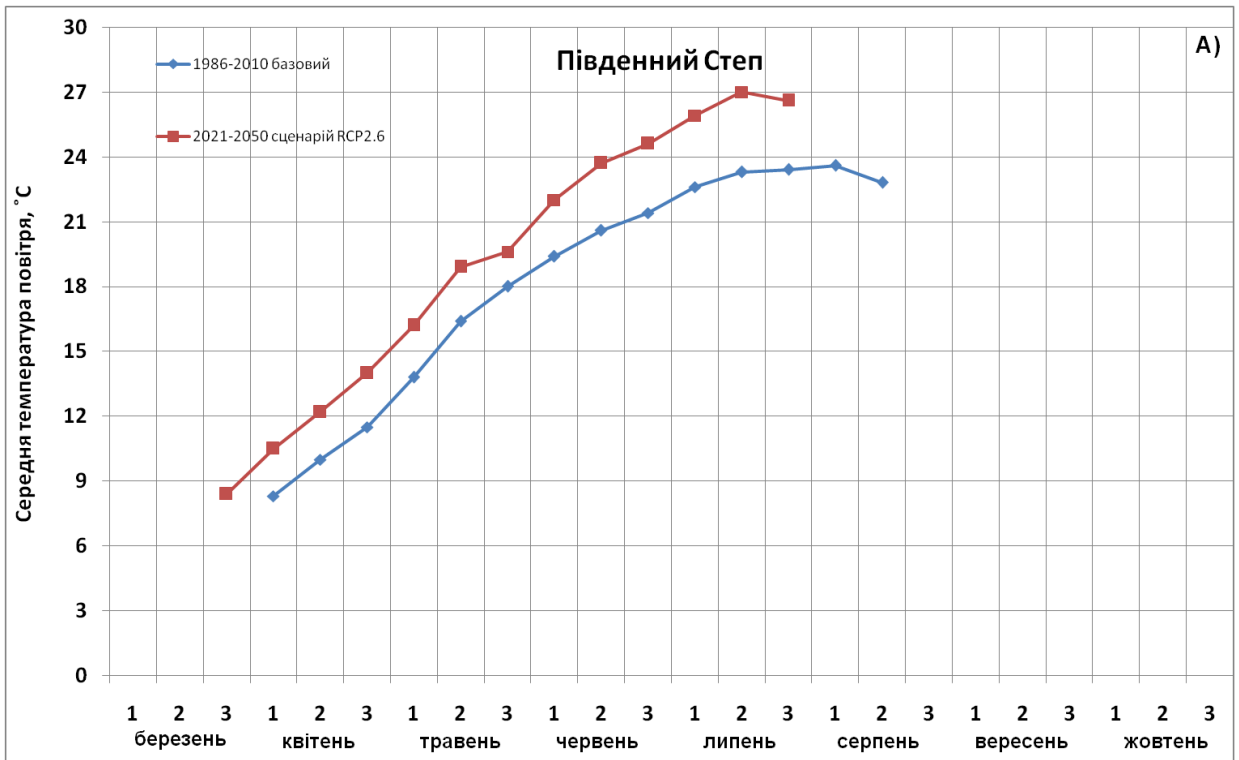


Рисунок 3.9 – Динаміка: А) середньої температури повітря, °С і Б) приростів можливого урожаю всієї маси (ΔМУ), г/м² в період сівба – збиральна стиглість в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних RCP2.6. Північне Причорномор'я. Південно-степова підзона

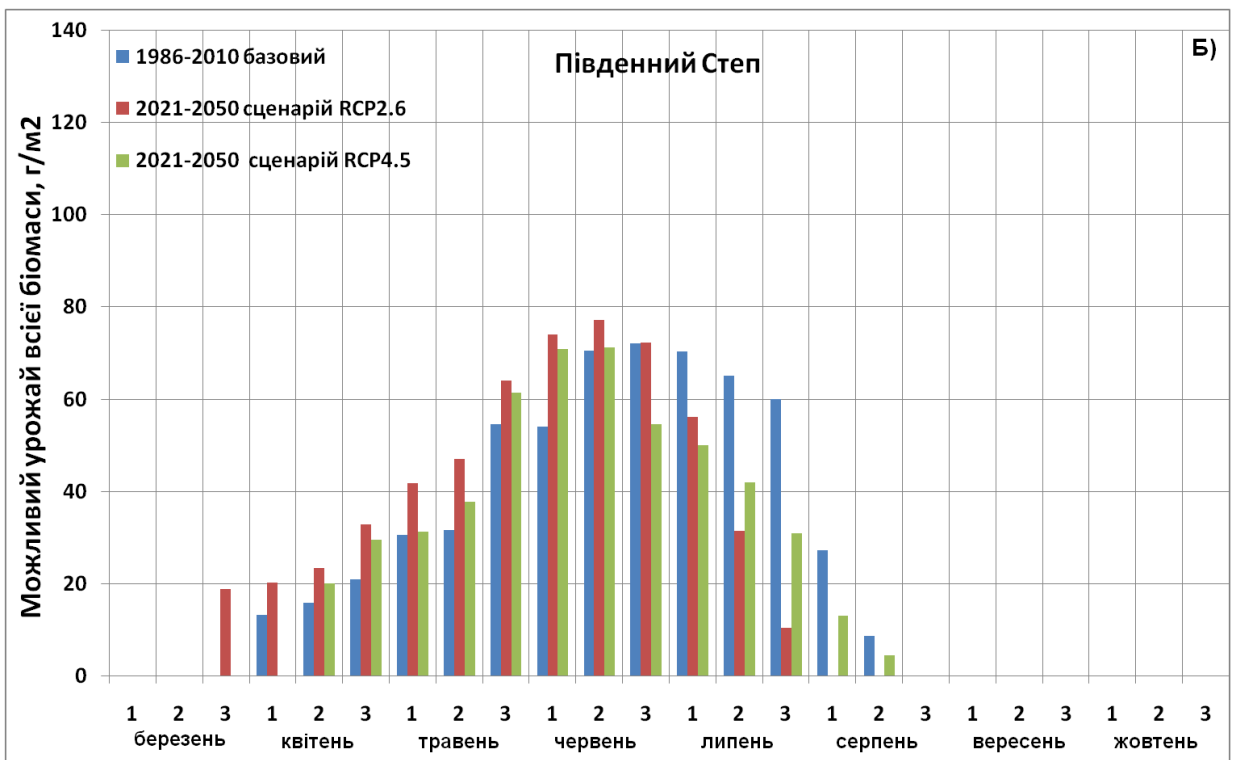
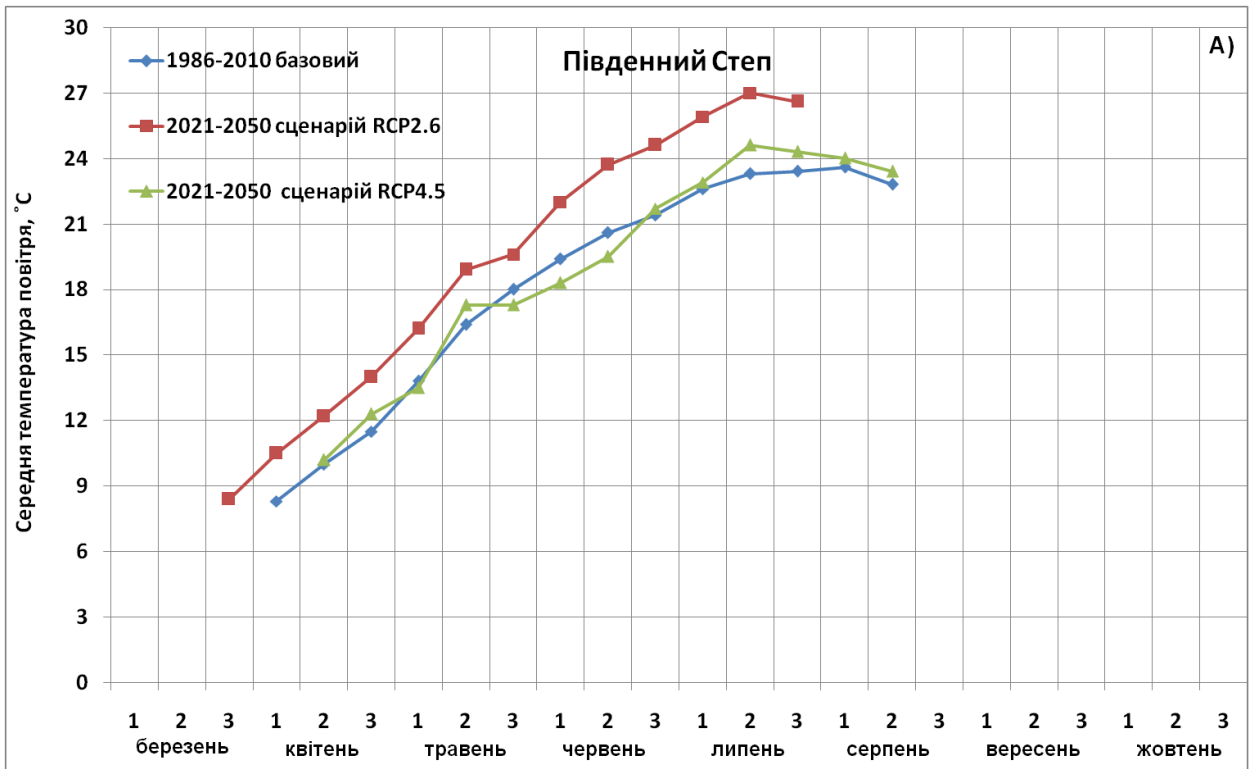


Рисунок 3.10 – Динаміка: А) середньої температури повітря, °С і Б) приростів можливого урожаю всієї маси (ΔМУ), г/м² в період сівба – збиральна стиглість в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних RCP2.6 і RCP4.5. Північне Причорномор'я. Південно-степова підзона

Температурний режим за сценарієм RCP2.6 обумовить трохи нижче рівень метеорологічно-можливого урожаю в порівнянні з фактичним середнім багаторічним (57 ц/га проти 59 ц/га).

За кліматичним сценарієм RCP4.5 температура на дату сівби становитиме 10,2°C, що вище фактичної на 1,9 °C (рис. 3.10А). Максимальній приріст можливої урожайності на період цвітіння при середній температурі повітря 19,5°C очікується 71 г/м², що дорівнює фактичному (рис. 3.10Б).

Середня температура за період сівба - збиральна стиглість за сценарієм RCP4.5 в порівнянні з фактичною очікується так само вище на 1,0°C і буде дорівнювати середній температурі за сценарієм RCP2.6 (табл. 3.3).

В даних умовах фотосинтетичної діяльності посівів метеорологічно-можлива урожайність становитиме 88% від фактичної середньої багаторічної і 91% від МУ за сценарієм RCP2.6.

За сценарієм RCP6.0 сіяти будуть при температурі 8,8°C (рис. 3.11А), при середній температурі повітря в період цвітіння 23,8°C максимальний приріст можливої урожайності всієї маси (рис. 3.11Б) буде трохи вище за фактичний (78 г/м² проти 72 г/м²).

Температурний режим за сценарієм RCP6.0 за період від посіву до збиральної стиглості буде підвищеним в порівнянні з фактичним (на 1,2°C), трохи вище він буде і в порівнянні з температурним режимом попередніх двох сценаріїв (на 0,2°C).

При таких умовах теплозабезпеченості посівів рівень МУ становитиме 58 ц/га (98% від фактичної).

За кліматичним сценарієм RCP8.5 сіяти будуть при температурі 8,9°C (рис. 3.12А), при середній температурі повітря в період цвітіння 20,9°C приріст можливого урожаю (рис. 3.12Б) буде нижче за фактичний (63 г/м² проти 72 г/м²).

Середня за період вегетації від сівби до збиральної стиглості температура повітря за сценарієм RCP8.5 буде на 0,7°C вище фактичної

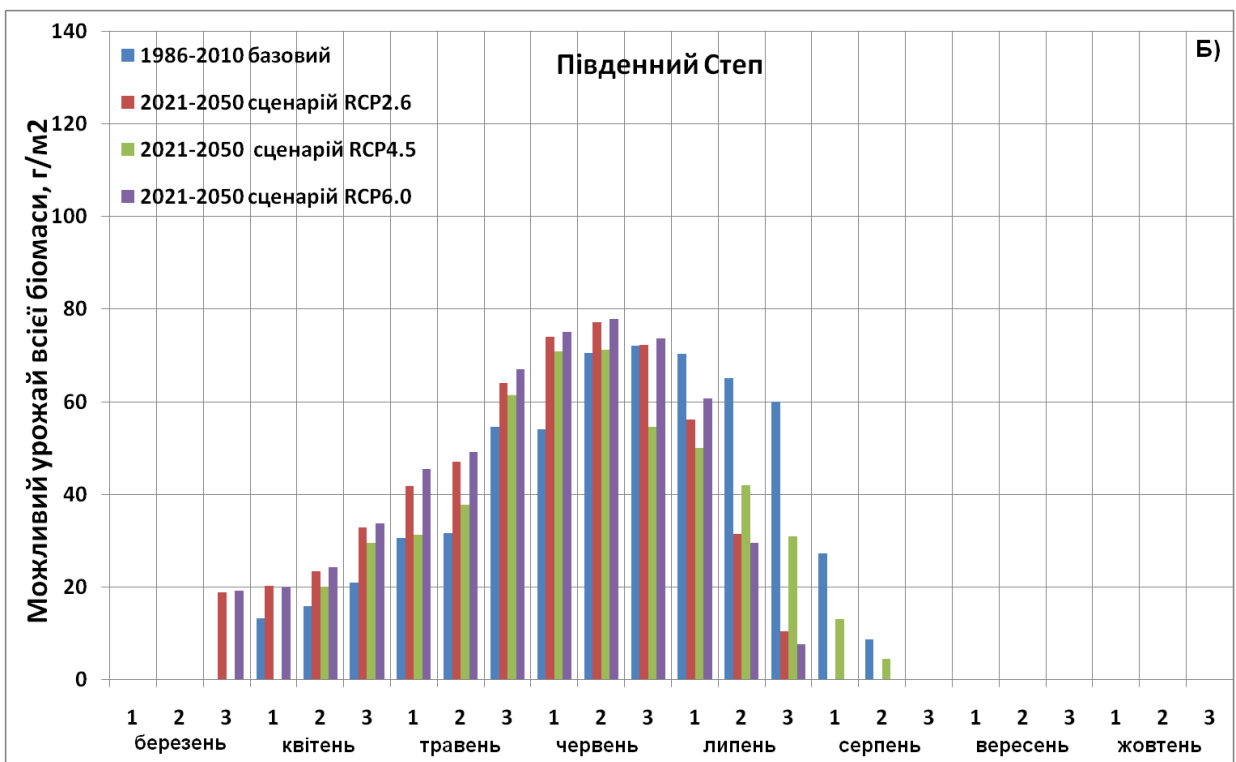
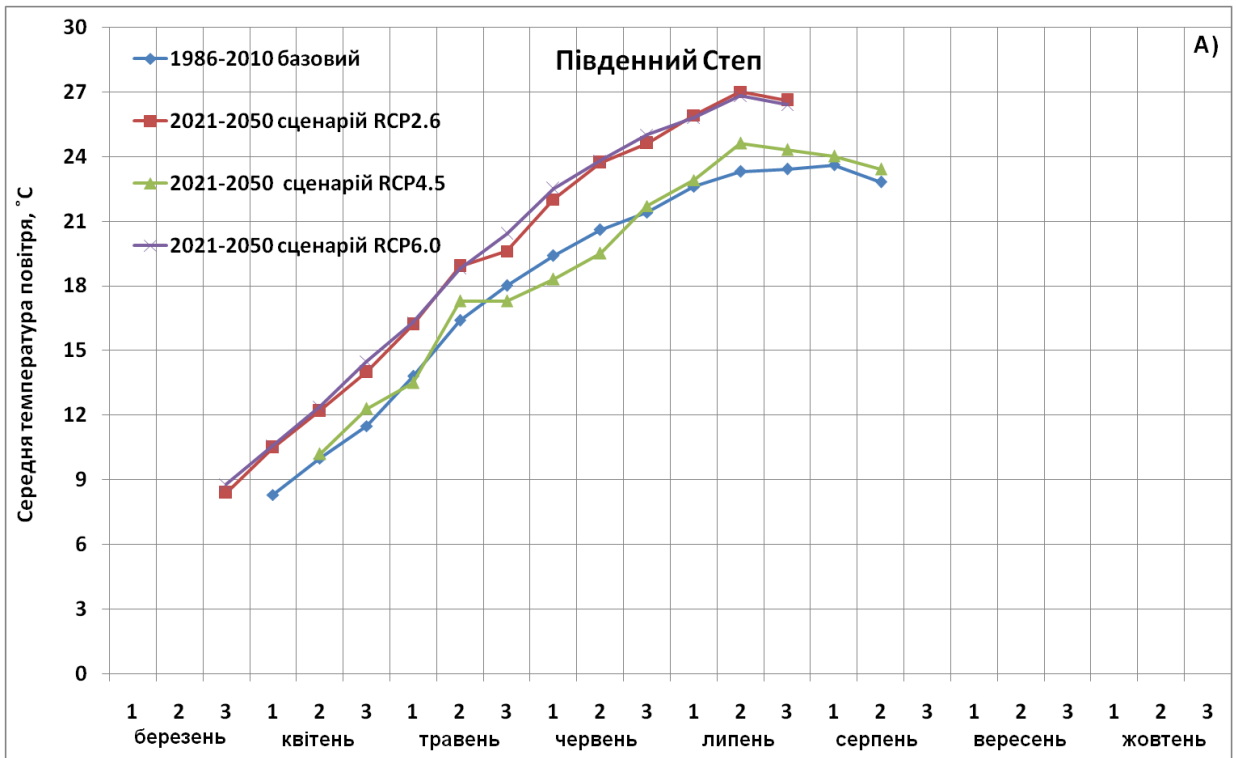


Рисунок 3.11 – Динаміка: А) середньої температури повітря, °С і Б) приростів можливого урожаю всієї маси (ΔМУ), г/м² в період сімба – збиральна стиглість в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних RCP2.6, RCP4.5 і RCP6.0. Північне Причорномор'я. Південно-степова підзона

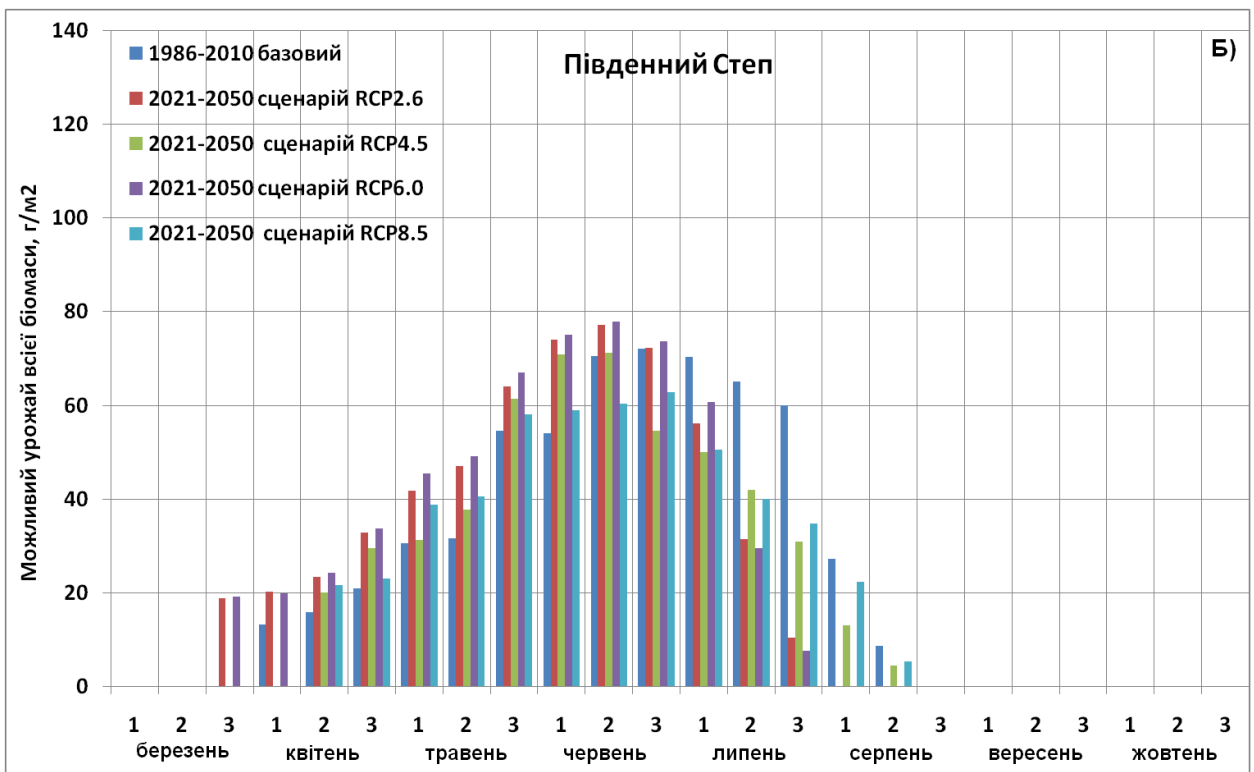
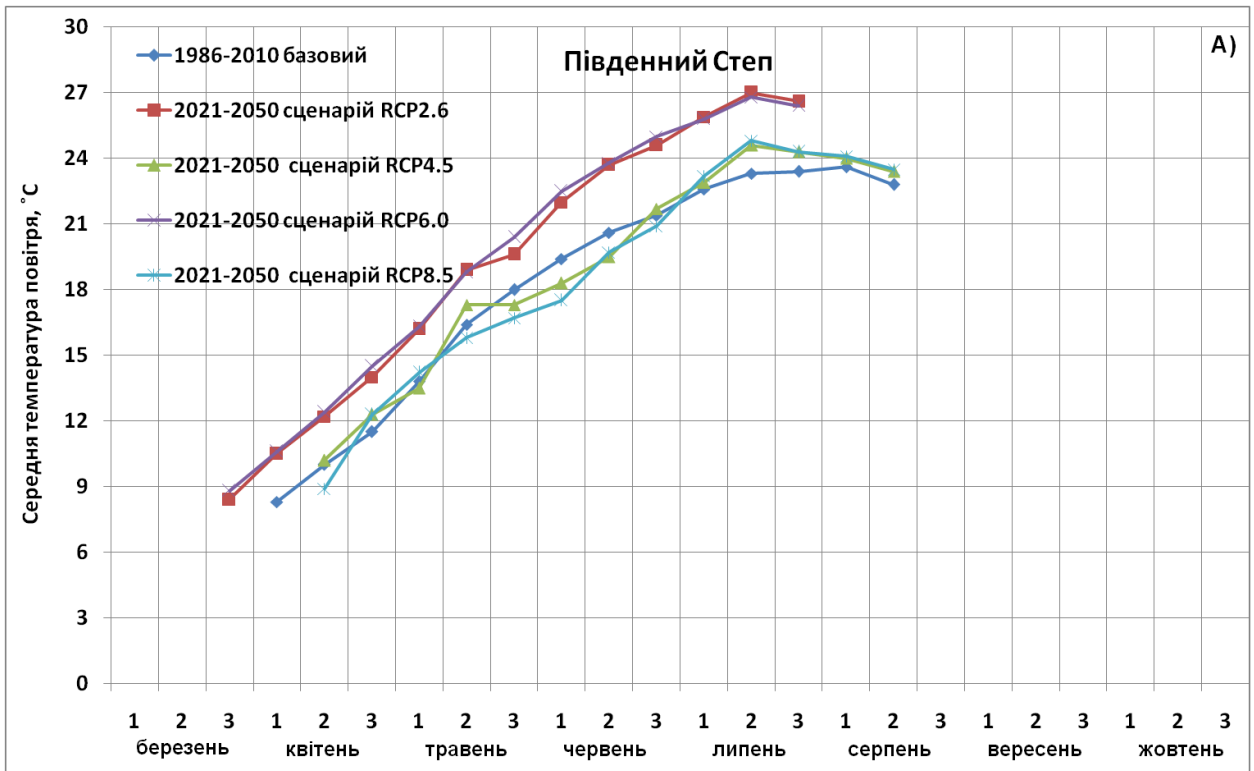


Рисунок 3.12 – Динаміка: А) середньої температури повітря, °С і Б) приростів можливого урожаю всієї маси (ΔМУ), г/м² в період сівба – збиральна стиглість в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 і RCP8.5. Північне Причорномор'я. Південно-степова підзона

середньої багаторічної і на 0,3-0,5°C нижче в порівнянні з сценарними величинами RCP2.6, RCP4.5 і RCP6.0.

При таких умовах теплозабезпеченості посівів рівень можливої урожайності всієї біомаси становитиме 52 ц/га (89% від фактичної).

Таблиця 3.3 – Формування можливого урожаю соняшника в порівнянні фактичних середніх багаторічних і сценарних розрахункових даних в залежності від температурного режиму. Північне Причорномор'я. Південно-степова підзона

(вегетаційний період сівба – збиральна стиглість)

Період	Дата сівби	Середня температура повітря за період (Тср.), °C	Випаровуваність за період, (E ₀), мм	Можливий урожай всієї маси (МУ), ц/га	Період вегетації, дні
Базовий					
1980-2010	04.04	18,2	639	59	141
Сценарій RCP2.6					
2021-2050	23.03	19,2	724	57	121
Сценарій RCP4.5					
2021-2050	08.04	19,2	710	52	135
Сценарій RCP6.0					
2021-2050	21.03	19,4	725	58	120
Сценарій RCP8.5					
2021-2050	09.04	18,9	699	52	137

За фактичним температурним режимом волого потреба дорівнює 639 мм (табл. 3.3). За рахунок збільшення температурного режиму за всіма сценаріями буде зростати волого потреба посівів соняшнику (на 9-13%).

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи отримано наступні результати:

1. Вивчено сучасний стан агрометеорологічних досліджень культури соняшник.
2. Вивчено методи розрахунку програмування можливої урожайності і базова динамічна модель впливу агрокліматичних умов на формування урожаю сільськогосподарських культур
3. Вивчено агрокліматичні умови Північно-причорноморського району.
4. Вивчено вплив температури на ріст, розвиток і урожай соняшника.
5. Отримано параметри і змінні для культури соняшника в районі Північного Причорномор'я.
6. Виконані розрахунки агрокліматичних показників, що характеризують умови формування можливої урожайності соняшника за тепловими ресурсами.
7. Виконано порівняння можливої урожайності соняшника на сільськогосподарських угіддях Північного Причорномор'я при фактичному температурному режимі та при температурному режимі сценаріїв RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 і RCP8.5 за період з 2021 до 2050 року.
8. Встановлено, що у лісостеповій зоні Північно-причорноморського району середня температура повітря за період від сівби до збиральної стиглості посівів соняшника становить $16,2^{\circ}\text{C}$, фактична можлива урожайність всієї біомаси складає 98 ц/га. За сценаріями RCP2.6 і RCP6.0 середня температура повітря за період вегетації від сівби до збиральної стиглості буде вище за фактичну на $2,1-2,2^{\circ}\text{C}$, тому очікується, що можлива урожайність (МУ) буде трохи нижче 95-97 ц/га. За кліматичними сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 за період сівба - збиральна стиглість буде очікуватися зниження середньої температури

повітря (на 0,9-1,5°C від фактичної). Можлива урожайність збільшиться на 10-15% .

9. Встановлено, що у північно-степовій підзоні середня температура повітря за період сівба – збиральна стиглість дорівнює 18,3°C, фактична можлива урожайність всієї біомаси складає 81 ц/га. За сценаріями RCP2.6 і RCP6.0 середня температура повітря за вегетаційний період соняшнику буде трохи вищою (на 0,7-0,8°C), тому очікується, що можлива урожайність (МУ) буде 83-84 ц/га. За кліматичними сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 за період сівба - збиральна стиглість буде очікуватися незначне, але зниження середньої температури повітря (на 0,1-0,6°C від фактичної). Можлива урожайність буде залишатися на рівні фактичної середньої багаторічної (82-83 ц/га).
10. Встановлено, що середня температура повітря за період сівба – збиральна стиглість у південно-степовій підзоні дорівнює 18,2°C, фактична можлива урожайність всієї біомаси складає 59 ц/га. Середня температура повітря за всіма сценаріями (RCP2.6, RCP6.0, RCP4.5 і RCP8.5) в порівнянні з фактичною середньою температурою повітря очікується на 0,7...1,2°C вищою. Можлива урожайність за сценаріями RCP2.6 і RCP6.0 буде дорівнювати фактичній середній багаторічній (57-58 ц/га проти 59 ц/га), за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 можлива урожайність очікується трохи меншою (88% від фактичної).

Таким чином, результати розрахунків показали, що при очікуваному температурному режимі в Північному Причорномор'ї можлива урожайність в майбутньому буде в межах сучасної.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрокліматичний довідник по Миколаївській області (1986-2005)/ М-во надзвичайних ситуацій України; Одеський обласний центр з гідрометеорології; за ред. Л.М. Дуранік, Т.І. Адаменко. Одеса: Астропринт, 2011. 198 с.
2. Агрокліматичний довідник по Одеській області: (1986-2005)/ М-во надзвичайних ситуацій України; Гідрометеорологічний центр Чорного та Азовського морів; за ред.. В.М. Ситова, Т.І. Адаменко. Одеса: Астропринт, 2011 – 204 с.
3. Агрокліматичний довідник по Херсонській області /М-во надзвичайних ситуацій України; Одеський обласний центр з гідрометеорології; за ред. С.І. Мельничук, Т.І. Адаменко. Одеса: Астропринт, 2011. 208 с.
4. Васильєв Д.С. Подсолнечник. Агропромиздат, 1990. 173 с.
5. Дмитренко В.П. Оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование урожая основных зерновых культур: методическое пособие . Л.: Гидрометеоздат, 1976.
6. Жигайло О.Л., Жигайло Т.С. Моделювання продуктивності соняшнику в умовах майбутніх змін клімату в Україні за сценаріями антропогенного впливу RCP. Український гідрометеорологічний журнал. 2017. № 20. С. 71-78.
7. Жигайло О.Л., Сніговий О.В., Шелест Д.О. Агроекологічна оцінка впливу змін клімату на продуктивність соняшнику в Північному Причорномор'ї. Матеріали I міжнародної науково-практичної конференції «Використання альтернативних джерел енергії в умовах розвитку сільських територій», 22 травня 2019 р. Полтава: ПДАА. 2019, С.53-55.
8. Жуков В.А. Принципы оценки агроклиматических ресурсов в задаче агроэкологического районирования // Труды ВНИИСХМ. 1994. Вып.30.

9. Каюмов М.К. Программирование продуктивности полевых культур. [Электронный ресурс] Справочник. - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Росагропромиздат, 1989. 368 с: <https://www.studmed.ru> › kayumov-mk-program
10. Мельник Ю.С. Изменчивость урожая подсолнечника в зависимости от условий погоды // Метеорология и гидрология. 1975. №6. С. 95-89.
11. Мельник Ю.С. Превычисление сроков наступления основных фаз развития подсолнечника с большой заблаговременностью // Труды ГМЦ СССР. –1974. Вып.130. С.114-119
12. Мельник Ю.С., Тибуев Х.Х. Забелин В.Н. Методические основы прогноза средней областной урожайности семян подсолнечника для территории Украины // Труды ГМЦ СССР, 1991, Вып.312. С.57-67.
13. Миусский П.Е. Агрометеорологические условия теплообеспеченности подсолнечника в различных районах Украины. Метеорология, климатология и гидрология. 1969. –Вып.5. С.141-144.
14. Миусский П.Е. Зависимость урожая подсолнечника от осадков и увлажнения почвы в различные периоды вегетации на Украине // Труды ЦИП. 1965. Вып. 145. С.132-138
15. Мищенко З.А., Кирнасовская Н.В. Агроклиматические ресурсы Украины и урожай: монография. Одесса: 2011. 291 с.
16. Мищенко З.А., Кирнасовская Н.В. Региональная агроклиматическая оценка продуктивности подсолнечника на основе моделирования в Украине. Метеорологія, кліматологія та гідрологія. 2002 . Вип. 46. 179-189 с.
17. Подсолнечник /З.Б. Борисоник, Ч.Д. Ткалич, А.И. Науменко и др. 2-е изд. Киев.: Урожай, 1985. 159 с.
18. Пустовойт В.С. Избранные труды. М.:ВО «Агропромиздат». 1990.
19. Польовий А.М. Божко Л.Б., Дронова О.О. Аналіз тенденції зміни термічних показників агрокліматичних ресурсів в Україні за 2030-2040рр. Укр. г/мет. ж-л. 2011, №9, С. 90-99.

20. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем: навчальний посібник. К.: КНТ, 2007, 348 с.
21. Пінковський Г.В., Танчик С.П. Економічна та енергетична ефективність удосконалених елементів технології вирощування соняшника у Правобережному Степу України // Вісник Полтавської держ. агр. академії. 2019, №2. [Електронний ресурс] URL: https://agromage.com/stat_id.
22. Рослинництво: підручник/ В.Г. Влох, С.В. Дубковецький, Г.С. Кияк, Д.М. Онищук; За ред. В.Г. Влоха. К.: Вища шк., 2005, 382 с.
23. Тепловой и водный режим Украины /под. ред. А.Р. Константинова, Н.И. Гойсы. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 360 с.
24. Тибуев Х.Х. Моделирование влияния агрометеорологических условий на формирование продуктивности подсолнечника //Метеорология и гидрология, 1988,№10. С.114-121.
25. Шатилов И.С., Чудновский А.Ф., Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. Л. Гидрометиздат. – 1998.
26. Шелест Д.О. Жигайло О.Л. Оцінка водно-теплогового режиму в Одеській області за вегетаційний період соняшника //Матеріали наукової конференції студентів та молодих вчених Одеса: ОДЕКУ, 6 - 19 травня, 2019, С.28-29.
27. Horie T. Simulation of sunflower growth. I. Formulation and parametrization of dry matter production, leaf photosynthesis, respiration and partitioning of photosynthates. Bull. Nat. Inst. Agric. Sci. Jap., Ser. A24, 1977, pp. 45-70.
28. Kinity J.R., Blanchet, R., Williams, J.R., Texier, V., Jones, C.A. and Cabelguenne, M., (1992). Sunflower simulation using the EPIC and ALMANAC models. Field Crops 30:1992, pp 403-423.

29. Debacke P., Casadebaig P., Haquin B., Mestries E., Palleau JP. & Salvi F. (2010). Simulation de la réponse variétale du tournesol à l'environnement à l'aide du modèle SUNFLO. OCL VOL. 17 N° 3 MAI-JUIN 2010.