

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської і  
аспірантської підготовки  
Кафедра агrometeorології та  
агrometeorологічних прогнозів

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

**Оцінка впливу змін клімату на продуктивність озимої пшениці в  
Південному Степу України**

Виконав студент 2 курсу групи ММА-62  
спеціальності 8.04010505  
«Агrometeorологія» \_\_\_\_\_

Орлик Дмитро Володимирович

Керівник д.геогр.н.. професор \_\_\_\_\_  
Польовий Анатолій Миколайович

Рецензент д.геогр.н.. професор  
Лобода Наталія Степанівна

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської і аспірантської підготовки \_\_\_\_\_

Кафедра агrometeorології та агrometeorологічних прогнозів \_\_\_\_\_

Освітньо-кваліфікаційний рівень \_\_\_\_\_ магістр \_\_\_\_\_

Спеціальність 8.04010505 “Агrometeorологія» \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Польовий А. М.

“31” жовтня 2016 року

## ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ \_\_\_\_\_ !

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оцінка впливу змін клімату на продуктивність озимої пшениці в Південному Степу України \_\_\_\_\_

керівник роботи \_ Польовий Анатолій Миколайович, д.геогр.н. професор,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “14” вересня 2016 року № 270-С

2. Строк подання студентом роботи 01.02.2017 року \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: матеріали спостережень за агrometeorологічними показниками та за розвитком озимої пшениці в Південному Степу України в період вегетації. Розрахунки за даними сценаріїв зміни клімату.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): розрахунок фотосинтетичних показників озимої пшениці по областях Степової зони та розрахунок цих показників і врожайності даної культури в умовах зміни клімату до 2050р. за сценарієм КСР 4,5.

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

1. Динаміка площі листя озимої пшениці в Херсонській, Одеській, Миколаївській областях.

2. Суха маса озимої пшениці за середньо багаторічними даними.

3. Фотосинтетичний потенціал.

4. Чиста продуктивність фотосинтезу.

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 31 жовтня 2016 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
	Отримання завдання, ознайомлення з літературними джерелами, складання календарного плану. Збір матеріалів спостережень.	31.10.2016-20.11.2016 р.	85	добре
	Ознайомлення з методикою розрахунків агрометеорологічних показників з використанням математичної моделі.	21.11.2016 р.-4.12.2016 р.	85	добре
	Атестація	5.12.-10.12.2016рр	85	добре
	Виконання розрахунків, складання таблиць та побудова графіків.	11.12.2016 р.-21.12.2016 р.	97	відмінно
	Аналіз розрахунків, написання глави проекту. Складання висновків	22.12.2016 р.-31.12.2016 р.	97	відмінно
	Виправлення зауважень, підготовка рукопису дипломного проекту, написання доповіді та підготовка презентації	16.01.2017-31.01.2017рр	96	відмінно
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		92	відмінно

Студент

( підпис )

Орлик Д.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

( підпис )

Польовий А.М.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна магістерська робота виконана Орликом Дмитром Володимировичем на тему «Оцінка впливу змін клімату на продуктивність озимої пшениці в Південному степу України» є актуальною, оскільки серед найважливіших зернових культур озима пшениця за посівними площами займає в Україні перше місце і є головною продовольчою культурою. Тому дуже важливо правильно оцінити вплив кліматичних змін на дану культуру.

Метою кваліфікаційної роботи є оцінка продуктивності озимої пшениці в Південному степу за умов зміни клімату.

Завданням даної роботи є виявлення впливу мінливості клімату на агрокліматичні умови вирощування, фази розвитку та показники фотосинтетичної продуктивності озимої пшениці.

Об'єктом магістерської роботи є озима пшениця, а предметом дослідження є її врожайність.

Методи дослідження базуються на використанні динамічної моделі формування врожаю сільськогосподарських культур.

Результати роботи показали, що в Одеській та Херсонській областях зменшення до 2050 р. усіх показників фотосинтетичної продуктивності посівів озимої пшениці спричинить незначне зниження її врожаїв, а підвищення фотосинтетичної продуктивності в Миколаївській - до підвищення врожаю.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з 4 розділів, 63 сторінок, 4 таблиць, 13 рисунків, 24 використаних наукових джерел, 1 додаток.

Ключові слова: озима пшениця, динамічна модель, чиста продуктивність фотосинтезу, клімат.

## ANNOTATION

Qualifying master's degree work is produced by Orlikom D. V. on a theme "Estimation of influence of climate changes on the productivity of winter wheat in South steppe of Ukraine" is actual, as among major grain-crops a winter wheat after sowing areas occupies in Ukraine the first place and is a main food culture. Therefore it is very important correctly to estimate influence of climatic changes on this culture.

The purpose of qualificatory work is estimation of the productivity of winter wheat in South steppe at the terms of climate changes.

The task of this work is an exposure of influence of changeability of climate on the agroclimatic terms of growing, phase of development and indexes of the photosynthetic productivity of winter wheat.

The object of master's degree work is a winter wheat, and the article of research is her productivity.

Research methods are based on the use of dynamic model of forming of agricultural cultures harvest.

Job performances showed that in the Odessa and Kherson areas of diminishing 2050 to of all indexes of the photosynthetic productivity of sowing of winter wheat would entail the insignificant decline of her harvests, and increase of the photosynthetic productivity in Mykolaiv - to the increase of harvest.

Qualifying master's degree work consists of 4 divisions, 63 pages, 4 tables, 13 diagrams, 24 the used scientific sources, 1 addition.

Keywords: winter wheat, dynamic model, clean productivity of photosynthesis, climate.

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ.....	8
2 МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ.....	13
2.1 Оцінка агрометеорологічних умов формування врожаю сільськогосподарських культур за допомогою математичної моделі.....	13
2.2 Методика складання середнього по області врожаю сільськогосподарських культур.....	17
2.3 Динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур.....	17
2.4 Методи визначення параметрів моделей сільськогосподарських культур стосовно конкретних грунтовокліматичних зон.....	21
3 СЦЕНАРІЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ.....	28
3.1. Сценарії можливої зміни клімату на території України.....	28
4 ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ В ПІВДЕННОМУ СТЕПУ.....	36
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	55
ДОДАТОК.....	57

## ВСТУП

Серед найважливіших зернових культур озима пшениця за посівними площами займає в Україні перше місце і є головною продовольчою культурою.

Основне призначення озимої пшениці — забезпечення людей хлібом і хлібобулочними виробами. Цінність пшеничного хліба визначається сприятливим хімічним складом зерна. Серед зернових культур пшеничне зерно найбагатше на білки. Вміст їх у зерні м'якої пшениці залежно від сорту та умов вирощування становить у середньому 13-15 %. У зерні пшениці міститься велика кількість вуглеводів, у тому числі до 70 % крохмалю, вітаміни В-І, В2 РР, Е.

Місцем походження пшениці вважають степові напівпустельні райони Азії (Іран, Ірак, Закавказзя). З Азії пшениця приблизно 5 — 4 тис. років тому потрапила в Європу, Польщу, Угорщину, Чехію, Словаччину, Румунію, Болгарію. У південній Африці, Америці, Австралії вона з'явилася лише у XVI - XVIII ст. Тепер озима пшениця є основною продовольчою культурою більшості європейських країн, США, КНР, Японії. В СНД (Росії, Казахстані) та Канаді переважають посіви ярої пшениці, в Україні - озимої.

Загальна посівна площа озимої пшениці у світі становить тепер близько 240 млн га, валові збори зерна сягають 560 млн т (1993 р.).

В СНД озиму пшеницю висівають у деякі роки на площі близько 21 млн га (1990 р.), в Україні — до 7,6 млн га (1990 р.). В Україні до 90 % площ її зосереджено у районах Степу (55 %) та Лісостепу (35 %) і лише близько 10 % — на Поліссі та в Закарпатті.

Завдяки широкому впровадженню у виробництво інтенсивної технології вирощування озимої пшениці за останні роки значно зросла її середня врожайність. У 1990 р. вона досягла в СНД 34,1 ц/га, в Україні — 40,2 ц/га.

Мета: Оцінити продуктивність озимої пшениці в Південному степу за умов зміни клімату.

## 1 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

Основною зерною культурою в Україні є озима пшениця. У Степу, особливо в південних і центральних його районах, немає культури, рівною їй за продуктивністю. У Лісостепу озима пшениця за продуктивністю не має безумовної переваги порівняно з іншими культурами, зокрема у північних і західних районах. У Поліссі озиму пшеницю розміщують на родючіших ґрунтах.

Насіння озимої пшениці починає проростати при температурі 1–2 °С, але для дружного проростання і появи сходів оптимальною вважається температура 15–20 °С. За такої температури і хорошій вологості орного шару ґрунту масові сходи звичайно з'являються через 7–9 днів після сівби. Температура вище 28 °С несприятлива для проростання насіння. При запасах продуктивної вологи в орному шарі ґрунту менш 5 мм сходи не з'являються.

Є.С. Улановою встановлено, що найменша тривалість періоду посів – сходи (5–7 днів) спостерігається при запасах продуктивної вологи в орному шарі ґрунту від 30 до 60 мм і температурі повітря вище 14 °С. При зменшенні запасів вологи до 15 мм сходи з'являються через 12 днів, а при зменшенні запасів вологи до 6–7 мм сходи з'являються через 20–25 днів. При зниженні температури повітря до 10 °С сходи з'являються через 10–12 днів, а при 7–8 °С – через 17–20 днів.

При достатньому зволоженні ґрунту сходи озимої пшениці з'являються при нагромадженні від посіву суми ефективних температур повітря вище 5 °С 67°С. [1,2].

Швидкість настання фази початку куціння озимої пшениці, також знаходиться в тісній залежності від температури повітря і зволоження ґрунту. Якщо зволоження орного шару ґрунту хороше (більше 30 мм продуктивної вологи), куціння озимої пшениці починається при нагромадженні від фази сходів суми ефективних температур (вище 5 °С), рівної 67 °С. Найменша тривалість періоду сходів – куціння (8–10 днів) спостерігається при запасах



вологи 30–50 мм у шарі ґрунту 0–20 см і температурі повітря 13–18 °С. При такій же температурі, але при зменшенні запасів вологи до 15 мм, період від сходів до кушіння збільшується до 16–18 днів, а при зменшенні запасів вологи до 6–8 мм кушіння настає тільки через 25–30 днів.

Найбільш сприятлива для кушіння озимої пшениці температура повітря 9–12 °С, а при температурі 1–3 °С кушіння припиняється. При запасах продуктивної вологи більш 20 мм в орному шарі ґрунту кушіння йде найбільше інтенсивно.

Активна вегетація озимої пшениці припиняється після переходу температури повітря восени через 5 °С (убік зниження). Однак у південних районах країни перехід від осені до зими відбувається повільно і кушіння пшениці продовжується в період від дати переходу температури повітря через 5 °С до дати переходу її через 3 °С. Під час тривалих і інтенсивних відлиг також можливе подовження періоду кушіння рослин. За сприятливих умов озима пшениця оптимальних термінів сівби формує до кінця осені 3-6 пагонів на одній рослині.

Після весняного відновлення вегетації озима пшениця продовжує кущитися при температурах від 3–5 °С до 12–15 °С. Висока температура у весняний період і нестача вологи у ґрунті погіршують весняне кушіння пшениці [3,4].

Після закінчення кушіння кількість пагонів у посіві, так само як і кількість квіток і колосків у конусі наростання (колосі), зменшується за рахунок редукції асинхронно розвинутих колосків, квіток і пагонів. Це явище цілком закономірне, але ступінь редукції залежить як від біології сорту, так і від умов використання факторів життя рослин, що складаються в агрофітоценозі. Це призводить до того, що частка пагонів різних порядків у посіві змінюється; рівень продуктивності агрофітоценозу є інтегруючим показником співвідношення різноякісного продуктивного колосся. Оптимальна кількість стеблин, яка забезпечує продуктивність

агрофітоценозу озимої пшениці на рівні 70–80 ц/га, за даними досліджень становить 470–600 шт./м<sup>2</sup> посіву. Так, в умовах 1987 р. сорт озимої пшениці Поліська 87 сформував урожай 113 ц/га при 610 шт. продуктивних пагонів на 1 м<sup>2</sup> посіву; а урожайність 102–105 ц/га Миронівська 61 забезпечила при наявності 700 колосків на 1 м<sup>2</sup> посіву, Донська напівкарликова – при 610, а Одеська 51 – при 533 шт./м<sup>2</sup>. У той же час урожайність на рівні 66–75 ц/га була одержана при такій же (690–530 шт.) кількості продуктивних пагонів [5,6].

В умовах 1993, також високоурожайного, року одержано урожайність на рівні 90–100 ц/га при інтенсивній технології вирощування, коли кількість продуктивних пагонів залежно від сорту варіювала від 750 шт./м<sup>2</sup> у сорту Скіфянка до 550 шт./м<sup>2</sup> у Мирлебена. Але при густоті 500–600 шт./м<sup>2</sup> продуктивного колосся в гірших моделях технології одержано тільки 42–58 ц/га. При цьому у високопродуктивних агрофітоценозах за період з VI по XI етап органогенезу редукція пагонів становила 790–940 шт./м<sup>2</sup> [5].

У чорноземних районах, де тепла буває достатньо, запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту навесні визначають майбутні умови формування урожаю. За даними Є.С. Уланової, хорошими весняними запасами продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту є 150-200 мм, задовільними – 120-150 мм, недостатніми – 100-120 мм і поганими – менш 100 мм.

В період від виходу в трубку до колосіння в озимої пшениці виявляється найбільша потреба у волозі внаслідок інтенсивного росту (табл.1.1). Найбільш високі урожаї озимої пшениці спостерігаються в роки, коли в цей період запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту складають 100–125 мм. При невеликих запасах продуктивної вологи в ґрунті навесні урожайність озимої пшениці в значній мірі залежить від опадів. Кількість опадів у травні від 40 до 80 мм забезпечує при цьому хороші умови для формування урожаю озимої пшениці. Сприятливою для формування

великого колосся з багатоквітковими колосками є температура від 15 до 20 °С [7,8,9].

Таблиця 1.1 – Показники оцінки запасів продуктивної вологи метрового шару ґрунту в основні періоди весняно - літньої вегетації озимої пшениці в чорноземних районах (Є.С. Уланова,)

Період	Запаси продуктивної вологи, мм			
	хороші	задовільні	недостатні	Погані
Відновлення вегетації	150–200	120–150	100–120	< 100
Вихід в трубку	140–180	100–140	80–100	< 80
Колосіння	80–140	60–80	40–60	< 40
Налив зерна	80–100	40–80	30–40	< 25

У період цвітіння і дозрівання збільшуються вимоги рослин до тепла. Однак при високій температурі (вище 40 °С) в період цвітіння різко знижується життєздатність пилка, що призводить до зниження урожаю. Мінімальною температурою для цвітіння вважається 6–7 °С. При зниженні відносної вологості повітря до 30 % і нижче, підвищенні температури до 25 °С и вище і швидкості вітру 5 м/с і більше (при недостатчі вологи в ґрунті) відзначається пожовтіння, скручування і підсихання листків, щуплість зерна і череззерниця. За даними С.А. Веріго, запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту 40 мм і більше в середньому за період цвітіння – початок воскової стиглості сприяють формуванню добре виповненого зерна, а при вологозапасах менше 10 мм налив зерна припиняється і воно починає підсихати [10,11].

Вимоги до світла змінюються в залежності від фази розвитку рослин. В цілому тривалість вегетаційного періоду скорочується в умовах довгого дня. Загальна тривалість вегетаційного періоду озимої пшениці, включаючи

зимовий період, в залежності від сорту й агрометеорологічних умов коливається від 275 до 330 днів

Озима пшениця добре використовує осінню і весняну вологу і урожайність її в значно меншому ступені, ніж ярих зернових культур, залежить від весняно-літніх опадів. У неї розвивається могутня коренева система, яка глибоко проникає в ґрунт, у зв'язку з чим вона менше страждає від посух і суховіїв. Посів восени і більш раннє (на 7-10 днів) збирання озимої пшениці в порівнянні з ярицею дозволяє повніше і більш рівномірно використовувати працю і засоби виробництва [12,13].

## 2 МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

### 2.1 Оцінка агрометеорологічних умов формування врожаю сільськогосподарських культур за допомогою математичної моделі

Задача агрометеорологічної діагностики зводиться до визначення міри відхилення ходу показників фотосинтетичної діяльності посівів під впливом агрометеорологічних умов періоду від їх середньобагаторічного ходу, що обумовлюється агрометеорологічним режимом, на фоні якого формується тенденція врожайності.

Зміна кількості врожаю відносно середніх багаторічних значень (відхилення від тенденції) при визначених агрометеорологічних умовах впродовж часового інтервалу, який оцінюється, визначається зміною усіх найважливіших показників фотосинтетичної діяльності, викликану впливом цих агрометеорологічних умов.

В основу кількісної оцінки агрометеорологічних умов вирощування сільськогосподарських культур, яка при оцінці тривалого періоду вегетації є і оцінкою можливого відхилення врожайності від її тенденції, покладено вираз:

$$C = \frac{\hat{m}_p}{\bar{m}_p}, \quad (2.1)$$

де  $C$  – оцінка агрометеорологічних умов формування врожаю впродовж розглядуваного періоду вегетації;

$\hat{m}_p$  – врожай, розрахований за даними, що характеризують умови цього ж таки періоду;

$\bar{m}_p$  – врожай, розрахований за середніми багаторічними даними.

Зміна показників фотосинтетичної діяльності посівів під впливом агрометеорологічних умов періоду, який оцінюється, ставиться у взаємно однозначну відповідність із зміною врожайності.

Кількісна оцінка агрометеорологічних умов зводиться до розрахунку врожаю з врахуванням показників, які характеризують агрометеорологічні умови періоду, що оцінюється, та врожаю, розрахованого на фоні кліматичних умов. Ця оцінка характеризує відхилення врожайності під впливом погодних умов конкретного року від її тенденції, що формується під впливом кліматичних умов.

Необхідно зазначити, що оскільки параметри моделі визначені для будь-якого конкретного середнього рівня агротехніки, то при переході до розрахунків параметрів рослинного покриву в умовах більш високого або більш низького рівня агротехніки не можна чекати збігу абсолютних значень врожаїв.

Більш важливим є те, наскільки синхронні від одного року до іншого коливання фактичного врожаю, які обумовлені впливом погодних умов конкретних років та розрахованого врожаю. Слід також підкреслити, що при оцінці агрометеорологічних умов за допомогою моделі використовуються не абсолютні значення розрахованого врожаю, а відносні – відношення врожаю, який розраховано за даними про агрометеорологічні умови розглядуваного періоду до врожаю, розрахованого за середніми багаторічними агрометеорологічними умовами.

Оцінка середніх по області умов вирощування сільськогосподарських культур здійснюється двічі: озимих культур – 26 травня - 2 червня та 23 - 30 червня, ранніх ярих культур – 23 - 30 червня та 24 - 31 липня.

Для оцінки міри впливу агрометеорологічних умов вегетаційного періоду на формування врожаю сільськогосподарських культур необхідно:

– провести розрахунок динаміки формування середнього по області врожаю сухої біомаси сільськогосподарських культур при середніх багаторічних агрометеорологічних умовах згідно з моделлю;

- провести розрахунок динаміки формування середнього по області врожаю сухої біомаси сільськогосподарської культури у поточному році від відновлення вегетації (сходів) до терміну проведення розрахунків (відповідно до вказаного вище терміну). При цьому використовуються фактичні дані, а за останню частину вегетаційного періоду (до воскової стиглості) використовуються середні багаторічні значення, або дані синоптичного прогнозу погоди;
- порівняти врожай, розрахований з урахуванням фактичних даних, з врожаєм, розрахованим за середніми багаторічними значеннями.

Для оцінки агрометеорологічних умов формування врожаю використовується формула (2.1).

Для виконання оцінки за моделлю необхідні такі середні по області дані:

1. Географічна широта центру області, в градусах з десятими.
2. Середня багаторічна дата відновлення вегетації (сходів) сільськогосподарської культури, відносно якої встановлюється кількість днів у першій декаді розрахунку та кількість днів від 20 березня до дня відновлення вегетації (появи сходів).
3. Середня багаторічна дата воскової стиглості культури, для якої встановлюється кількість днів у останній декаді розрахунку вегетаційного періоду.
4. Інформація за встановлений середній багаторічний вегетаційний період по розрахункових декадах:
  - кількість днів в декаді,
  - середня температура повітря за декаду,
  - максимальна температура повітря за декаду,
  - середня кількість годин сонячного сяйва за декаду,
  - середні багаторічні запаси продуктивної вологи у півметровому шарі ґрунту за декаду.
5. Густина рослин на квадратний метр, яка необхідна для визначення

початкових біомас окремих органів рослин та площі листя на декаду відновлення вегетації (сходів).

6. Інформація поточного року, така ж як і середня багаторічна, пунктів 1,2,3,4. Інформація поточного року використовується відповідно до термінів оцінки: для озимих культур – від відновлення вегетації до 26 травня та 2 червня, для ранніх ярих – від сходів до 23 - 30 червня та 24 - 31 липня.

Середня по області оцінка агрометеорологічних умов вирощування культури та відповідне прогнозування середньої по області врожайності здійснюється за умови, що інформація усіх станцій, які ведуть спостереження за вологістю ґрунту, охоплює не менш ніж 70% загальної посівної площі. Майже завжди обмежений обсяг саме цієї інформації ускладнює прогнозування врожаїв сільськогосподарських культур на великих площах (область, край, республіка тощо).

Середні по області вологозапаси розраховуються як середньозважене з врахуванням відсотка площі  $P_i$ , яка зайнята культурою у кожному сільськогосподарському мікрорайоні області ( по відношенню до загальної посівної площі культури в області) [14].

Для одержання середньозважених по області волого запасів ( $\bar{W}$ ) необхідно:

- для кожного сільськогосподарського мікрорайону підрахувати середні вологозапаси шляхом звичайного осереднення даних усіх агрометеорологічних та гідрометеорологічних станцій  $\bar{W}_i, i = 1, 2, \dots, n$ ;
- середні вологозапаси по кожному мікрорайону помножити на відсоток площі  $P_i$ , яка зайнята культурою в цьому мікрорайоні.

Тоді середньозважені вологозапаси по області можна одержати як результат поділу суми отриманих перемножень на суму відсотків площі, яка зайнята культурою:

$$\bar{W} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.2)$$



## 2.2 Методика складання середнього по області врожаю сільськогосподарських культур

Середній по області врожай визначається за формулою:

$$y_n = 0,01y_{t+1} \cdot C_{обл} , \quad (2.3)$$

де  $y_{t+1}$  – тенденція середнього по області врожаю на прогнозований рік, ц/га;  
 $C_{обл}$  – середня по області оцінка умов формування врожаю культури у прогнозованому році, %.

## 2.3 Динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур

Процес формування врожаю представляє складну сукупність багатьох фізіологічних процесів, інтенсивність яких визначається біологічними особливостями рослин, факторами навколишнього середовища, взаємозв'язком між самими процесами.

Прикладні динамічні моделі продуктивності сільськогосподарських культур описують процеси фотосинтезу, дихання, росту і вміщують три біологічні блоки: фотосинтез, дихання, ріст, а також блок перетворення початкової агрометеорологічної інформації - агрометеорологічний.

Блок фотосинтезу. Фотосинтез представляється формулою:

$$\Phi_o^j = \frac{k \cdot b \cdot I^j}{k + b \cdot I^j}, \quad (2.4)$$

де  $\phi_o^j$  – інтенсивність фотосинтезу за оптимальних умов теплоти вологозабезпеченості в реальних умовах освітлення,  $\text{мгСО}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{г})$ ;

$k$  – інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні та нормальній концентрації  $\text{СО}_2$ ,  $\text{мгСО}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{г})$ ;

$b$  – початковий нахил світлової кривої фотосинтезу,  $\text{мгСО}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{г})$ ;

$I$  – інтенсивність фотосинтетично активної радіації (ФАР) всередині посіву,  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$ ;

$j$  – номер кроку розрахункового періоду.

Для розрахунку фотосинтезу в онтогенезі в реальних умовах середовища, які відрізняються від біологічно оптимальних, використовується вираз:

$$\Phi_{\tau}^j = \Phi_o^j \cdot \alpha_{\phi}^j \cdot \psi_{\phi}^j \cdot \gamma_{\phi}^j, \quad (2.5)$$

де  $\Phi_{\tau}^j$  – інтенсивність фотосинтезу в реальних умовах середовища,  $\text{мгСО}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{г})$ ;

$\alpha_{\phi}^j$  – онтогенетична крива фотосинтезу;

$\psi_{\phi}^j, \gamma_{\phi}^j$  – функції впливу факторів зовнішнього середовища, які представляють собою одновершинні криві.

Функції  $\alpha_{\phi}^j, \psi_{\phi}^j, \gamma_{\phi}^j$  – нормовані та змінюються від 0 до 1.

Сумарний фотосинтез посіву за світлу пору доби розраховується за формулою:

$$\Phi^j = \varepsilon \Phi_{\tau}^j L^j \tau_g^j, \quad (2.6)$$

де  $\Phi$  – денний фотосинтез посіву на одиницю площі,  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{день})$ ;

$\varepsilon = 0,68$  – коефіцієнт ефективності фотосинтезу;

$L$  – площа листя  $\text{м}^2/\text{м}^2$ ;

$\tau$  – тривалість дня, год.

Блок дихання. На відміну від процесу фотосинтезу здатність до дихального газообміну мають всі органи рослини. Витрати на дихання,

пов'язане з підтримкою структурної організації тканин, і на дихання, пов'язане з переміщенням речовин, фотосинтезом та створенням нових структурних одиниць, визначаються з рівняння:

$$R^j = \alpha_R^j (c_1 M^j + c_2 \Phi^j), \quad (2.7)$$

де  $R$  – витрати на дихання, г/м<sup>2</sup> ;

$\alpha_R$  – онтогенетична крива дихання;

$c_1$  – коефіцієнт, який характеризує витрати на підтримку структури;

$M$  – суха біомаса посіву, г/м<sup>2</sup>;

$c_2$  – коефіцієнт, який характеризує витрати, пов'язані з переміщенням речовин, фотосинтезом і створенням нових структурних одиниць;

$j$  – порядковий номер декади розрахунку.

Блок росту. Приріст біомаси посіву визначається залишком між сумарним фотосинтезом посіву та витратами на дихання:

$$\Delta M^j = \Phi^j - R^j \quad (2.8)$$

Для опису росту окремих органів рослин використовуються ростові рівняння у модифікованому вигляді, запропоновані Ю.К. Росом.

$$\begin{aligned} m_i^{j+1} &= m_i^j + (\beta_i^j \Delta M^j - v_i^j m_i^j), \\ m_p^{j+1} &= m_p^j + (\beta_p^j \Delta M^j + \sum_i^{l,s,r} v_i^j m_i^j), \end{aligned} \quad (2.9)$$

де  $m_i$  – загальна суха біомаса окремих органів  $i \in l, s, r, p$  ( $l$  – листя,  $s$  – стебла,  $r$  – коріння,  $p$  – репродуктивні органи), г/м<sup>2</sup>;

$\beta_i$  – функція перерозподілу свіжих "асимілятів";

$v_i$  – функція перерозподілу "старих" асимілятів.

Зростання площі листа посіву визначається при позитивному прирості біомаси листа з формули:

$$L^{j+1} = L^j + \Delta m_l \frac{1}{z}, \quad (2.10)$$

де  $z$  – питома поверхнева площа листа,  $\text{г/м}^2$ .

При від'ємному прирості біомаси листа для опису росту асимілюючої поверхні вживається співвідношення :

$$L^{j+1} = L^j - \Delta m_i \frac{1}{z} \cdot \frac{1}{k_c}, \quad (2.11)$$

де  $k_c=0,3$  – параметр, який характеризує критичну величину зменшення живої біомаси листа, при якій починається відмирання її.

Агрометеорологічний блок. Поглинена посівом ФАР обчислюється за формулою:

$$I^j = \frac{I_o^j}{1 + CL}, \quad (2.12)$$

де  $I_o^j$  – поглинена сонячна радіація,  $\text{кал}/(\text{см}^2/\text{хв})$ ;

$C = 0,5$  – емпірична стала величина;

$L$  – площа листа,  $\text{м}^2/\text{м}^2$ .

Потік ФАР на верхню межу посіву визначається з формули:

$$I_o^j = \frac{0,5Q^j}{60\tau_g}, \quad (2.13)$$

де  $Q$  – сумарна сонячна радіація,  $\text{кал}/(\text{см}^2/\text{доб})$ .

Сумарна сонячна радіація розраховується з формули С.І.Сівкова:

$$Q^J = 12,66(S^J)^{1,31} + 315(\sin h_o^J)^{2,1}, \quad (2.14)$$

де  $S$  – тривалість сонячного сяйва, год;

$h_o$  - полуденна висота Сонця.

Середня за світлу пору доби температура повітря розраховується з формули:

$$T_g = a_1 T_{\max} + a_o, \quad (2.15)$$

де  $T_g$ ,  $T_{\max}$  – відповідно середня за день та максимальна температура повітря;  $a_o$ ,  $a_1$  – емпіричні коефіцієнти [15].

#### **2.4 Методи визначення параметрів моделей сільськогосподарських культур стосовно конкретних ґрунтовокліматичних зон**

У відповідності з описаною структурою моделі її параметри поділені на *чотири групи*:

1. Параметри для розрахунку інтенсивності фотосинтезу;
2. Параметри для розрахунку інтенсивності дихання;
3. Параметри для розрахунку динаміки біомаси окремих органів і всієї рослини, площі асимілюючої поверхні;
4. Параметри агрометеорологічного блоку, до якого входять значення коефіцієнтів рівнянь регресії для розрахунку середньої за світлу пору доби температури повітря.

Параметри блоку фотосинтезу. До групи параметрів блоку фотосинтезу входять параметри, які характеризують інтенсивність протікання процесу фотосинтезу під впливом факторів, що безпосередньо беруть участь у самому процесі, а також ті, що відображають умови

здійснення процесу. Останні є функціями впливу факторів середовища на інтенсивність процесу фотосинтезу.

Цю групу складають параметри світлової кривої фотосинтезу  $k, b$  та  $\psi_{\phi}, \gamma_{\phi}$  – функції впливу температури повітря і вологості ґрунту на інтенсивність фотосинтезу.

Параметр  $k$  характеризує плато світлової кривої, а параметр  $b$  – нахил світлової кривої фотосинтезу при малих інтенсивностях ФАР і знаходиться як тангенс кута нахилу світлової кривої.

Для озимої пшениці, ярого ячменю та вівса  $k=25 \text{ мгСО}_2 / (\text{дм}^2/\text{г})$ ;  $b=581,4 \text{ мгСО}_2 / (\text{дм}^{-2} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{хв}^{-1})$ .

Крайні та оптимальні середньодобові температури повітря для фотосинтезу отримані для різних культур: озимого жита – 200С, озимої пшениці, ярого ячменю та вівса – 220 С.

Крім того, для розрахунку фотосинтезу використовується також параметр, який характеризує вплив зміни фізіологічного віку листя на інтенсивність фотосинтезу, – онтогенетична крива фотосинтезу  $\alpha_{\phi}$ , положення максимуму якої визначається темпами розвитку рослин на конкретній території.

*Онтогенетична крива фотосинтезу* – це одновершинна крива яка описується виразом:

$$\alpha_{\phi}^j = l - a \left( \frac{TS_2 - \sum t_l^1}{10} \right)^2, \quad (2.16)$$

де параметр  $a$  знаходиться за допомогою формули:

$$a = \frac{-100l_n \cdot \alpha_{\phi}^j}{\sum t_l^1}, \quad (2.17)$$

де  $TS_2$  – сума ефективних температур наростаючим підсумком;

$\sum t_l^1$  – сума ефективних температур, при якій спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу листя;

$\alpha_{\phi}^j=0,5$  – початкова інтенсивність фотосинтезу по відношенню до максимально можливої на початок вегетації при  $TS_2 = 0$ .

Для визначення положення максимуму онтогенетичної кривої фотосинтезу будь-якої культури для конкретної території, тобто суми температур, що визначає це положення, необхідно за даними агрокліматичного довідника розрахувати середні по області багаторічні дати відновлення вегетації (сходів) та воскової стиглості і визначити середню багаторічну суму ефективних температур вище  $5^0\text{C}$  за цей період ( $\sum t_4$ ). Четверта частина цієї суми буде значенням  $\sum t_l^1$ .

Параметри блоку дихання. До цієї групи параметрів відноситься коефіцієнт витрат на підтримку структур  $C_1 = 0,015$  та коефіцієнт витрат на конструктивне дихання  $C_2 = 0,28$ . Сюди також входить параметр, що характеризує вплив зміни віку органів на інтенсивність процесу дихання – онтогенетична крива дихання  $\alpha_R$ , положення максимуму якої визначається темпами розвитку рослин на конкретній території.

Для визначення положення максимуму онтогенетичної кривої дихання, тобто суми температур, яка визначає це положення ( $\sum t_l^3$ ), необхідно скористуватись сумою ефективних температур за період від відновлення вегетації (сходів) до воскової стиглості. Четверта частка цієї суми буде складати  $\sum t_l^3$ . Сума  $\sum t_l^3$  дорівнює  $\sum t_l^1$ .

Параметри блоку росту. Головним блоком прикладних динамічних моделей формування врожаю є блок росту. Параметри цього блоку визначаються по кожній культурі для конкретної території. Ця група параметрів об'єднує функції періоду вегетативного росту  $\beta_i$  та функції

періоду репродуктивного росту  $v_i$ . У відповідності з роботами Х.Г. Тоомінга функції періоду вегетативного росту визначаються як

$$\beta_i = \frac{\Delta m_i}{\sum_i \Delta M_i}, i \in l, s, r, p \quad (2.18)$$

та показують частку сумарного приросту всієї рослини, який приходить на  $i$ -й орган; інші – функції періоду репродуктивного росту

$$v_i = \frac{\Delta m_i}{m_i}, i \in l, s, r \quad (2.19)$$

показують відтік (перерозподіл) асимілятів із кожного вегетативного органу після закінчення його росту в репродуктивні органи.

Розрахунок функцій вегетативного і репродуктивного періодів у прикладних моделях формування врожаїв полягає в тому, що динаміка біомаси із кожного органу у відносних одиницях представляється у вигляді сім'ї кривих точки перегину яких  $\sum t_i^2$ ,  $i \in l, s, r, p$  збігаються з сумами температур, які дорівнюють половині всієї суми, необхідної для завершення росту кожного органу. Наведена сума представляє собою суму температур, з якої починається ріст репродуктивних органів.

Якщо описати кожну криву рівнянням логістичної кривої, продиференціювати ці рівняння та помножити на коефіцієнт  $c_i$ , який характеризує частку органу в загальній біомасі під час дозрівання, то дістанемо такий вираз для визначення функцій періоду вегетативного росту:

$$\beta = \frac{\Delta \theta_i}{\sum_i \Delta \theta_i}, \quad (2.20)$$



в якому

$$\Delta\theta_i = \frac{4,6052 \cdot 10 \frac{2(\sum t_i^2 - TS_2^i)}{\sum t_i^2}}{\sum t_i^2 \left( 1 + 10 \frac{2(\sum t_i^2 - TS_2^i)^2}{\sum t_i^2} \right)}, \quad (2.21)$$

$i \in l, s, r, p$

де  $\sum t_i^2$  – сума ефективних температур, яка дорівнює половині суми температур, необхідної для закінчення росту кожного органу;

$c_i$  – коефіцієнт співвідношення різних органів в рослині на час дозрівання.

Перерозподіл "старих" асимілятів із листя, стебел та коріння у репродуктивні органи починається з моменту закінчення росту кожного з цих органів. Ростові функції періоду репродуктивного росту  $v_i$  для кожного вегетативного органу знаходяться за виразом:

$$v_i^j = \frac{0,3TS_1^j}{(2\sum t_p^2 - \sum t_p) - 2\sum t_i^2}, \quad (2.22)$$

$i \in l, s, r, p$

де  $TS_1$  – сума ефективних температур за будь-який інтервал часу (найчастіше за декаду) [16].

Положення функцій періодів вегетативного та репродуктивного росту, що описують перерозподіл між органами рослин, визначається сумами температур, які необхідні для закінчення росту листя, стебел, коріння, початку росту колосу, настання воскової стиглості. Для визначення цих сум необхідно розрахувати середні по області багаторічні дати настання фази

виходу у трубку, появи нижнього вузла соломини, колосіння, цвітіння та підрахувати середні багаторічні суми ефективних температур вище  $5^{\circ}\text{C}$  за періоди: відновлення вегетації (сходи) - вихід у трубку  $\sum t_1$ ; відновлення вегетації (сходи) - колосіння  $\sum t_2$ ; відновлення вегетації (сходи) - цвітіння  $\sum t_3$ . Тоді сума температур, яка визначає положення ростової функції будь-якого органу, тобто сума  $\sum t_i^2$ , буде становити для листя  $(\sum t_l^2) - 1/2$  суми ефективних температур за період від відновлення вегетації до колосіння; стебел –  $(\sum t_s^2) - 1/2$  суми ефективних температур за період від відновлення вегетації до цвітіння; коріння –  $(\sum t_r^2)$  – подібно до стебел. Сума  $\sum t_r^2$  дорівнює  $\sum t_s^2$ .

Необхідно визначити суму температур  $\sum t_p$ , з якої починається ріст репродуктивного органу – колосу. Ця сума визначається як середня з двох сум: суми температур за період від відновлення вегетації (сходів) до виходу у трубку та суми температур за період від відновлення вегетації до колосіння:

$$\sum t_p = \frac{\sum t_1 + \sum t_2}{2} \quad (2.23)$$

Положення ростової функції колосу визначається сумою температур  $\sum t_p^2$ , яка знаходиться з виразу

$$\sum t_p^2 = \frac{\sum t_4 - \sum t_p}{2} + \sum t_p \quad (2.24)$$

Параметри агрометеорологічного блоку. Для здійснення розрахунків за моделлю необхідно розрахувати середню за декаду температуру повітря за

світлу пору доби, яка визначається по середній максимальній за декаду температурі повітря за формулою:

$$T_g = a_1 T_{\max} + a_o \quad (2.25)$$

Різниця у добовому ході температури повітря не дозволяє без уточнення використовувати значення цих параметрів при розрахунках в інших ґрунтово-кліматичних умовах.

Для кожної кліматичної зони слід вибирати дві-три станції, дані спостережень яких надруковані у Метеорологічному щомісячнику. Для одержання стійких значень параметрів кожного місяця необхідно вибирати 3 - 4 роки з різними умовами термічного режиму (теплий, холодний та близький до норми).

Час сходу та заходу сонця визначається за даними Довідника по клімату. За годинними спостереженнями розраховується середня за світлу пору доби температура повітря та виписується максимальна температура за день. Після цього визначається залежність середньої за день температури повітря від максимальної. Параметри  $a_o$  і  $a_1$  можуть бути визначені або з використанням методу найменших квадратів, або графічно після побудови графіка зв'язку  $T_g$  з  $T_{\max}$ .  $a_o$  – як відрізок, що відсікається на осі ординат  $T_g$ ,  $a_1$  – як тангенс кута нахилу прямої зв'язку  $T_g$  з  $T_{\max}$  [17].

## 3 СЦЕНАРІЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ

### 3.1. Сценарії можливої зміни клімату на території України

Сьогодні факт глобального потепління не викликає сумнівів і вважається експериментально доведеним: збільшення глобальної температури повітря та океанів, зменшення площі морського льоду, підвищення рівня Світового океану підтверджено довготривалими інструментальними спостереженнями. Кліматичні зміни, що відбуваються протягом останніх десятиліть, не перестають хвилювати вчених. У зв'язку з цим, активніше розвиваються методи прогнозування глобальних змін клімату та їх можливих наслідків, серед яких на передній план виступають математичні методи моделювання атмосферних процесів [18].

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

Майбутні викиди газів з парниковим ефектом (ПГ: вуглекислий газ  $\text{CO}_2$ , метан  $\text{CH}_4$ , закись азоту  $\text{N}_2\text{O}$ , гідрофторвуглеці  $\text{HFCs}$ , перфторвуглеці  $\text{PFCs}$ ,

сірчаний гексафторид  $SF_4$ , хлористі фторвуглеводні HCFCs, хлористі фторвуглеці CFCs, двооксид сірки  $SO_2$ , оксид вуглецю CO, оксиди азоту  $NO_x$  та неметанові леткі органічні сполуки NMVOC) є продуктом дуже складних динамічних систем, що складаються з таких визначальних факторів, як демографічний розвиток, соціально-економічний розвиток та технологічні зміни. Їх розвиток у майбутньому є дуже невизначеним. Сценарії являють собою альтернативні прогнози можливого розвитку подій у майбутньому, вони також є слушним засобом для аналізу того, яким чином визначальні фактори можуть впливати на показники майбутніх викидів, а також оцінки пов'язаних з ними невизначеностей. Вони сприяють аналізу змін клімату, включаючи моделювання клімату та оцінку наслідків, адаптацію та пом'якшення наслідків. Дуже мало ймовірною є можливість того, що траєкторія якогось єдиного викиду збіжиться з описаною у сценаріях.

Робочою групою Міжнародної групи експертів зі змін клімату були розроблені чотири основних описових сюжетних лінії (рис. 3.1) для послідовного викладення зв'язків між визначальними факторами викидів та їх розвитком, а також додатковий контекст для кількісного визначення сценарію. Кожна сюжетна лінія зображує різні демографічні, соціальні, економічні, технологічні та екологічні події, які одними особами можуть розглядатися позитивно, а іншими – негативно.

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

ПГ, а саме на демографічні зміни, соціально-економічний розвиток, технологічні зміни, використання ресурсів та регулювання забрудненням. Саме цей вплив відображується у сюжетних лініях та підсумкових сценаріях.

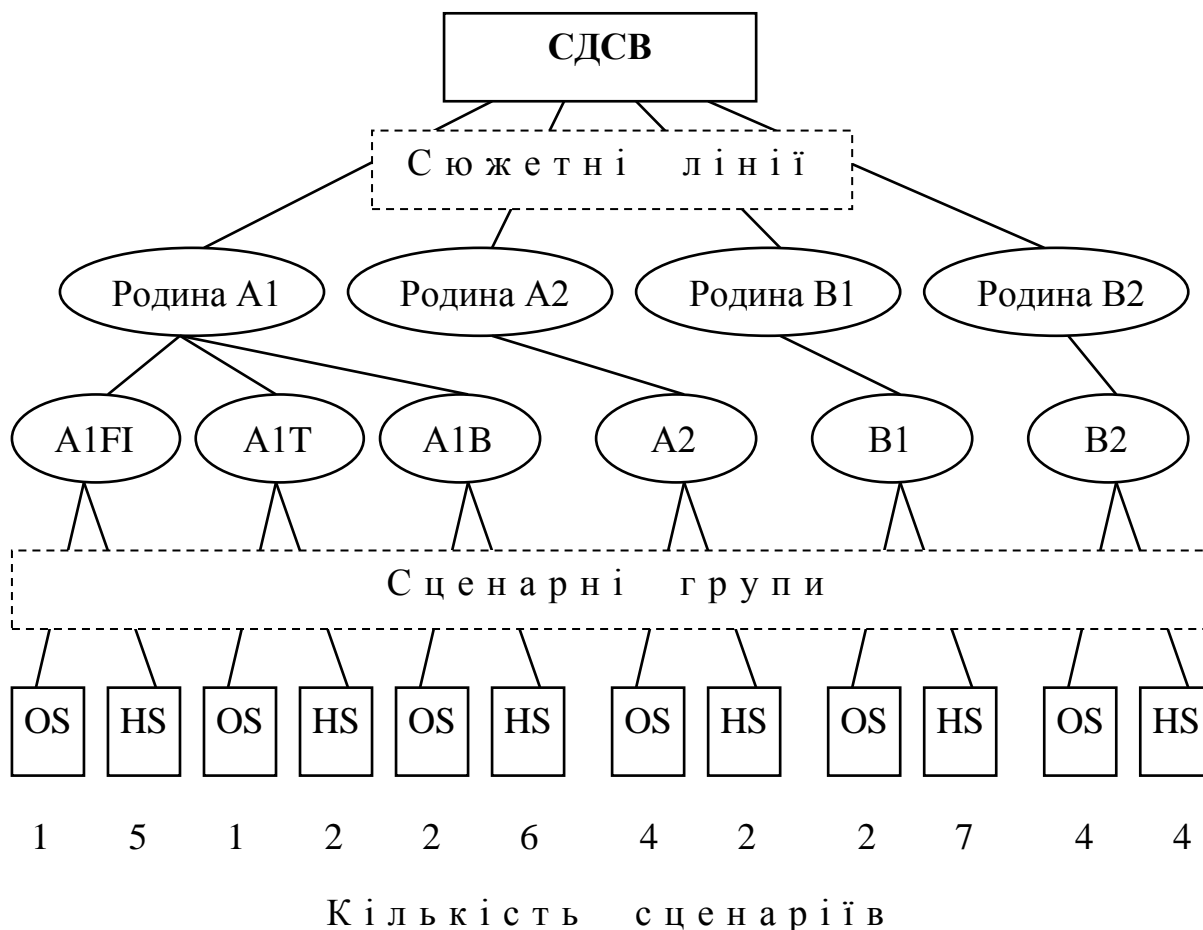


Рис. 3.1. Схематична ілюстрація сценаріїв СДСВ. У межах кожної групи і родини «HS» позначає сценарії з узгодженими припущеннями щодо розвитку загального населення та сукупного національного продукту, а «OS» – сценарії, в яких розглядаються невизначеності стосовно визначальних факторів.

Для кожної сюжетної лінії було розроблено декілька різних сценаріїв з використанням різних концепцій моделювання з метою розглядання низки результатів, пов'язаних з моделями, що використовують аналогічні припущення стосовно визначальних факторів. Однією з переваг багато

модельного підходу є те, що підсумкові 40 сценаріїв СДСВ у своїй сукупності охоплюють існуючий діапазон невизначеностей стосовно майбутніх викидів ПГ, які виникають внаслідок різних характеристик цих моделей, окрім існуючих невизначеностей, що мають місце через визначальні фактори сценарію, зокрема демографічні, соціально-економічні та технологічні події, які визначають ці моделі, про що йде мова у сюжетних лініях. Тринадцять з цих сорока сценаріїв розглядають зміни, пов'язані з припущеннями стосовно енергетичних технологій.

У межах кожної сценарної родини були розроблені два основних види сценаріїв – сценарії з узгодженими припущеннями стосовно глобального населення, економічного росту і кінцевого використання енергії та сценарії з альтернативним кількісним визначенням сюжетної лінії. У своїй сукупності 26 сценаріїв були узгоджені через прийняття припущень стосовно розвитку загального населення та сукупного національного продукту.

Таким чином, узгоджені сценарії у кожній родині не є незалежними один від іншого. Решта 14 сценаріїв прийняли альтернативні тлумачення чотирьох сюжетних ліній для вивчення додаткових сценарних невизначеностей. Вони також пов'язані між собою у межах кожної родини, навіть не зважаючи на те, що не містять загальних припущень стосовно деяких визначальних факторів.

Сюжетна лінія та сценарна родина A1 містить опис майбутнього світу, що характеризується швидким економічним ростом, глобальним населенням, показники якого сягають пікових значень у сторіччя з подальшим зменшенням, а також швидким упровадженням нових та ефективніших технологій. Першорядними питаннями будуть поступове зближення різних регіонів, створення потенціалу та активізація культурних і соціальних взаємозв'язків за значного зменшення регіональних відмінностей у доході на душу населення. Сценарна родина A1 розбивається на три групи, які надають опис альтернативних варіантів технологічних змін в енергетичній системі, а саме відрізняються своїм центральним технологічним елементом: істотна

частина викопних видів палива (A1FI), невикопні види палива (A1T) і рівновага між усіма джерелами (A1B), яка визначається як не дуже велика залежність від одного конкретного джерела енергії. Через те, що інші визначальні фактори будуть сталими, швидке зростання спричинить високі показники обороту капіталу, внаслідок чого невеликі відмінності на початковому етапі між сценаріями призведуть до великого розходження до 2100 р.

У сюжетній лінії A2 надається опис дуже неоднорідного світу. Першорядною темою буде самозабезпечення та збереження місцевої самобутності. Показники народжуваності у різних регіонах дуже повільно зближатимуться, внаслідок чого спостерігатиметься сталий ріст загальної кількості населення. Економічний розвиток буде мати головним чином регіональну спрямованість, а економічне зростання у розрахунку на душу населення і технологічні зміни будуть більш фрагментарними та повільними у порівняннях з іншими сюжетними лініями.

Сюжетна лінія і сценарна родина B1 містить опис світу, який рухається в одному напрямку з тим же глобальним населенням, яке сягає максимальної чисельності у середині століття, а потім зменшується, як й у сюжетній лінії A1, але за швидких змін в економічних структурах в напрямку сервісної та інформаційної економіки зі зменшенням матеріальної інтенсивності та упровадженням чистих і ресурсощадних технологій. Головна увага приділятиметься глобальним рішенням економічної, соціальної та екологічної сталості, включаючи більшу справедливість, але без додаткових ініціатив, пов'язаних з кліматом.

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



охорону навколишнього середовища та соціальну справедливість, головна увага у ньому приділятиметься місцевим і регіональним рівням [19].

Таким чином, при моделюванні прогностичних змін режиму температури та опадів використовувались сценарії зміни клімату А2 та А1В. В якості вхідної інформації застосовувалась глобальна кліматична модель ЕСНАМ5, яка розроблена в Інституті метеорології ім. Макса Планка в Німеччині. ЕСНАМ5 є останньою версією з серії ЕСНАМ і розвивається від спектральної моделі прогнозу погоди Європейського центру середньострокових прогнозів погоди. ЕСНАМ5 має роздільну здатність Т63, що відповідає горизонтальному кроку сітки приблизно 140×210 км в середніх широтах. Вихідні дані моделі використовуються для забезпечення початкових та граничних (бокових) умов для регіональних кліматичних моделей. Збільшення роздільної здатності в регіональних кліматичних моделях дає можливість з більшою точністю прогнозувати місце розташування, інтенсивність та частоту екстремальних явищ погоди [20].

В даному дослідженні сценарій зміни клімату А2 представлений в регіональній кліматичній моделі RCA3 з кроком сітки 25×25 км. RCA3 є реалізацією регіональної кліматичної моделі центру Россбі (Швеція). Модель RCA3 ґрунтується на попередній версії RCA2. Основною перевагою RCA3 в порівнянні з RCA2 є те, що в RCA2 параметризація поверхні землі, в тому числі морського льоду, була досить спрощена, оскільки при моделюванні температури підстильної поверхні, яка використовувалась як одна з компонентів енергетичного балансу, не враховувалися різні типи підстильної поверхні (лід, сніг, відкритий ґрунт, ліс). Поряд зі змінами в схемі прогнозування температури поверхні, з урахуванням властивостей кожного з типу, наприклад, відкритий ґрунт чи вкритий трав'янистою рослинністю, в RCA3 були також виконані певні оновлення в моделюванні фізики атмосфери, пов'язані з випромінюванням, турбулентністю та параметризацією хмарності. Середня помилка при прогнозуванні температури повітря в даній моделі складає  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Хоча в RCA3 у Північній

Європі існує чітке заниження в максимальних температурах і завищення в мінімальних. Згідно вказаної регіональної кліматичної моделі режим опадів має гарні показники моделювання по всій території Європи, за виключенням деяких регіонів на півночі, де кількість опадів в літні сезони дещо перевищена. Високі показники модель має й по результатам прогнозування розподілу інтенсивності опадів. Тому, саме RCA3 використовувалась в даній роботі, оскільки вона являється однією з найбільш показових регіональних кліматичних моделей в Європейському регіоні [21].

Сценарій зміни клімату A1B в даній роботі реалізований в регіональній кліматичній моделі REMO також з кроком сітки  $25 \times 25$  км, яка розроблена в Інституті метеорології ім. Макса Планка в Гамбурзі. REMO застосовується для моделювання клімату більш ніж шести експериментів CORDEX – Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (Африка, Європа, Середземномор'я, Північна Америка, Південна Америка та Західна Азія). При цьому особливістю REMO є моделювання не лише річних режимів опадів та температури, але й вивчення між- та внутрішньосезонних характеристик, а також представлення цих змінних на основі функції щільності ймовірності в порівнянні зі спостереженнями. Вказана регіональна кліматична модель має досить гарну продуктивність при моделюванні різних типів клімату, що дає можливість більш детального прогнозування метеорологічних процесів в різних кліматичних умовах, що дуже важливо для оцінки майбутніх прогнозів клімату. Найбільш точні результати моделювання REMO показує саме в межах Європи, що робить цю модель найбільш прийнятною до використання саме в цьому регіоні. Хоча за результатами дослідження було виявлено, що в межах Європи спостерігається незначне завищення температури повітря в літні місяці, та протягом року недооцінення умов вологості повітря (до 10%). Для глобального випромінювання модель переоцінює значення спостережень в основному влітку. А найкращі результати моделювання були виявлені при вивченні режиму опадів, оскільки прогнозовані дані за REMO практично співпадали з даними

спостережень. Тому, високий рівень прогностичних можливостей забезпечує використання регіональної кліматичної моделі REMO в даному дослідженні [22].

#### 4 ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ В ПІВДЕННОМУ СТЕПУ

Зернові культури – найважливіша група сільськогосподарських рослин, які дають зерно - основний продукт харчування людини, сировину для багатьох галузей промисловості та корм сільськогосподарським тваринам. Урожайність їх залежить від технології вирощування, клімату, сортів та багатьох інших факторів.

Серед найважливіших зернових культур озима пшениця за посівними площами займає в Україні перше місце і є головною продовольчою культурою.

Основне призначення озимої пшениці — забезпечення людей хлібом і хлібобулочними виробами. Цінність пшеничного хліба визначається сприятливим хімічним складом зерна. Серед зернових культур пшеничне зерно найбагатше на білки. Вміст їх у зерні м'якої пшениці залежно від сорту та умов вирощування становить у середньому 13-15 %. У зерні пшениці міститься велика кількість вуглеводів, у тому числі до 70 % крохмалю, вітаміни В-І, В2 РР, Е.

Зважаючи на важливість цієї культури, розглянемо як будуть змінюватись умови розвитку озимої пшениці під впливом змін клімату.

Для сільськогосподарських культур на фоні зміни кліматичних умов за розрахунковий період з 2021 по 2050 рр. нами розглядалися такі варіанти:

– базовий період (1986 – 2005 рр.)

– кліматичні умови розрахункового періоду за сценарієм *RCP 4,5* за період 2021 – 2050 рр.;

Як теоретична основа для виконання розрахунків та порівняння результатів були використані розроблені А.М. Польовим моделі продукційного процесу сільськогосподарських культур:

– Динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур (Додаток А).

Розрахунки виконувались для Одеської, Херсонської та Миколаївської областей.

Слід підкреслити, що вплив зміни клімату на формування продуктивності сільськогосподарських культур розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів і гібридів озимої пшениці в припущенні, що вони суттєво не зміняться.

Для оцінки змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату був використаний сценарій змін клімату в Україні *RCP 4,5*.

Розглянемо як під впливом змін клімату будуть змінюватись дати настання фаз розвитку озимої пшениці, показники розвитку її по міжфазних періодах, показники фотосинтетичної продуктивності та урожай

Як видно із таблиці 4.1 середні багаторічні терміни відновлення вегетації озимої пшениці в Одеській області спостерігались 9 березня, в Херсонській зміщувались на більш пізні терміни, а саме на 13 березня і ще пізніше в Миколаївській – 14 березня.

Таблиця 4.1 – Фази розвитку озимої пшениці за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценарієм зміни клімату *RSP 4,5*.

Період	Відновлен ня вегетації	Нижній вузол соломини	Колосін ня	Воскова стиглість	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Одеська область					
1986-2005	09.03	23.04	21.05	25.06	109
<i>RCP 4,5</i>	30.03	01.05	03.06	04.07	97
Різниця	+21	+8	+13	+10	-12
Херсонська область					
1986-2005	13.03	25.04	20.05	25.06	105
<i>RCP 4,5</i>	27.03	01.05	02.06	29.06	95
Різниця	+14	+6	+13	+4	-10
Миколаївська область					
1986-2005	14.03	24.04	21.05	28.06	107
<i>RCP 4,5</i>	30.03	03.05	05.06	07.07	100
Різниця	+16	+9	+16	+9	-7

За умов реалізації сценарію змін клімату *RCP 4,5*, дати відновлення вегетації озимої пшениці суттєво відрізняться і змістяться на більш пізні строки в порівнянні з середніми багаторічними, в усіх областях. Відчутні відхилення спостерігатимуться у Одеській області (21 день), менші в Миколаївській (16 днів), а найменші в Херсонській (14 днів).

Відповідно змістяться і строки появи нижнього вузла соломини. Нижній вузол соломини озимої пшениці за середніми багаторічними даними базового періоду спостерігався 23 квітня в Одеській області, 25 в Херсонській, 24 в Миколаївській. За сценарієм зміни клімату *RCP 4,5* відхилення термінів появи нижнього вузла соломини очікуються пізніше середніх багаторічних на 8 днів в одеській області, в Херсонській 6 днів, в Миколаївській 9 днів.

Наступні фази розвитку озимої пшениці колосіння та воскова стиглість за сценарієм наставатимуть пізніше, ніж в базовий період: на 13 та на 10 днів в Одеській області, в Херсонській на 13 та 4 дні, в Миколаївській 16 та 9 днів відповідно. В наслідок зміни термінів настання фаз розвитку озимої пшениці зміниться і тривалість її вегетаційного періоду. Вона зменшиться з 109 днів (середньо багаторічна) до 97 днів у Одеській області, з 105 днів (базовий період) до 95 днів в Херсонській, в Миколаївській області тривалість вегетаційного періоду зменшиться із 107 днів (середньо багаторічна) до 100.

Під впливом змін клімату зміняться агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці (табл. 4.2).

В період від відновлення вегетації до колосіння середня температура повітря за середніми багаторічними значеннями коливалась від 9,6 °С в Херсонській області до 10,7 °С в Миколаївській. (табл.4.2).

За сценарієм зміни клімату *RCP 4,5* за цей же період середня температура буде коливатися від 10.0 °С в Херсонській області до 11.4 °С в Миколаївській області. В Одеській області середня температура збільшиться на +1,6 °С, в Херсонській та в Миколаївській областях середня температура збільшиться на 0,4 °С та на 0,7 °С відповідно.

Сума опадів в період від відновлення вегетації до колосіння за середніми багаторічними даними спостерігалась 76 мм в Одеській та Херсонській областях, 71 мм в Миколаївській області.

Кількість опадів від відновлення вегетації до колосіння за сценарієм *RCP 4,5* збільшиться в Одеській області на 23% в Миколаївській на 27 %, а в Херсонській зменшиться на 3 %.

Сумарне випаровування за сценарієм зміни клімату *rsp 45* зменшиться в Одеській області на 20%, в Херсонській – на 7%, в Миколаївській – на 5%, а за середньо багаторічними даними випаровування буде 158 мм, 147 мм, та 146 мм відповідно.

Як показують розрахунки за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5* в період від відновлення вегетації до колосіння випаровуваність в Одеській області в порівнянні з базовим періодом (185 мм) зменшиться на 20%, і буде дорівнювати 147 мм. В Херсонській та Миколаївській областях випаровуваність зменшиться не так значно, лише на 3 % та на 8 % відповідно.

За середніми багаторічними значеннями вологозабезпеченість посівів озимої пшениці в період від відновлення вегетації до колосіння коливалась від 0,81 відн. од. в Миколаївській області до 0,85 відн. од. в Одеській області. За умов реалізації сценарію зміни клімату *RCP 4,5* вологозабезпеченість посівів пшениці збільшиться в Одеській та в Миколаївській областях лише на 1 % та на 3 % відповідно. А от в Херсонській області вологозабезпеченість посівів зменшиться на 5 %.

Середня температура повітря за середніми багаторічними значеннями в період від колосіння до воскової стиглості коливалась від 19,1 °С в Одеській області до 19,4 °С в Херсонській та Миколаївській. В період з 2021 до 2050 рр. за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5* від колосіння до воскової стиглості середня температура зменшилась на 0,3 °С в Одеській області і склала 18,8 °С, збільшилась в Херсонській на 0,1 °С, а в Миколаївській області середня температура повітря не змінилась.

Таблиця 4.2 – Агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.

Періоди розрахунку	відновлення вегетації – колосіння					колосіння – воскова стиглість					Веgetаційний період	
	середня температура, °C	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровуваність, мм	вологозабезпеченість, відн.од	середня температура, °C	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровуваність, мм	вологозабезпеченість, відн. од	сума опадів, мм	вологозабезпеченість, відн.од
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Одеська область</b>												
1986 – 2005	9,7	76	158	185	0,85	19,1	71	87	133	0,65	147	0,75
<i>RCP 4,5</i>	11,3	94	127	147	0,86	18,8	57	88	119	0,74	151	0,80
Різниця	+1,6	+23%	-20%	-20%	+1%	-0,3	-20%	+1%	-10%	+14%	+3%	+7%
<b>Херсонська область</b>												
1986 – 2005	9,6	76	147	178	0,83	19,4	64	94	148	0,64	140	0,74
<i>RCP 4,5</i>	10,0	74	137	173	0,79	19,5	41	48	79	0,61	115	0,70
Різниця	+0,4	-3%	-7%	-3%	-5%	+0,1	-36%	-49%	-46%	-5%	-18%	-5%
<b>Миколаївська область</b>												
1986 – 2005	10,7	71	146	180	0,81	19,4	76	100	157	0,64	147	0,73
<i>RCP 4,5</i>	11,4	90	139	165	0,84	19,4	55	93	142	0,65	145	0,75
Різниця	+0,7	+27%	-5%	-8%	+3%	0	-27%	-7%	-10%	+2%	-1%	+3%



В даний період сума опадів в середньому багаторічному коливалась від 64 мм в Херсонській до 76 мм в Миколаївській області. За сценарієм зміни клімату *RCP 4,5* сума опадів зменшиться в Одеській області на 20 % і дорівнюватиме 57 мм, в Херсонській області сума опадів зменшиться на 36 %, в Миколаївській на 27 %.

Сумарне випарування в період від колосіння до воскової стиглості за середніми багаторічними значеннями склало 87 мм в Одеській області, 94 мм в Херсонській і 100 мм в Миколаївській. За сценарієм воно збільшиться в Одеській області на 1 % і буде 88 мм, в Херсонській області сумарне випарування зменшиться майже вдвічі і становитиме 48 мм, а в Миколаївській – зменшиться лише на 7 % і буде 93 мм.

За цей же період випаровуваність за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5* становитиме 119 мм що на 10 % менше випаровуваності по середньо багаторічним даним (133 мм) в Одеській області, 79 мм що на 46 % менше ніж за базовий період (148 мм) в Херсонській та 142 мм в Миколаївській області.

За середніми багаторічними значеннями вологозабезпеченість посівів озимої пшениці від колосіння до воскової стиглості коливалась від 0,64 відн.од в Херсонській та Миколаївській областях до 0,65 відн.од в Одеській області. За умов реалізації сценарію зміни клімату *RCP 4,5* за період 2021 – 2050 рр. вологозабезпеченість зросте в Одеській та в Миколаївській областях на 14 % і буде становити 0,74 відн.од та на 2 % і становитиме 0,65 відн.од відповідно, а в Херсонській області вологозабезпеченість зменшиться на 5 % і буде 0,61 відн.од.

Кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату *RCP 4,5* за вегетаційний період в Одеській області буде 151 мм, що на 3 % більше ніж за середньо багаторічний період (147 мм), в Херсонській та Миколаївській областях сума опадів зменшиться до 115 мм та 145 мм відносно середньо багаторічного періоду (140 мм) та (147 мм) відповідно.

Вологозабезпеченість за умов реалізації сценарію збільшиться в Одеській та Миколаївській областях на 7% та на 3 % відповідно. Та зменшиться в Херсонській – на 5 %

Зміни агрокліматичних умов спричинять зміну показників фотосинтетичної діяльності посівів озимої пшениці, що обумовить рівень її урожайності. Такими показниками будуть розміри фотосинтезуючої площі та фотосинтетичний потенціал посівів, кількісні показники приростів рослинної біомаси на одиницю площі, чиста продуктивність фотосинтезу (ефективність процесу фотосинтезу на одиницю площі листової поверхні), урожай загальної біомаси посівів та урожай біомаси зерна.

Розглянемо розподіл цих показників у Південному степу при зміні кліматичних умов за сценарієм *RCP 4,5* в порівнянні з показниками фотосинтетичної продуктивності озимої пшениці, які розраховані за середніми багаторічними даними (табл. 4.3).

Динаміка окремих показників фотосинтетичної діяльності наводиться на рис.4.1– 4.12.

Як видно із табл. 4.3 та рис. 4.1 – 4.3 площа листя в період максимального розвитку за базовий період коливалась від 2,65 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> в Миколаївській області до 3,36 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> в Одеській.

Розрахунки за сценарієм *RCP 4,5* по варіанту «клімат» показують, що в Одеській та Херсонській областях зменшення площі листя відбудеться на 12,5 % та на 8 %. В Миколаївській області відбудеться збільшення площі листя на 16 % і становитиме 3,08 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

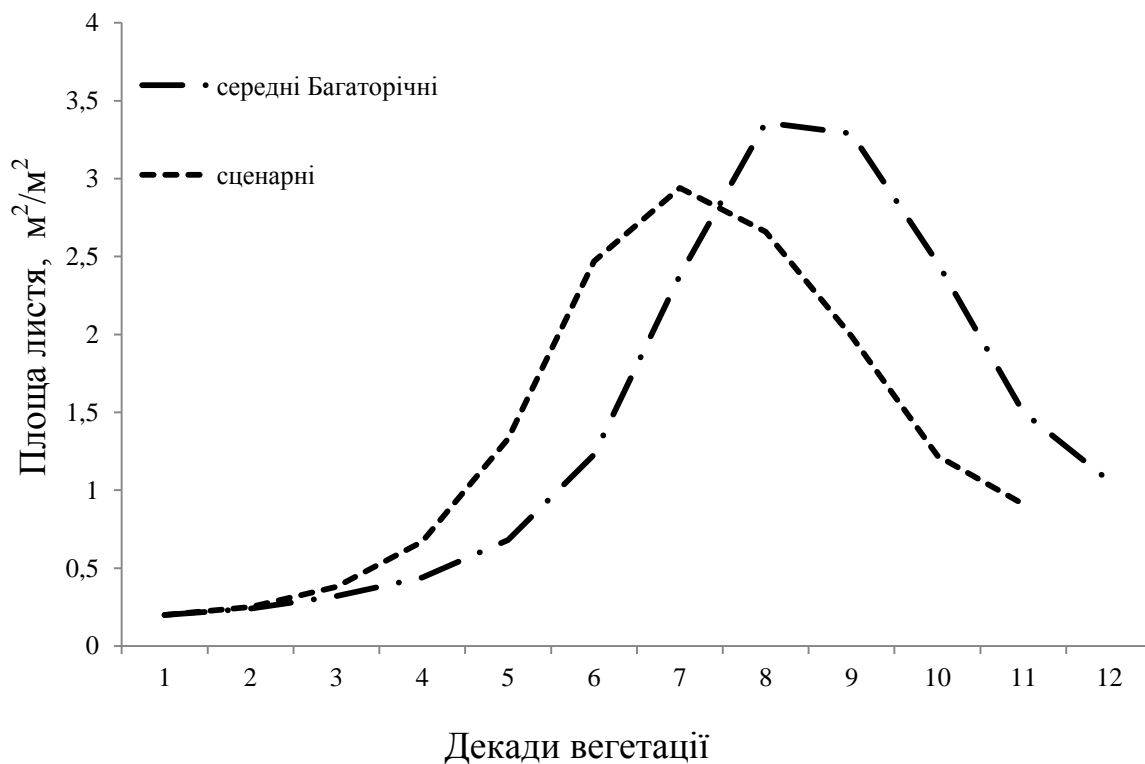


Рисунок 4.1 – Динаміка площі листя озимої пшениці в Одеській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.

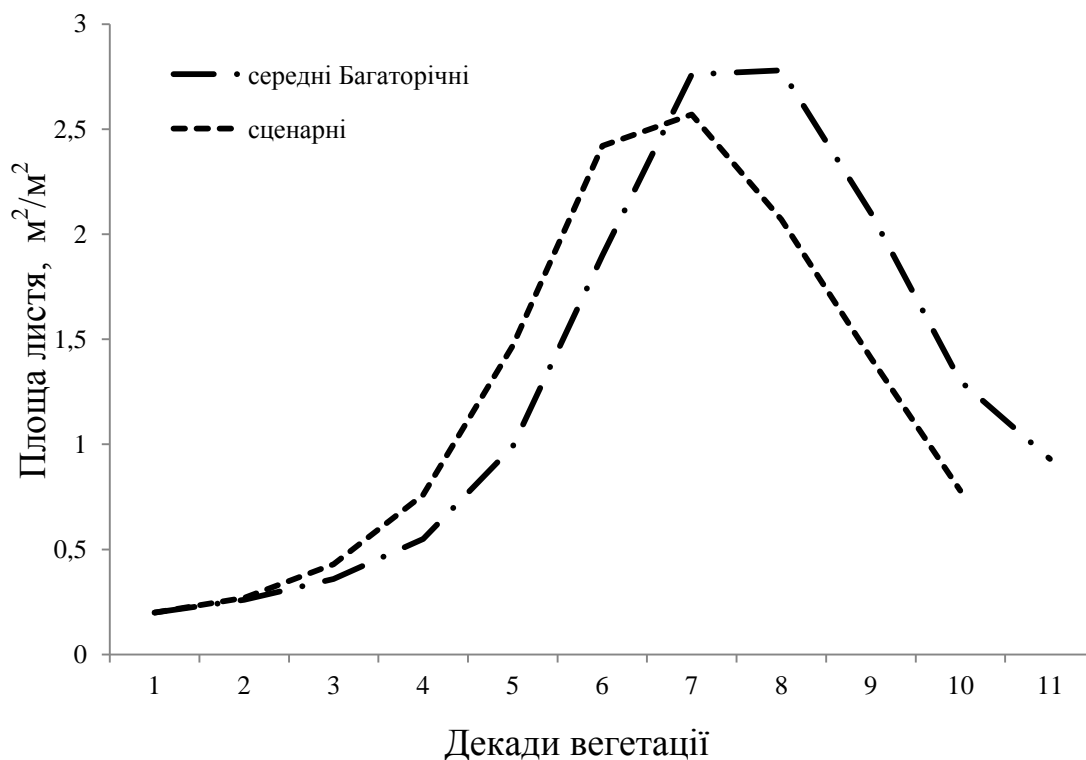


Рисунок 4.2 – Динаміка площі листя озимої пшениці в Херсонській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.

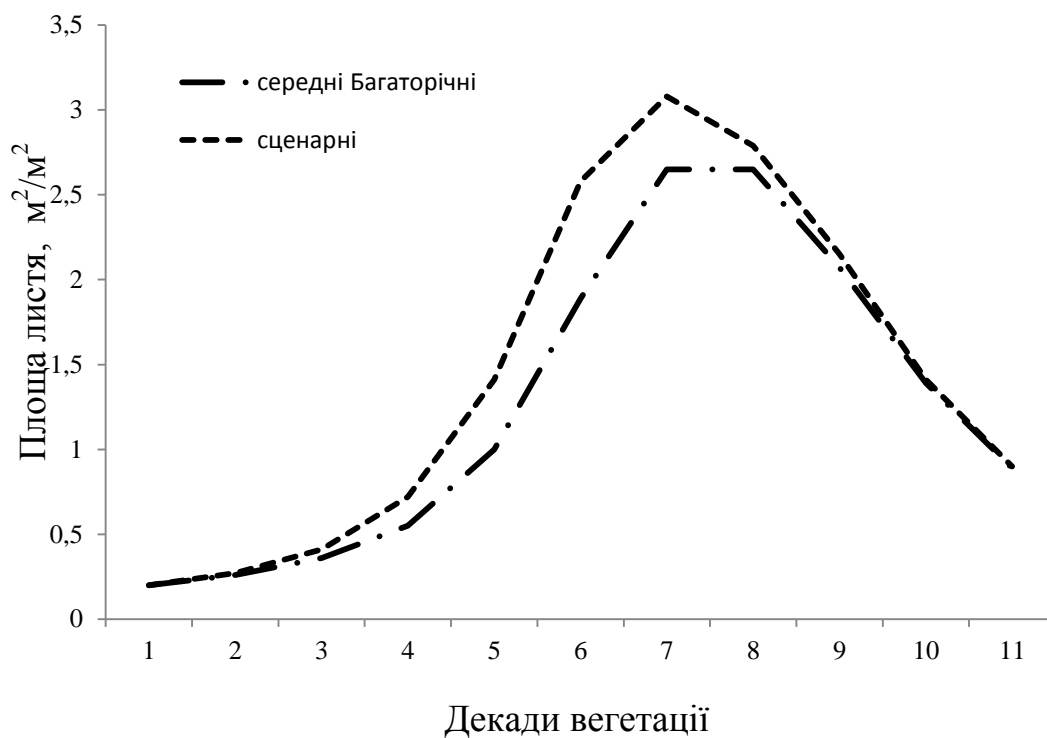


Рисунок 4.3 – Динаміка площі листя озимої пшениці в Миколаївській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.

Таблиця 4.3 – Порівняння показників фотосинтетичної продуктивності озимої пшениці за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.

Період	Варіант	Площа листя в період максимального розвитку, м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, г/м <sup>2</sup> дек	Приріст маси в період максимального розвитку, г/м <sup>2</sup> дек	Суха біомаса, г/м <sup>2</sup>	Фотосинтетичний потенціал, м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	Урожайність ц/га
Одеська область							
1986-2005	Базовий	3,36	104,1	273,7	939,3	170	35,2
<i>RCP 4,5</i>	Клімат	2,94	118,9	257,1	958,1	152	34,5
Херсонська область							
1986-2005	Базовий	2,78	103	237,2	777,6	140	29,3
<i>RCP 4,5</i>	Клімат	2,57	95,6	215,9	698,4	125	25
Миколаївська область							
1986-2005	Базовий	2,65	96,3	220,4	746,5	140	27,6
<i>RCP 4,5</i>	Клімат	3,08	109,2	251,8	975,3	158	34

Ще одним показником фотосинтетичної діяльності посівів пшениці є суха біомаса рослин. Середні багаторічні величини сухої маси і розрахунки її величин за сценарієм наводяться в табл. 4.3, а її динаміка впродовж вегетаційного періоду на рис. 4.4 – 4.6.

В базовий період середні багаторічні значення сухої маси пшениці змінювались від 746,5 г/м<sup>2</sup> в Миколаївській області до 939,3 г/м<sup>2</sup> в Одеській. Розрахунки сухої маси за сценарієм *RCP 4,5* показують, що відбудеться незначне її збільшення в Одеській області (до 2%) (рис.4.4), вагоме збільшення її сухої маси в Миколаївській області (рис. 4.6) до 30 % відносно середньо багаторічних (746,5 г/м<sup>2</sup>), яка буде становити 975,3 г/м<sup>2</sup>. Та зменшення маси в Херсонській області на 10 % (рис.4.5)

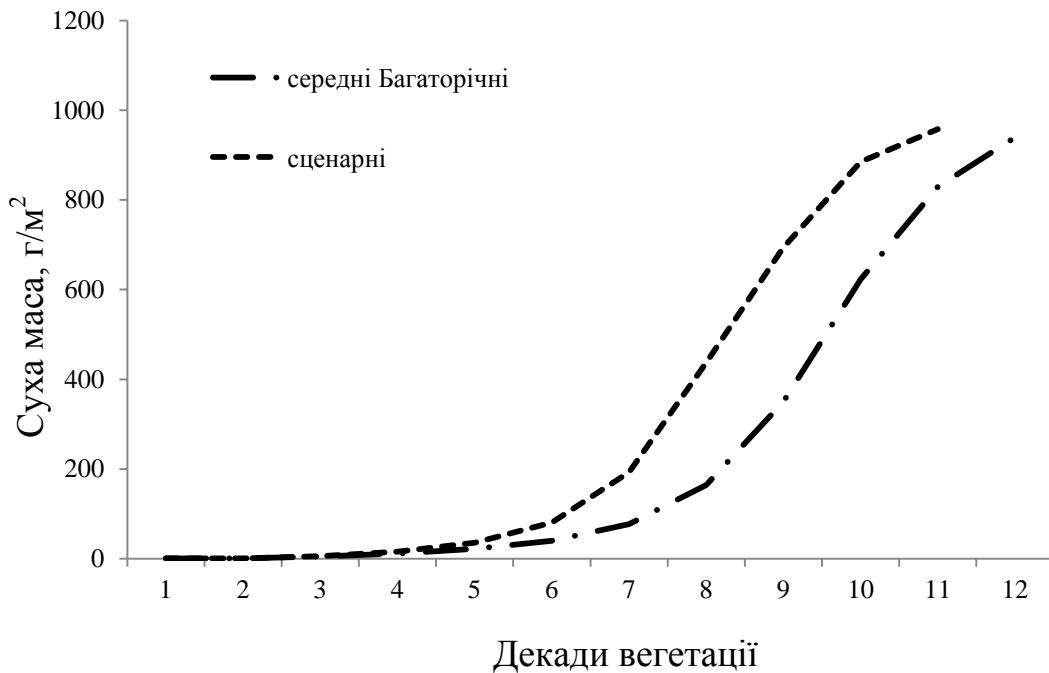


Рисунок 4.4 – Суша маса озимої пшениці в Одеській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.

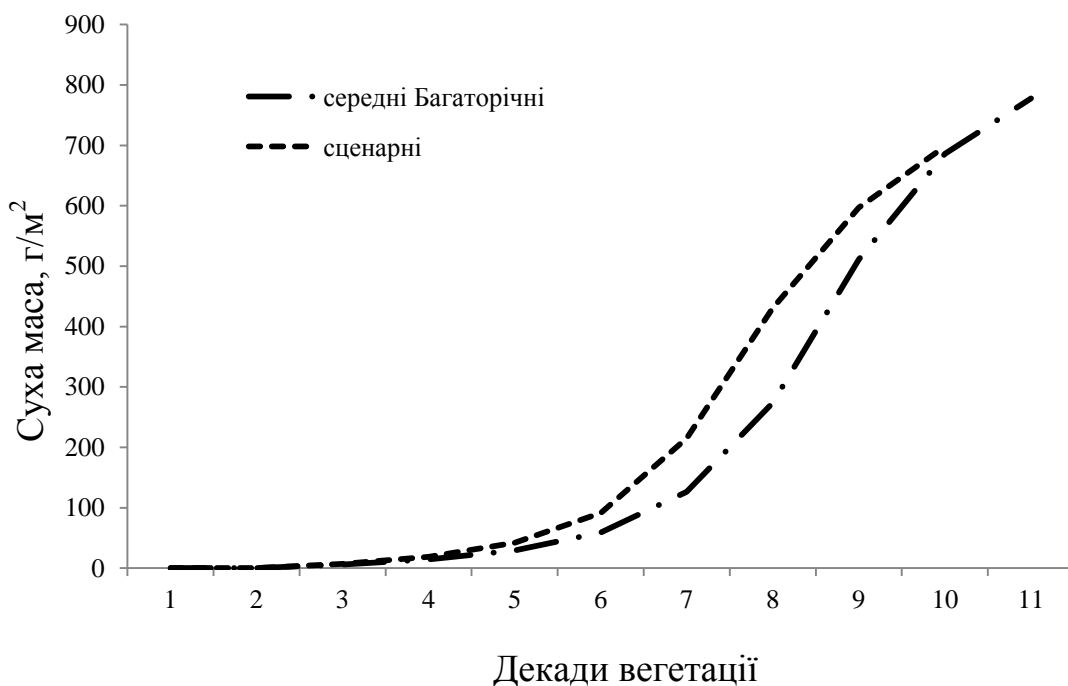


Рисунок 4.5 – Суша маса озимої пшениці в Херсонській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.

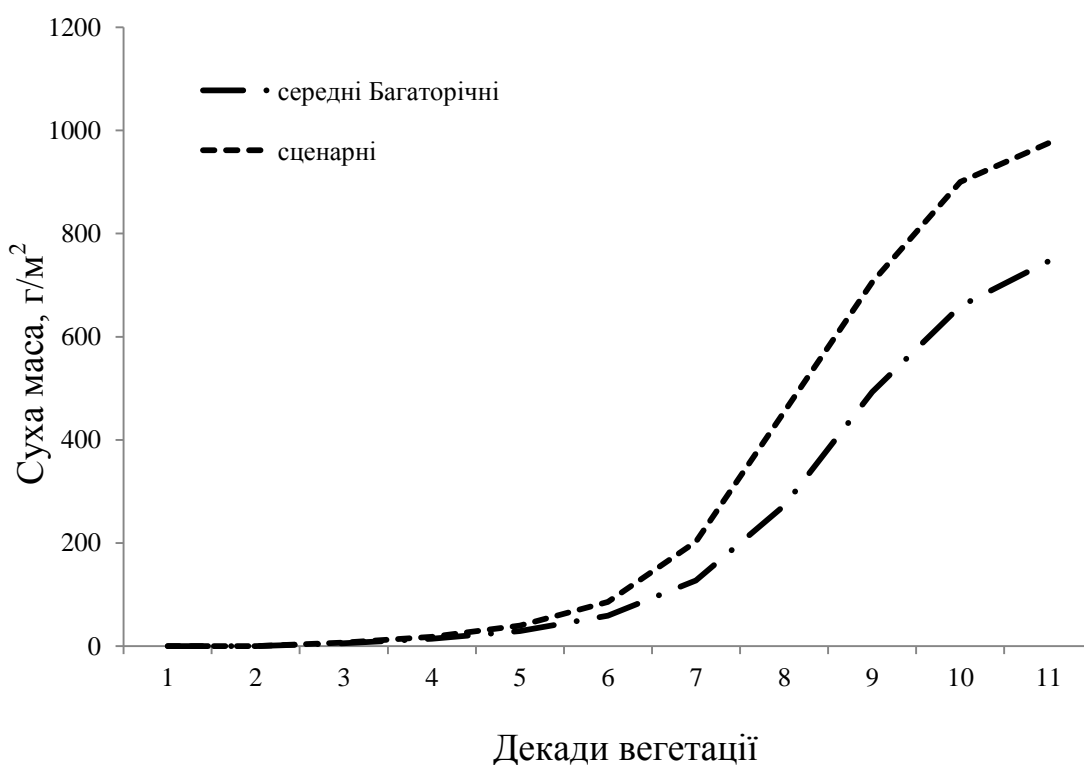


Рисунок 4.6 – Суша маса озимої пшениці в Миколаївській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.

У відповідності із змінами площі листя, сухої маси рослин буде змінюватись і значення фотосинтетичного потенціалу (табл. 4.3, рис. 4.7 – 4.9). Як видно із табл. 4.3 та рис. 6.7 – 6.9 за базовий період значення фотосинтетичного потенціалу були найменшими в Херсонській та Миколаївській областях і становили  $140 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , найбільшими в Одеській області –  $170 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

Розрахунки за сценарієм *RCP 4,5* показали, що в період з 2021 по 2050 рр. у двох областях Одеській та Херсонській відбудеться зменшення фотосинтетичного потенціалу до  $152 \text{ м}^2/\text{м}^2$  та  $125 \text{ м}^2/\text{м}^2$  відповідно, а в Миколаївській відбудеться його збільшення з  $140 \text{ м}^2/\text{м}^2$  до  $158 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

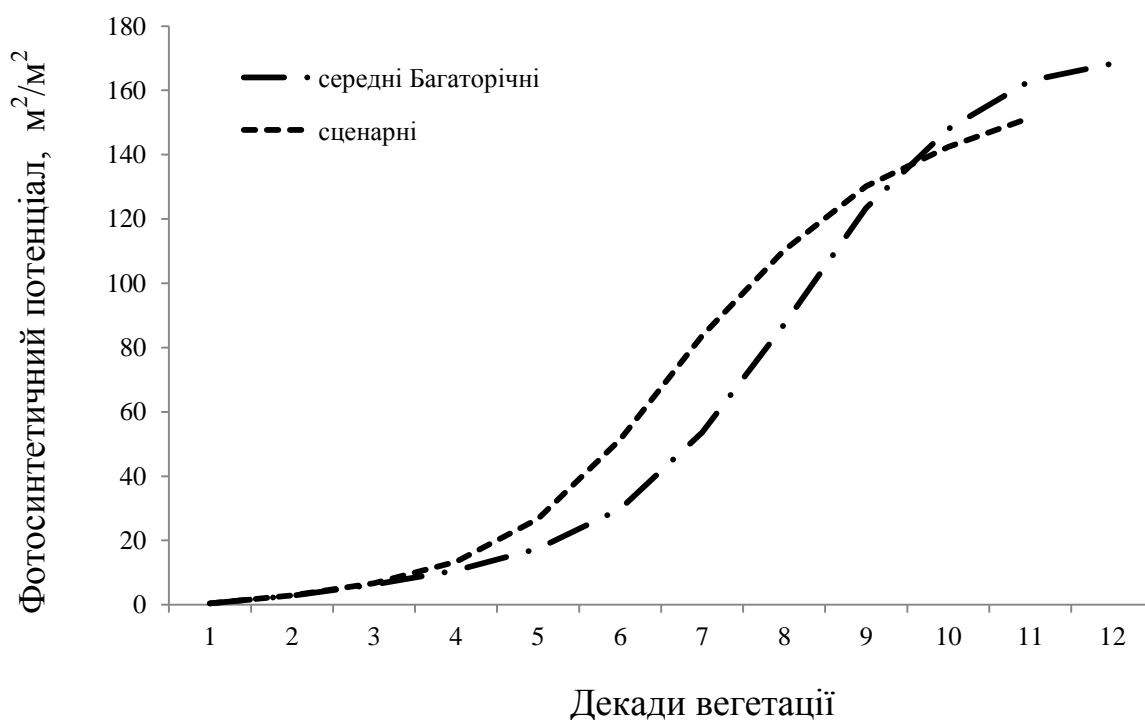


Рисунок 4.7 – Фотосинтетичний потенціал озимої пшениці в Одеській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.



Динаміка наростання фотосинтетичного потенціалу, розрахованого за сценарієм *RCP 4,5* у всіх областях до третьої декади вегетації співпадає із середніми багаторічними за базовий період.

Розглянемо як зміниться фотосинтетичний потенціал до кінця вегетації озимої пшениці. За сценарієм в Одеській області фотосинтетичний потенціал зменшиться на 10,5 % у порівнянні із середніми багаторічними значеннями (рис. 4.7), в Херсонській – зменшиться на 10,7 %, (рис. 4.8) в Миколаївській – зросте на 13 % (рис. 4.9).

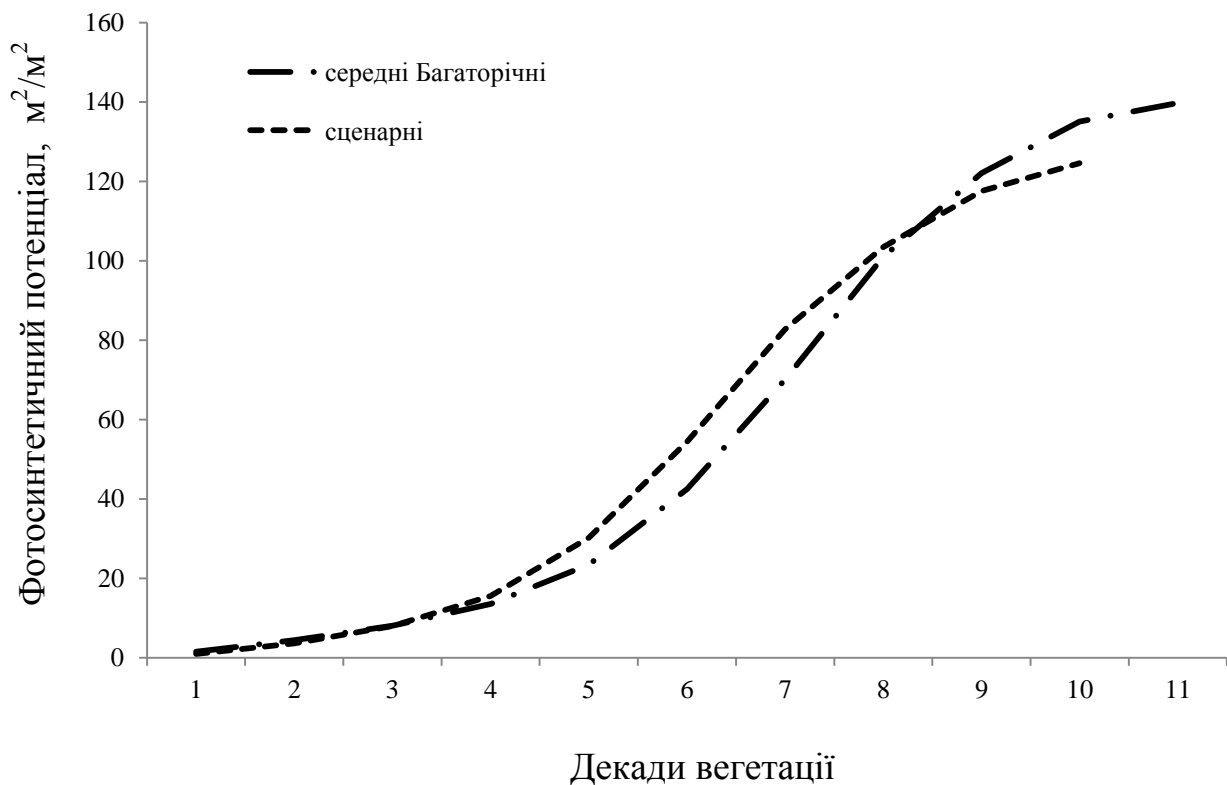


Рисунок 4.8 – Фотосинтетичний потенціал озимої пшениці в Херсонській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.

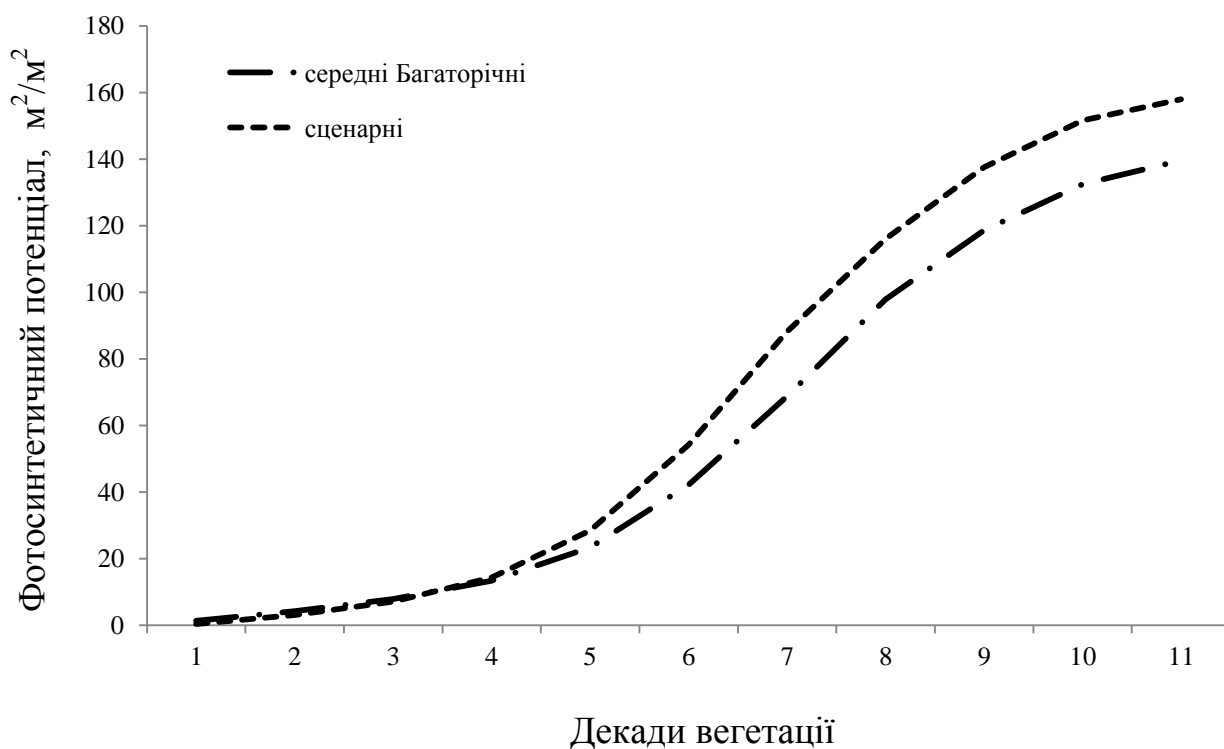


Рисунок 4.9 – Фотосинтетичний потенціал озимої пшениці в Миколаївській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.

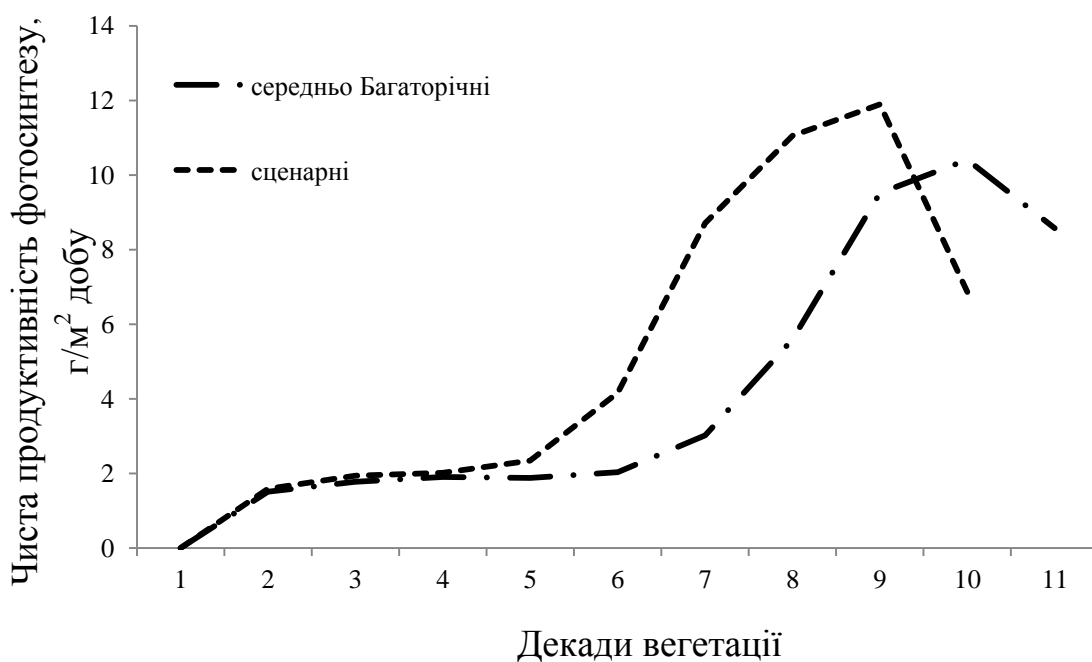


Рисунок 4.10 – Чиста продуктивність фотосинтезу озимої пшениці в Одеській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.

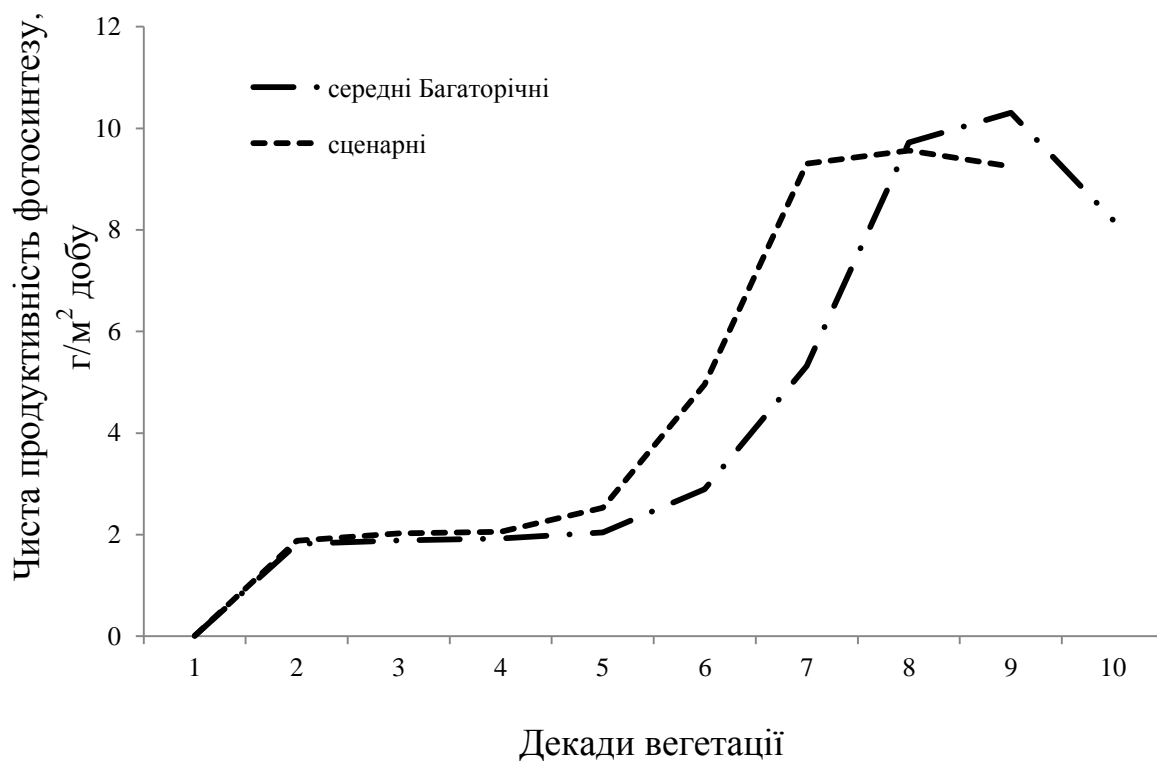


Рисунок 4.11 – Чиста продуктивність фотосинтезу озимої пшениці в Херсонській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.

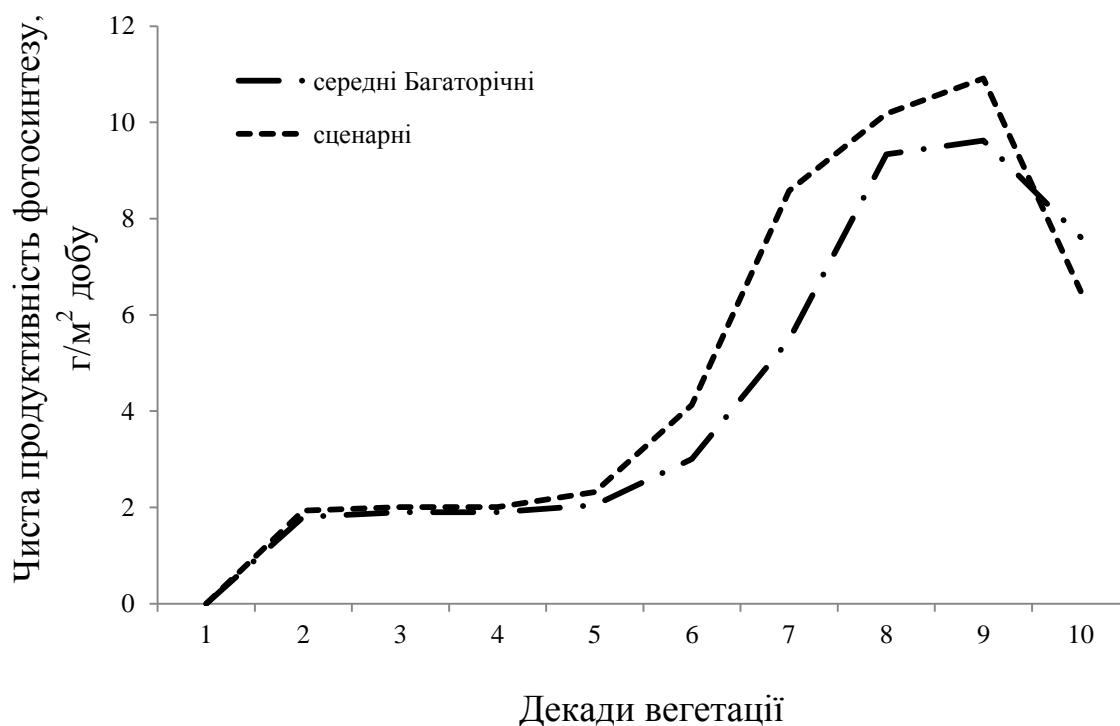


Рисунок 4.12 – Чиста продуктивність фотосинтезу озимої пшениці в Миколаївській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5*.

Ще одним показником фотосинтетичної діяльності рослин є чиста продуктивність фотосинтезу. Найвищі значення чистої продуктивності фотосинтезу за середніми багаторічними даними спостерігались в Одеській області і становили 10,4 г/м<sup>2</sup> добу (рис. 4.10). В Херсонській області вона становила 10,3 г/м<sup>2</sup> добу (рис. 4.11), в Миколаївській була найменшою і становила 9,6 г/м<sup>2</sup> добу (рис. 4.12).

В разі реалізації сценарію *RCP 4,5* чиста продуктивність фотосинтезу в Одеській та Миколаївській областях збільшиться на 1,48 г/м<sup>2</sup> добу та 1,29 г/м<sup>2</sup> добу, а в Херсонській області зменшиться на 0,74 г/м<sup>2</sup> добу.

Зменшення в Одеській та Херсонській областях до 2050 р. усіх показників фотосинтетичної продуктивності посівів озимої пшениці спричинить незначне зниження її врожаїв. А в Миколаївській області буде спостерігатись підвищення усіх показників фотосинтетичної продуктивності посівів озимої пшениці, а значить і підвищення врожаю.

Як видно із табл. 4.3 в базовий період врожай пшениці в Одеській області становив 35,2 ц/га, в Херсонській – 29,3 ц/га, в Миколаївській – 27,6 ц/га. Так, у Одеській та Херсонській областях очікується зниження врожаю за сценарієм *RCP 4,5* на 2 % та на 15 % і становитиме він 34,5 ц/га та 25 ц/га відповідно. А у Миколаївській області очікується підвищення врожаю за сценарієм *RCP 4,5* на 23 % і становитиме 34 ц/га

## ВИСНОВКИ

На основі обробки і аналізу матеріалів розрахунків продуктивності озимої пшениці в умовах змін клімату з використанням математичної моделі і сценарію RSP 4,5 можна зробити наступні висновки:

1. За умов реалізації сценарію змін клімату *RCP 4,5*, дати відновлення вегетації озимої пшениці суттєво відрізняться і змістяться на більш пізні строки в порівнянні з середніми багаторічними, в усіх областях Південного Степу України. Відчутні відхилення спостерігатимуться у Одеській області (21 день), менші в Миколаївській (16 днів), а найменші в Херсонській (14 днів).

2. Наступні фази розвитку озимої пшениці колосіння та воскова стиглість за сценарієм наставатимуть пізніше, ніж в базовий період: на 13 та на 10 днів в Одеській області, в Херсонській на 13 та 4 дні, в Миколаївській 16 та 9 днів відповідно. В наслідок зміни термінів настання фаз розвитку озимої пшениці зміниться і тривалість її вегетаційного періоду. Вона зменшиться з 109 днів (середньо багаторічна) до 97 днів у Одеській області, з 105 днів (базовий період) до 95 днів в Херсонській, в Миколаївській області тривалість вегетаційного періоду зменшиться із 107 днів (середньо багаторічна) до 100.

3. В період від відновлення вегетації до колосіння за сценарієм зміни клімату *RCP 4,5* середня температура буде коливатися від 10.0 °C в Херсонській області до 11.3 °C в Одеській області. В Одеській області середня температура збільшиться на +1,6 °C, в Херсонській та в Миколаївській областях середня температура збільшиться на 0,4 °C та на 0,7 °C відповідно.

4. В разі реалізації сценарію *rsp 45* чиста продуктивність фотосинтезу в Одеській та Миколаївській областях збільшиться на 1,48 г/м<sup>2</sup> добу та 1,29 г/м<sup>2</sup> добу, а в Херсонській області зменшиться на 0,74 г/м<sup>2</sup> добу.

5. Зменшення в Одеській та Херсонській областях до 2050 р. усіх показників фотосинтетичної продуктивності посівів озимої пшениці спричинить незначне зниження її врожаїв. А в Миколаївській області буде спостерігатись підвищення усіх показників фотосинтетичної продуктивності посівів озимої пшениці, а значить і підвищення врожаю.

В базовий період врожай пшениці в Одеській області становив 35,2 ц/га, в Херсонській – 29,3 ц/га, в Миколаївській – 27,6 ц/га. Так, у Одеській та Херсонській областях очікується зниження врожаю за сценарієм *RCP 4,5* на 2 % та на 15 % і становитиме він 34,5 ц/га та 25 ц/га відповідно. А у Миколаївській області очікується підвищення врожаю за сценарієм *RCP 4,5* на 23 % і становитиме 34 ц/га.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Польовий А. М. Сільськогосподарська метеорологія. –Одеса.: ТЕС, 2012.- 628 с.
2. Рослинництво Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. К.: Аграрна освіта, 2001. – 591 с.
3. Божко Л.Ю. Агрометеорологічні розрахунки та прогнози. Навчальний посібник.- Київ. : КНТ. 2005. 212 с.
4. Вериго С.А. Прогноз изменения запасов влаги в почве по периодам вегетации. Руководство по составлению агрометеорологических прогнозов.-Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 301 с.
5. Уланова Е.С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. – Л.: Гидрометеиздат, 1975.-275 с.
6. Уланова Е.С. Методические указания по составлению долгосрочных прогнозов урожайности озимой пшеницы в основных районах ее возделывания. – Л.: Гидрометеиздат, 1977.-32 с.
7. Дмитренко В.П. Методические указания по составлению прогноза урожайности озимой пшеницы на территории УССР. – Киев: отпечатано на множительном аппарате УГМС УССР, 1978.- 36 с.
8. Дмитренко В.П.Погода, клімат і урожай польових культур.-Київ: Ніка – Центр, 2010.- 618 с.
9. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України./ Під ред.. С.М. Степаненка та А.М. Польового. –Одеса.: «Екологія» , 2011- 693 с.
- 10.Свисюк И.В. Погода, интенсивная технология и урожай озимой пшеницы. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 236 с
11. Польовий А. М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроecosystem. Навчальний посібник.- Київ.: КНТ, 2007. – 342с.
12. Польовий А.М. Моделювання водно-гідрометеорологічного режиму та продуктивності фітоценозів Конспект лекцій. – Одеса, 2013

13. Практикум з сільськогосподарської метеорології. /А.М. Польовий, Л.Ю. Божко, В.М. Ситов, Ярмольська О.Э. – Одеса: Вид-во "ТЄС", 2002. – 400с.
14. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. /Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж. – С-Пб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2006. – 396 с.
15. Врублевская А.А., Гордейчук О.П., Миротворская Н.К. Статистическая оценка поля температуры и осадков с целью выделения климатически однородных регионов на территории Украины // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2001. – Вип. 44. – С. 3-9.
16. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України [монографія] / С.М. Степаненко, А.М. Польовий, Є.П. Школьний, Е.М. Серга, В.М. Хохлов; ред.: С.М. Степаненко; Одес.держ.екол.ун-т. – О.:Екологія, 2011. – 694 с.
17. П'яте національне повідомлення України з питань зміни клімату. – К: Мінприроди України, 2009. – 282 с.
18. Jacob D. A note to the simulation of the annual and interannual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin // Meteorology and Atmospheric Physics. – 2001. – Vol.77, Issue 1-4. – P. 61-73.
19. Samuelsson P., Jones C., Willén U., Ullerstig A., Gollvik S., Hansson U., Jansson C., Kjellström E., Nikulin G., Wyser K. The Rossby Centre Regional Climate model RCA3: model description and performance // Tellus. – 2011. – Vol. 63A. – P. 4-23.
20. <http://agrosience.com.ua/plant/biologichni-osoblyvosti-ozymoi-pshenytsi>.
21. <http://agrosience.com.ua/plant/fazy-rostu-ozymoi-pshenytsi>.
22. <http://subject.com.ua/agriculture/crop/4.html>.



## ДОДАТОК

```

*****
с          БАЗОВА ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ
с          СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР
*****

      common
w0(15),ts(15),ss(15),dv(15),inf(50),tmax(15)
      common n,t0,n2,n1,fi
      Character*4 a1,a2,a3,a4
      real inf
      integer t0,dv
      kb=1
      open
(unit=5,file='modell1.dat',status='old',form='formatted'
)
      Open (UNIT=6,FILE='RESULT1.dat')
      read(5,100)kb
      do 30 i=1,kb
        read(*,116) a1,a2,a3,a4
        read(*,100)n,t0,n1,n2,fi
        read(*,102) (tmax(j),j=1,n)
        read(*,102) (w0(j),j=1,n)
        read(*,102) (ts(j),j=1,n)
        read(*,102) (ss(j),j=1,n)
        read(*,115) (dv(j),j=1,n)
        read(*,101) (inf(j),j=1,28)
        write(*,119)
        WRITE(6,234)
        WRITE(6,236)
234 FORMAT(10X, "БАЗОВА ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ")
236 FORMAT(10X, " ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ ")
        write(*,119)
        write(6,117)
117 format(10x, " ВХІДНА ІНФОРМАЦІЯ ")
        write(6,118)
        write(*,116) a1,a2,a3,a4
        write(*,100) n,t0,n1,n2,fi
        write(*,102) (tmax(j),j=1,n)
        write(*,102) (w0(j),j=1,n)
        write(*,102) (ts(j),j=1,n)
        write(*,102) (ss(j),j=1,n)
        write(*,115) (dv(j),j=1,n)
118 format(1x,72('-'))

```

```

        write(*,118)
        write(*,101) (inf(j),j=1,28)
        write(*,119)
119  format(1x,72('='))
        write(*,120)
120  format(1x,'" РЕЗУЛЬТАТИ РОЗПАХУВАННЯ"')
        write(*,119)
        call dmpp
100  format(4i3,f6.2)
101  format(10f8.3)
102  format(14f5.1)
115  format(24i3)
116  format(4a4)
    30  continue
        stop
        end
        subroutine dmpp
            dimension llm(15),qm(15),ts1m(15),ts2m(15)
            common
w0(15),ts(15),ss(15),dv(15),inf(50),tmax(15)
            dimension
j1m(15),gim(15),flm(15),ksi(15),gamfm(15),blm(15),1
bsm(15),brm(15),bpm(15),aflm(15),arlm(15),tss(150),
ts11(15)
            real ksi,llm
            real*8 ksifl,top,td
            integer t0,dv,gi,g2,gim
            common n,t0,n1,n2,fi
            real m,ml,ms,mr,mp,ll,ls,lp,mu,ksifp,inf,
j0,jj,mz
            drost(ts2,topt,cc)=(2.3026*(2./topt)*10.** (2.-
(2./topt)*ts2)*
* 1000.*cc)/(1.+10.** (2.- (2./topt)*ts2))**2
            ff01(bk,b,jj)=bk*b*jj/(bk+b*jj)
            j1=1
            gi=0
            ml=inf(1)
            ms=inf(2)
            mr=inf(3)
            mp=inf(4)
            sss=inf(25)
            sss1=inf(26)
            ll=inf(5)
            ts2=0
            j2=0

```

```

c      write(*,331)ml,ms,mr,mp
331  format(1x,4f7.3)
      write(*,121)
121  format(' ')
      write(*,122)
122  format(10x,'  " CYXA БИОМАСА ОРГАНІВ, (г/м2) "')
      write(*,120)
109
format(4x,'i'dek',1x,'i','cyt',2x,'i',3x,'ml',3x,
'i',3x,'ms',3x,1'i',3x,'mr',3x,'i',4x,'mp',2x,
'i',3x,'m',4x,'i')
      write(*,109)
120  format(4x,70('-'))
      write(*,120)
      do 300 j=1,n
          nn=dv(j)
          do 310 i=1,nn
              ts1=ts(j)-inf(27)
              if(ts1.lt.0)ts1=0
              ts2=ts2+ts1
              tss(i+j2)=ts2
310  continue
          j2=j2+dv(j)
          ts11(j)=ts1
300  continue
      do 99 j=1,n
          s1=0
          s2=0
          s3=0
          s4=0
          s5=0
          s6=0
          s7=0
          s8=0
          s9=0
          s10=0
          s11=0
          ts1=ts11(j)
          m=ml+ms+mr+mp
          fm=ml+ms
c      write(*,334)m

334  format(1x,f10.2)
      nn=dv(j)
      do 400 i=1,nn

```

```

444 format(1x,i5,2x,f7.3)
      ts2=tss(gi+1)
c      write(*,444)gi,tss(gi)
      delta=0.017453*(0.473*(t0+gi)-0.196e-
2*(t0+gi)**2-0.407e-5*
*      (t0+gi)**3-0.616)
      a=sin(0.017453*fi)*sin(delta)
      b=cos(0.017453*fi)*cos(delta)
      tz=12+3.8197*acos(-a/b)
      tv=24-tz
      s1=s1-delta
      s2=s2+a
      s3=s3+b
      s4=s4+tz
      s5=s5+tv
C      write(6,335)tv,delta
335 format(1x,2f8.2)
      a1=-100.*alog(Inf(15))/(Inf(8)**2)
      alf=exp(-a1*((ts2-Inf(8))/10)**2)
      a1=-100.*alog(Inf(16))/(Inf(9)**2)
      arl=exp(-a1*((ts2-Inf(9))/10)**2)
      dml=drost(ts2,Inf(10),Inf(21))
      dms=drost(ts2,Inf(11),Inf(22))
      dmr=drost(ts2,Inf(12),Inf(23))
      r1=ts2-Inf(14)
      if(r1.lt.0) goto 62
      dmp=drost(r1,Inf(13)-Inf(14),Inf(24))
      goto 63
62      dmp=0.0
63      s6=s6+alf
      s7=s7+arl
      s8=s8+dml
      s9=s9+dms
      s10=s10+dmr
      s11=s11+dmp
      gi=gi+1
400 continue
      delta=s1/dv(j)
      a=s2/dv(j)
      b=s3/dv(j)
      tz=s4/dv(j)
      tv=s5/dv(j)
      taud=tz-tv
      afl=s6/dv(j)
      arl=s7/dv(j)

```

```

        dml=s8/dv(j)
        dms=s9/dv(j)
        dmr=s10/dv(j)
        dmp=s11/dv(j)
        dm=dml+dms+dmr+dmp
c      write(6,336) dml,dms,dmp,dmr,dm
336    format(1x,5f10.3)
        bl=dml/dm
        bs=dms/dm
        br=dmr/dm
        bp=dmp/dm
        if( n2.eq.1 ) goto 1
        if( n2.eq.2 ) goto 2
        if( n2.eq.3 ) goto 3
        nn1=30-n1+1
        if (gi.le.nn1) goto 7
        if (gi.le.nn1+31) goto 8
        td=0.873*tmax(j)-0.686
goto 9
1      nn1=31-n1+1
        if (gi.le.nn1) goto 4
        if (gi.le.nn1+30) goto 5
        if (gi.le.nn1+61) goto 6
        if (gi.le.nn1+91) goto 7
        if (gi.le.nn1+122) goto 8
        td=0.873*tmax(j)-0.686
goto 9
2      nn1=30-n1+1
        if (gi.le.nn1 ) goto 5
        if (gi.le.nn1+30) goto 6
        if (gi.le.nn1+61) goto 7
        if (gi.le.nn1+92) goto 8
        td=0.873*tmax(j)-0.686
goto 9
3      nn1=31-n1+1
        if (gi.le.nn1 ) goto 6
        if (gi.le.nn1+30) goto 7
        if (gi.le.nn1+61) goto 8
        td=0.873*tmax(j)-0.686
goto 9
4      td=tmax(j)-3.
goto 9
5      td=0.835*tmax(j)-1.365
goto 9
6      td=0.856*tmax(j)-1.008

```

```

      goto 9
7      td=0.891*tmax(j)-1.081
      goto 9
8      td=0.823*tmax(j)+0.559
9      q=12.66*ss(j)**1.31+315.0*(a+b)**2.1
      j0=0.5*q/(taud*60)
      top=inf(28)
      w1=w0(j)/inf(7)
      ksifl=((td+10)/32)**(0.11174*(td-top)/10)*
6          ((36-td)/14)**(0.9041*(td-top)/10)
c      ***uvcvjic
      if( ksifl.gt.1 ) ksifl=1
      if( ksifl.lt.0.1 ) ksifl=0.1
      if(inf(7).le.85) gamf=2.899*exp(-0.9117*w1) -
3.64*exp(-2.73*w1)
      if(inf(7).gt.85) gamf=4.200*exp(-0.703*w1) -
5.48*exp(-1.648*w1)
      if( gamf.gt.1 ) gamf=1
      if( gamf.lt.0.1 ) gamf=0.1
      jj=j0/(1.+0.5*ll)
      f0l=ff0l(sss,sss1,jj)
      ftl=afl*f0l*ksifl*gamf
      fl=0.68*ftl*ll*taud*0.1
      dmm=fl-arl*(0.015*m+0.20*fl)
      v1=0.3*ml*ts1/(tss(j2)-2.*inf(10))
      v2=0.3*ms*ts1/(tss(j2)-2.*inf(11))
      v3=0.3*mr*ts1/(tss(j2)-2.*inf(12))
      if(ts2.lt.2*inf(10)) v1=0
      if(ts2.lt.2*inf(11)) v2=0
      if(ts2.lt.2*inf(12)) v3=0
      ml=ml+(b1*dmm-v1)*dv(j)
      ms=ms+(bs*dmm-v2)*dv(j)
      mr=mr+(br*dmm-v3)*dv(j)
      mp=mp+(bp*dmm+v1+v2+v3)*dv(j)
c      write(6,337)ml,ms,mp,mr
337 format(1x,4f10.3)
      if((b1*dmm-v1)*dv(j).ge.0) ll=ll+(b1*dmm-
v1)*dv(j)/inf(20)
      if((b1*dmm-v1)*dv(j).lt.0) ll=ll+(b1*dmm-
v1)*dv(j)/(inf(20)*0.3)
      if(ll.lt.0) ll=0.001
      j1m(j)=j
      gim(j)=gi
      flm(j)=fl
      ksi(j)=ksifl

```

```

gamfm(j)=gamf
blm(j)=bl
bsm(j)=bs
brm(j)=br
bpm(j)=bp
aflm(j)=afl
arlm(j)=arl
llm(j)=ll
qm(j)=q
ts1m(j)=ts1
ts2m(j)=ts2
write(*,139)j,gi,ml,ms,mr,mp,m
139
format(4x,'i',i5,'i',i3,2x,'i',f7.3,1x,'i',1x,f7.3,'i',
1x,f7.3,
1'i',f8.3,'i',f8.3,'i')
j1=j1+1
99 continue
write(*,120)
j1=j-1
write(*,121)
write(*,170)
170 format(10x,'Площа листя, радіація, суми т-р
функції впливу')
write(*,140)
write(*,143)
143
format(4x,'i','dek',1x,'i','cyt',2x,'i',2x,'LL',1x,'i',
3x,'q',4x,
1'i',2x,'ts1',2x,'i',3x,'ts2',2x,'i',2x,'fl',2x,'i',1x,
'ksifl',1x
1,'i',' gamf ','i')
write(*,140)
do 154 ji=1,j1

write(6,151)j1m(ji),gim(ji),llm(ji),qm(ji),ts1m(ji),ts2
m(ji)
1,flm(ji),ksi(ji),gamfm(ji)
154 continue
151 format(4x,'i',i3,1x,'i',1x,i3,1x,'i',f5.2,
1'i',f8.3,'i',f7.3,'i',f8.3,'i',f6.3,'i',f7.3,'i',1x,f5
.2,'i')
write(*,121)

```

```

        write(*,140)
        write(*,153)
153  format(15x,'Ростові функції, онтоген.крива
фотосинт. I дихання')
        write(*,140)
        write(*,149)
        write(*,140)
149  format(4x,'i','DEK',1x,'i',1x,
'CYT',1x,'i',3x,'bl',3x,'i',13x,'bs',3x,'i',3x,'br',
3x,'i',3x,'bp',3x,'i',2x,'afl',2x,'i',3x,
1'ar1',3x,'i')
        do 141 i5=1,j1
        write(6,150)j1m(i5),gim(i5),blm(i5),
1 bsm(i5),brm(i5),bpm(i5),aflm(i5),arlm(i5)
141  continue
        write(*,140)
150  format(4x,'i',i3,1x,'i',1x,i3,1x,'i',2x,
1f5.3,1x,'i',2x,f5.3,1x,'i',2x,f5.3,1x,'i',2x,f5.3,
1x,'i',11x,f5.3,1x,'i',1x,f5.3,3x,'i')
140  format(4x,67('-'))
C    CLOSE (UNIT=6)
        return
        end

```