

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Вплив кліматичних змін на радіаційні та волого-
теплові ресурси в Степовій зоні України»

Виконала студентка 2 курсу групи МАЕ-61
спеціальності 103
(шифр і назва)

Освітня програма Агрометеорологія
(назва)

Кулинська Христина Валеріївна
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

Керівник к.геогр.н., доцент
Божко Людмила Юхимівна
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Рецензент к.геогр.н., доцент
Бояринцев Євген Львович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Одеса 2018 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра агрометеорології та агрометеорологічних прогнозів
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 Науки про Землю
Освітня програма Агрометеорологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри
агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів
Польовий А.М.**

“ 26 ” березня 2018 року

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

Кулинська Христина Валеріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Вплив кліматичних змін радіаційні та волого-теплові ресурси в Степовій зоні України»

керівник роботи Божко Людмила Юхимівна, к.геогр.н., доцент-

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «2» листопада 2017 року
№321-С

2. Строк подання студентом роботи 01 червня 2018 року.

3. Вихідні дані до роботи: Багаторічні спостереження за метеорологічними елементами гідрометеорологічних станцій Степової зони України за період з 1986 по 2005 роки тарозрахунки агрокліматичних показників на період до 2050 року за сценарієт RSP4.5 та RSP8.5

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити. Розрахунки показників радіаційного, теплового та водного режимів по території Степової зони України.

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

Графіки порівняльних характеристик середніх багаторічних агрокліматичних показників з розрахованими за сценаріями змін клімату.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 26 березня 2018 року.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання			
2	Вивчення літературних джерел і підготовка першого і другого розділу роботи			
3	Розрахунки середніх багаторічних величин осіннього періоду і періоду літньої вегетації озимої пшениці та за сценаріями			
4	Рубіжна атестація			
5	Робота з розрахунками, таблиці і графіки та аналіз отриманих результатів			
6	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.			
7	Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи і презентаційного матеріалу до публічного захисту			
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			

Студент

_____ Кулинська Х.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Божко Л.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кулинська Х. В. Тема: «Вплив кліматичних змін на радіаційні та волого – теплові ресурси в Степовій зоні України»

Майбутні зміни клімату є однією з найбільших проблем, що стоїть перед людством в новому столітті. Потреба в інформації про зміни клімату необхідна для того, щоб оцінити їх вплив на людину і природні системи з метою розвитку відповідних засобів адаптації і стратегії пом'якшення негативного впливу кліматичних змін на агрокліматичні умови росту та розвитку рослин, формування їх урожайності. Тому запропонована робота є досить актуальною.

Мета роботи полягає в ознайомленні з методами розрахунку радіаційних, водно – теплових показників, ознайомленні зі сценаріями змін клімату, та з моделлю розрахунків кліматичних показників за період з 1986 по 2005 рр. та за період з 2015 по 2050 рр. та проведенні їх порівняння.

Перед виконавцем стояли такі задачі:

- ознайомитися з особливостями клімату України;
- вивчити динамічну модель розрахунку термічних показників;
- розрахувати середні багаторічні показники радіаційних,
 - водно – теплового режиму та їх очікувані величини на період 2015 – 2050рр;
 - виконати порівняльний аналіз результатів розрахунків.

Об'єктом дослідження є показники радіаційного, водно – теплового режиму в Степовій зоні України в умовах зміни клімату.

Методи дослідження: в основу роботи положені сценарії змін клімату та апарат математичного моделювання.

Основні результати: виконана оцінка зміни середніх багаторічних агрокліматичних показників радіаційного та водно – теплового режиму в умовах зміни клімату.

Теоретичне та практичне значення: отриманні результати розрахунків за динамічною моделлю, що дозволяють визначитись з тим які зміни очікуватимуться в Північній та Південній зоні України під впливом змін клімату.

Структура і обсяг роботи: 68 сторінок, 12 рисунків, 9 таблиць, 25 літературних джерела.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: сонячна радіація, фотосинтетично активна радіація, фотосинтетичний потенціал, температура, сума температур, тривалість періоду, зміна клімату, сума опадів, коефіцієнт зволоження.

SUMMARY

Kulinskaya Kh. V. Subject: «Influence of climate change on radiation and water – thermal resources in the Steppe zone of Ukraine»

Future climate change is one of the greatest challenges facing humanity in the new century. The need for information on climate change is needed in order to assess their impact on humans and natural systems in order to develop appropriate adaptation tools and strategies to mitigate the negative effects of climate change on agro-climatic conditions of plant growth and development, and the formation of their yields. Therefore, the proposed work is very relevant.

The purpose of the work is to get acquainted with the methods of calculating radiation, water and heat indicators, to familiarize with climate change scenarios, and with the model of calculations of climatic indicators for the period from 1986 to 2005 and for the period from 2015 to 2050 and to compare them.

The performers were faced with the following tasks:

- to familiarize themselves with the peculiarities of the climate of Ukraine;
- to study the dynamic model of calculation of thermal indicators;
- to calculate the average multi-year indicators of radiation, water-thermal regime and their expected values for the period 2015 - 2050rr;
- perform a comparative analysis of the results of the calculations.

The object of research is the indicators of radiation, water – thermal regime in the Steppe zone of Ukraine in conditions of climate change.

Research methods: the basis of the work is laid out scenarios of climate change and the apparatus of mathematical modeling.

Main results: the estimation of the change in the average long-term agro-climatic indicators of radiation and water-thermal regime in conditions of climate change is carried out.

Theoretical and practical significance: the results of calculations according to the dynamic model are obtained, which allow to determine what changes will be expected in the Northern and Southern zone of Ukraine under the influence of climate change.

Structure and scope of work: 68 pages, 12 figures, 9 tables, 25 literary sources.

KEY WORDS: solar radiation, photosynthetic active radiation, photosynthetic potential, temperature, temperature, period duration, climate change, precipitation amount, humidity coefficient.

ЗМІСТ		
	ВСТУП	8
1	МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ РАДІАЦІЙНОГО ТА ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ	10
	1.1 Методи оцінки радіаційних ресурсів.....	10
	1.2 Методи оцінки теплових ресурсів.....	18
	1.3 Методи оцінки водних ресурсів	20
2	ОПИС СЦЕНАРІЇВ ЗМІН КЛІМАТУ.....	27
3	ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ РЕСУРСИ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ.....	31
	3.1 Характеристика радіаційних ресурсів.....	31
	3.2 Характеристика теплових ресурсів.....	42
	3.3 Характеристика водних ресурсів.....	49
	ВИСНОВКИ	65
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	67
	ДОДАТКИ.....	70

ВСТУП

Клімат як багаторічний режим погоди є складовою частиною географічного середовища. Він постійно взаємодіє з іншими елементами геосфери, впливаючи на них і зазнаючи їхнього впливу. Спільний вплив сонячної радіації, теплового режиму, добових і річних коливань температури, атмосферних опадів, зволоження, фазових переходів води протягом року, швидкості і сили вітру при різних його напрямках призводять до змін у рельєфі, у розвитку ґрунтоутворюючих процесів, в рослинному покриві, балансі органічних і мінеральних речовин [2, 24, 25].

Зміна клімату – це суттєва, глобальна екологічна проблема. Науковою спільнотою світу відзначено, що потепління наприкінці двадцятого та на початку двадцять першого століття спричинило суттєві зміни кліматичних умов на всій Земній кулі. Сьогоднішній клімат характеризує високі темпи зміни глобального волого – температурного режиму в значній товщі атмосфери та зростання повторюваності небезпечних явищ погоди, які наносять значний збиток суспільству. Сільське господарство є найбільш чутливою галуззю економіки до коливань та змін клімату, тому необхідне детальне дослідження, аналіз і прогноз зміни кліматичних ресурсів у зв'язку зі змінами клімату [3,4,6].

Україна за своїм географічним положенням, структурою народного господарства, станом довкілля є однією з країн, для яких соціально – економічні наслідки зміни клімату можуть бути незворотними. Тому необхідне рішення головної агрометеорологічної задачі – оцінки зміни агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур та впливу цих змін на їхню продуктивність [8].

Фактори, які впливають на ріст та розвиток рослин поділяються на три групи:

- кліматичні (сонячна радіація, тепло, волога, газовий склад повітря);
- едофізичні (структура ґрунтів та їх хімічний склад);
- біотичні (різні мікроорганізми, а також різні рослинні і тваринні організми як корисні, так і шкідливі).

Рослини впродовж вегетаційного періоду потребують забезпечення вимог до факторів навколишнього середовища і тільки гармонійне сполучення усіх необхідних факторів забезпечують найкращий розвиток рослин та формування високого врожаю [8,13].

Метою даного дипломного проекту є :

- ознайомлення з методами розрахунку показників радіаційно та водно – теплового режиму;
- ознайомлення зі сценаріями змін клімату та моделлю розрахунків;
- дослідження впливу змін клімату на агрокліматичні ресурси Степової зони України.

Вихідною інформацією є розрахунки радіаційних, температурних агрокліматичних показників та показників зволоження за період з 1986 по 2005 рр. (базовий період) та розрахункові за кліматичними сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 за період 2021 – 2050 рр.

1 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ РАДІАЦІЙНОГО ТА

ВОДНО – ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ

1.1 Методи оцінки радіаційних ресурсів

В зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря у Північній півкулі продовольча безпека України в значній мірі буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату. Це передбачає завчасну оцінку впливу очікуваних змін клімату на агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур [11].

Серед основних факторів життєдіяльності найважливішою є сонячна радіація як первинне джерело енергії всіх біологічних та фізичних процесів, які відбуваються в рослинних організмах. При цьому важливим є як інтенсивність і тривалість опромінювання рослин сонячним світлом, так і спектральний склад радіації, який визначає фотоморфогенетичний, фотосинтетичний та тепловий ефект впливу на рослини [2, 8, 4, 11].

Режим сонячної радіації та радіаційні властивості посівів є найважливішим фактором сільськогосподарського виробництва. Рослинний покрив перетворює сонячну радіацію в інші види – хімічну енергію, теплову а також обмінюється власним довгохвильовим випромінюванням з атмосферою та ґрунтом і є важливим фактором формування термічного режиму посівів та інших елементів фітоклімату [16,17,19].

Сонячна радіація є головним джерелом енергії для формування врожаїв сільськогосподарських культур. Енергетична потреба рослин виражається через потребу рослин у теплі (суми температур) та надходженням фотосинтетично активної радіації (ФАР), яка визначається сумами ФАР, що надходить до земної поверхні за період активної вегетації сільськогосподарських культур.

Фотосинтетична діяльність рослин залежить від багатьох факторів, серед яких одним із головних є сонячна радіація як первинне джерело усіх біологічних і фізичних процесів, які відбуваються в рослинах. За даними Тоомінга Х. Г. роль сонячної радіації в житті рослин багатостороння і визначається вона не тільки закономірностями зміни елементів фотосинтетичної діяльності рослин в залежності один від одного, але і під впливом змін агротехнічних заходів, густоти рослин, норм і термінів зрошення та норм і термінів живлення.

Фотосинтетична діяльність рослин у посівах характеризується величинами: площею листя, фотосинтетичним потенціалом, чистою продуктивністю фотосинтезу, коефіцієнтом господарської ефективності та коефіцієнтом енергетичної ефективності формування урожаю.

За біологічною дією на рослини діапазон короткохвильової радіації поділяється на ультрафіолетову, фотосинтетично активну (ФАР) та ближню інфрачервону (БІЧР). Для фізіологічних процесів, які визначають життєдіяльність рослин, найбільше значення має короткохвильова радіація з довжиною хвиль меншою за 4,0 мкм [13,19].

Вплив радіації на рослини визначається у трьох напрямках:

1. теплий ефект сонячної радіації. Із поглиненої рослинами сонячної енергії близько 70 % перетворюється в тепло і використовується для транспірації, для підтримки температури рослин та ін;
2. фотосинтетичний ефект сонячної радіації. Із поглиненої в інтервалі спектра 0,38 – 0,71 мкм радіації (область ФАР) до 28% використовується в процесі фотосинтезу для створення органічних речовин;
3. фотоморфогенетичний (регулюючий) ефект сонячної радіації в процесі росту і розвитку рослин. Активна частина радіації, що впливає на ці процеси, починається з ультрафіолетової частини, охоплює діапазон ФАР і закінчується на порозі близько 0,76 мкм, тобто в початковому діапазоні близької інфрачервоної радіації (БІЧР).

Ці ефекти впливу сонячної радіації поряд з іншими факторами довкілля значною мірою визначають закономірності розвитку рослинного покриву. Ось чому дані щодо радіаційного режиму як на верхній межі посіву, так і в середній його, є підставою для чинних методів агрометеорологічних розрахунків і прогнозів.

У процесі фотосинтезу використовується частина короткохвильової радіації, яка знаходиться в інтервалі $\lambda = 0,38 \dots 0,71$ мкм і називається фотосинтетично активною радіацією (ФАР). Процес трансформації поглиненої рослиною енергії світла в хімічну енергію органічних (і неорганічних) сполук називається фотосинтезом [9,16].

Це складний цикл біохімічних і біофізичних процесів, в ході яких рослини, поглинаючи сонячну енергію у формі ФАР, створюють за допомогою зеленого пігменту – хлорофілу із вуглекислого газу (CO_2) та води (H_2O) високоенергетичні вуглеводи (крохмаль, цукор, глюкозу, клітчатку, вивільнюючи при цьому кисень (O_2)). Первинні продукти фотосинтезу в результаті асиміляції перетворюються на органічні речовини (асиміляти), які використовуються рослиною впродовж росту і розвитку для створення вегетативної та генеративної маси.

ФАР – найважливіший фактор продуктивності рослин. Інтенсивність ФАР вимірюється інструментально або розраховується за даними про надходження прямої, розсіяної чи сумарної радіації (Q) (Тоомінг Х. Г., Гуляєв Б.І., Єфимова Н. А.) [9].

$$\sum Q_{\text{фар}} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D \quad , \quad (1.1)$$

де $\sum Q_{\text{фар}}$ – сумарна фотосинтетично активна радіація ($\text{Дж}/\text{м}^2$);

$\sum S'$ – сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню ($\text{Дж}/\text{м}^2$);

$\sum D$ – сума розсіяної сонячної радіації ($\text{Дж}/\text{м}^2$).

Для розрахунку ФАР також використовується формула

Сумарна радіація (Q) сума прямої (S') і розсіяної радіації (D), що падає

$$Q_{\text{фар}} = 0,52 \sum Q . \quad (1.2)$$

на горизонтальну поверхню, у даному випадку – на поверхню рослин.

$$Q = S' + D \quad (1.3)$$

Найбільш точні дані добових величин сумарної радіації одержують за допомогою стандартних метеорологічних спостережень (актинометричних). Однак мережа станцій, які ведуть відповідні спостереження, не задовольняє вимоги оперативного агрометеорологічного обслуговування різних територій. У такому випадку визначення Q виконується за допомогою розрахунків з використанням інших метеорологічних характеристик .

Тривалість сонячного саява, визначена за допомогою геліографа, дозволяє з високою мірою точності розраховувати величини сумарної радіації. З цією метою використовується формула С. І. Сівкова, яка складається з параметрів, що не входять до інших емпіричних формул [13]:

$$Q = 12,66 (SS^j)^{1,31} + 315 (\sin h_0^j)^{2,1} , \quad (1.4)$$

де SS – тривалість сонячного саява за добу, кал/ ·см·д;

h_0 – полуденна висота Сонця, град.

Ефективність використання сонячної радіації рослинами характеризується *коефіцієнтом корисної дії* (ККД), який визначається відношенням кількості енергії, яка заощаджена в продуктах фотосинтезу, або тієї, що утворилась у фітомасі врожаю, до кількості поглиненої радіації

$$\eta = \frac{qY \cdot 100\%}{\sum Q_{\Phi}}, \quad (1.5)$$

де η – ККД ;

q – калорійність рослин, кДж/г;

Y – біологічний врожай загальної сухої фітомаси, г/м²;

$\sum Q_{\Phi}$ – сума фотосинтетично активної радіації (ФАР) за вегетаційний період, МДж/м².

ККД рослин можна визначити як відносно падаючої, так і відносно поглиненої радіації. У такому випадку

$$\eta_{пад} = a_n q_{погл}, \quad (1.6)$$

де $\eta_{пад}$ – ККД, визначений відносно падаючої радіації;

$q_{погл}$ – ККД, визначений відносно поглиненої радіації;

a_n – функція поглинання.

Сонячна радіація також впливає на хімічний склад сільськогосподарської продукції. Наприклад, на вміст цукру у фруктах та ягодах, вміст білка у зерні зернових культур, кількості масла у насінні соняшнику і ін. Деякі хвороби сільськогосподарських рослин найбільш активно розвиваються за недостатньої освітленості [16,19].

Світлові асиміляційні криві (або криві насичення), що характеризують інтенсивність фотосинтезу в залежності від інтенсивності сонячної радіації, неоднакові у всіх культурних рослин. Зі збільшенням ФАР за звичайного вмісту в повітрі CO₂ продуктивність фотосинтезу спочатку збільшується, потім починає знижуватись [16].

Інтенсивність фотосинтезу відповідає кількості вуглекислого газу, що засвоюється одиницею листової поверхні за одиницю часу. Вона коливається

від 5 до 25 мг CO₂/(м²/год). Добову продуктивність фотосинтезу визначають за співвідношенням добового приросту маси рослини до площі її листків. Продуктивність фотосинтезу істотно залежить від площі листя, яка може регулюватись шляхом створення оптимальної оптико – біологічної структури посіву польових культур та температури повітря.

Асиміляційна поверхня повинна повністю покривати поверхню ґрунту протягом вегетаційного періоду рослин.

Важливим показником, який визначає поглинання і пропускання ФАР є *листовий індекс* – відношення сумарної площі листової поверхні посіву до площі поля. Поглинання ФАР збільшується зі збільшенням площі листя. За даними А. А. Ничипоровича найбільше поглинання ФАР спостерігається при значенні листового індексу 4, та площі листя 40 000м²/га. Характеристикою продуктивності фотосинтезу є *чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ)*, тобто кількість органічної речовини, що формується на 1 м² за добу. Її величина залежить від густоти посівів. В загущених посівах вона зменшується, зазвичай вона становить для більшості культур 4 – 6 г. органічної речовини за добу.

Фотосинтетичний потенціал посіву (ФПП) – сумарна листкова поверхня, яка брала участь у фотосинтезі від початку вегетації до закінчення фотосинтезу. Сума показників робочої асимілюючої поверхні по міжфазних періодах розвитку рослин становить загальну площу листової поверхні, тобто сумарний фотосинтетичний потенціал (СФПП) [16].

Для утворення репродуктивних органів і господарської цінної частки врожаю необхідно, щоб площа листя була оптимальною. Оптимальною вважається така площа листя, яка забезпечує максимальний газообмін посіву. Більшість дослідників дійшли згоди, що площа листя 2 – 7 м²/м² або 40 – 50 тис. м²/га¹ є оптимальною. Оптимальна площа листя також залежить від структури рослинного покриву, виду і сорту рослин, морфології рослин, віку листя.

Х. Г. Тоомінг запропонував формулу для визначення оптимальної площі листя:

$$L_{opt} = \frac{\sin \bar{h}_0}{G_L(\bar{h}_0)} \ln \frac{\bar{Q} G_L(\bar{h}_0) [\tau_0 - 24 c]}{24(1 - \sqrt{c}) \sqrt{c \bar{\Pi} \sinh_0}}, \quad (1.7)$$

де $G_L(\bar{h}_0)$ – функція геометричної структури РП при висоті Сонця

\bar{h}_0 , що відповідає стану $Q = \bar{Q}$;

τ_0 – тривалість дня;

\bar{Q} – насичена інтенсивність ФАР;

c – коефіцієнт витрат на дихання;

$\bar{\Pi}$ – інтенсивність радіації пристосування листка.

Високі врожаї одержують у тому випадку, коли площа листя буває оптимальною і фотосинтез відбувається якомога триваліший час.

Для характеристики тривалості фотосинтетичної роботи посіву за весь вегетаційний період або його відрізок запропоновано вираз:

$$\Phi_n = \int_{t_1}^{t_2} L_0(t) dt, \quad (1.8)$$

де L_0 – відносна площа листя, $\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$;

t – час роботи площі в днях;

Φ_n – має розмірність $\text{м}^2 \cdot \text{день} \cdot \text{га}^{-1}$.

Фотосинтетичний потенціал посіву знаходиться в тісному зв'язку з урожаєм. Сумарний фотосинтетичний потенціал залежить від виду та сорту культури, густоти посіву, умов живлення і зволоження, освітлення,

температури повітря, ґрунту та ін. Пізньостиглі рослини польових культур розвивають більшу поверхню листя, довше ростуть і створюють більший врожай [16].

Фотосинтетична діяльність посівів є домінуючою в перший період формування врожаю. З переходом рослин до активного росту репродуктивних органів роль фотосинтезу постійно зменшується і домінуючими стають процеси, пов'язані з формуванням репродуктивних органів і перерозподілом пластичних речовин між окремими органами рослин.

Велику роль відіграє також регулювання фотосинтетичної діяльності рослин. На формування фотосинтетичної діяльності посіву впливають і біотичні (строки сівби, норма і глибина висіву, ґрунти тощо) і абіотичні фактори (сонячне світло, опади, температура і вологість повітря і ґрунту).

Велике значення для фотосинтетичної діяльності має і густина рослин, яка забезпечується способом сівби та нормою висіву. Доцільна архітектоніка посівів, яка надає рослинам оптимальну площу ґрунтового і повітряно – світлового живлення, забезпечує швидке нарощування і тривале функціонування асимілюючої поверхні [13].

Дослідження впливу сумарної радіації на урожайність пов'язано із застосуванням методів її розрахунку, які були розглянуті вище. Загалом вплив сумарної радіації на урожай визначається за особливостями динаміки характеристик урожайності та ознак сумарної радіації.

Режим сонячної радіації та радіаційні властивості посівів є найважливішим фактором сільськогосподарського виробництва. Рослинний покрив перетворює сонячну радіацію в інші види – хімічну енергію, теплову, а також обмінюється власним довгохвильовим випромінюванням з атмосферою та ґрунтом і є важливим фактором формування термічного режиму посівів та інших елементів фітоклімату.

Сонячна радіація є головним джерелом енергії для формування врожаїв сільськогосподарських культур. Енергетична потреба рослин виражається

через потребу рослин у теплі (суми температур) та надходженням фотосинтетично активної радіації (ФАР), яка також визначається у вигляді сум ФАР, яка надходить до земної поверхні за період активної вегетації сільськогосподарських культур [19].

1.2 Методи оцінки теплових ресурсів

Рослини впродовж вегетаційного періоду вимагають забезпечення вимог до факторів навколишнього середовища і тільки гармонійне сполучення усіх необхідних факторів забезпечує оптимальний розвиток рослин та формування високого врожаю.

Для комплексної оцінки впливу змін клімату на сільське господарство використовувались дві групи агрокліматичних показників – характеристики теплозабезпеченості та вологозабезпеченості вегетаційного періоду.

Існує багато методів оцінки термічних умов. Наприклад, Лівінгстон запропонував використовувати термофізіологічний індекс для оцінки термічних ресурсів. Він розраховується для кожної культури. Розраховані термофізіологічні індекси Лівінгстоном показали, що високі температури саме так негативно впливають на приріст рослинної маси, як і низькі [9, 10].

Д. Ацци для оцінки теплових ресурсів запропонував використовувати метеорологічні еквіваленти, різні для різних культур і для різних міжфазних періодів однієї і тієї ж культури. Кількість градусів температури, які визначають нормальні умови від екстремальних називають метеорологічним еквівалентом. Вчений запропонував будувати клімоскопи для кожного міжфазного періоду будь – якої культури, використовуючи метеорологічні еквіваленти.

Г. Т. Селянинов запропонував за кліматологічну ознаку початку вегетації холодостійких рослин брати дату стійкого переходу температури повітря через 5 °С, для середньовимогливих до тепла культур – дату переходу

температури повітря через 10 °С, для теплолюбних – через 15 °С. За кліматичну ознаку закінчення вегетаційного періоду він брав дати стійкого переходу температури повітря через 5, 10, 15 °С восени. Крім того Г. Т. Селянинов відзначав, що «...сума температур за вегетаційний період або будь – яку його частину може розглядатись як приблизний інтеграл всіх впливів термічного фактора на рослину впродовж вегетації ...» [9].

Дослідники Ф. Ф. Давітая та М. І. Будико дали фізичне обґрунтування застосування сум температур вище 5, 10 °С, встановивши тісну залежність сум температур з радіаційним балансом земної поверхні та сумарною сонячною радіацією.

Ф. Ф. Давітая, встановивши потребу в теплі різних сортів винограду, дійшов висновку, що суми температур за міжфазні періоди характеризуються достатньою стійкістю. Тому вегетаційний період змінюється в широких межах, а суми температур залишаються відносно постійними [9,12].

П. І. Колосков встановив, що основним метеорологічним фактором для рослин є температура повітря, а ріст та формування врожайності визначаються впливом комплексу факторів. Тому суми температур, розраховані як для всього вегетаційного періоду, так і для окремих міжфазних періодів, досить повно відображають потреби рослин у теплі.

Д. І. Шашко на основі дослідження коливань сум температур за вегетаційний період встановив «... що суми температур за період вегетації коливаються менше, ніж тривалість вегетаційного періоду, тому вони є більш надійними показником». На разі потреба рослин в теплі і ресурси тепла виражаються біологічними сумами температур і сумами активних та ефективних температур.

Дослідженнями С. О. Сапожнікової та Д. І. Шашко встановлено, що біологічні суми температур змінюються в залежності від континентальності клімату [9,10,13].

1.3 Методи оцінки водних ресурсів

Одним із основних факторів життя рослин є волога. Вона приймає участь в усіх процесах, які відбуваються в рослинах. Участь у фотосинтезі рослин, переносі елементів живлення, забезпеченні терморегуляції називають важливими функціями води [1].

На разі в агрометеорологічній практиці для характеристики вологозабезпеченості території використовується кількість опадів, які випадають за певний проміжок часу (рік, сезон, вегетаційний період, міжфазний період та ін.), відношення фактичного водоспоживання (сумарного випаровування) до вологопотреби рослин (випаровуваності), різні коефіцієнти (гідротермічний коефіцієнт Г. Т. Селянінова (ГТК), Д. І. Шашко, Є. С. Уланової, індекс опадів (SPI) та ін. [9, 10,13].

Основним джерелом зволоження земної поверхні є опади впродовж року, або в певний відрізок часу. Вони визначають стан багатьох природних ресурсів в тому числі ріст, розвиток та формування продуктивності рослин.

Стандартний індекс опадів SPI найчастіше використовується в дослідженнях за кордоном. Величиною цього індексу є аномалія стандартизованого нормального розподілу, що відповідає конкретній не перевищеній кількості опадів.

А. М. Мещерська та В. Г. Блажевич запропонували індекс, що враховує сумісний аналіз аномалій місячних значень температури повітря, кількості опадів та оцінку площі їх розповсюдження для характеристики умов зволоження територій, на яких вирощуються зернові культури [9, 13].

Більшість індексів мають статистичну природу, тобто є мірою відхилення поточних значень метеорологічних величин від їх розподілу на вибраному базовому інтервалі.

Оцінка вологозабезпеченості території тільки за сумою опадів буде не зовсім повною через те, що опади є тільки однією із характеристик

прибуткової частини водного балансу. Для більш надійної характеристики вологозабезпеченості потрібно використовувати показники вологопотреби рослин та фактичного водоспоживання. Співвідношення цих двох величин є досить надійним показником вологозабезпеченості території.

Методи оцінки вологозабезпеченості поділяються на 5 груп [13,20].:

1 – емпірична; 2 – теоретична; 3 – за умовними показниками зволоження; 4 – за запасами вологи в ґрунті; 5 – за значеннями водного балансу поля.

Емпіричні методи основані на припущенні, що водоспоживання рослин визначається біологічними особливостями рослин та погодними умовами. Основними показниками, які характеризують потребу рослин у воді, є сонячна радіація, температура повітря, дефіцит насичення повітря вологою, запаси продуктивної вологи в певних шарах ґрунту та інші [9,13].

До емпіричних методів відносяться методи І. А. Шарова, М. М. Іванова, А. М. Алпатьєва.

І. А. Шаров запропонував розраховувати оптимальне водоспоживання рослин за формулою:

$$E_o = e \sum T + 4 b, \quad (1.9)$$

де $\sum T$ - сума температур повітря за період вегетації, °С.;

e – коефіцієнт водоспоживання культури;

b – тривалість періоду вегетації, дні.

М. М. Іванов запропонував розраховувати оптимальне водоспоживання, за значеннями середньої за місяць температури повітря T_n , та середньої за місяць відносної вологості h :

$$E_o = 0,0018 (T_n + 25)^2 (100 - h) \quad (1.10)$$

Як показник для розрахунку оптимального водоспоживання температуру повітря використовували також інші дослідники: Д. А. Штойко, Г. К. Льгов, Н. Ф. Блейни, Н. М. Пенман, С. В. Торнтвейт та ін. [9, 20].

А. М. Алпатьєв в якості основного елемента клімату, який для визначення величини оптимального водоспоживання, запропонував використовувати дефіцит насичення повітря вологою d .

$$E_o = K_6 \cdot \sum d, \quad (1.11)$$

де E_o – вологопотреба рослин, яка кількісно дорівнює сумарному випаровуванню рослин за оптимального зволоження ґрунту, мм;

K_6 – біологічний коефіцієнт фітоценозу;

$\sum d$ – сума дефіцитів насичення повітря вологою, мм.

За методом А. М. Алпатьєва, вологозабезпеченість рослин розраховується як різниця між потребою рослин у волозі і фактичним випаровуванням E , яке розраховується за формулою:

$$E = \sum r - F + (W_i - W_k), \quad (1.12)$$

де $\sum r$ – кількість опадів за розрахунковий період, мм;

F – поверхневий стік, мм;

W_n, W_k – запаси продуктивної вологи на початок та кінець розрахункового періоду, мм.

До теоретичних методів оцінки забезпечення рослин вологою відносяться: комплексний метод М. І. Будико та Л. І. Зубенок, метод С. І. Харченко, метод А. Р. Костянтинова. Ці методи, зановані на сумісному аналізі рівнянь теплового і водного балансів. В них розглядаються дві стадії випаровування з ґрунту: перша відповідає критично або оптимально

зволоженому ґрунту, випаровування з якого дорівнює випаровуваності, а друга – недостатньо зволоження ґрунту з вологістю нижче критичної [9,13].

В основу розробки тепловоднобалансового аналізу методу розрахунку сумарного випаровування з сільськогосподарських полів С. І. Харченко покладені рівняння теплового і водного балансу з урахуванням елементів вертикального вологообміну в зоні аерації, а також біологічних особливостей розвитку рослин.

Формула С. І. Харченко для районів з неглибокого залягання ґрунтових вод має вигляд:

$$E_o = \beta(R_o - P_o)W / zy, \quad (1.13)$$

де β – кутовий коефіцієнт нахилу лінії зв'язку, який залежить від фази розвитку рослин і стану діяльної поверхні

R_o – радіаційний баланс;

P_o – потік тепла в ґрунт;

Z – схована теплота випаровування;

W – запаси продуктивної вологи в розрахунковому шарі;

Y – різниця між найменшою волого місткістю і вологістю в'янення.

При глибокому заляганні ґрунтових вод, а також при відсутності поверхневого стоку формула (1.13) має такий вигляд:

$$E = \frac{2W_{hн} + R_{он} + P_{нор}}{1 + \frac{2W_{нв}}{\beta E_o}}, \quad (1.14)$$

де $W_{hн}$ та $W_{нв}$ – відповідно початкові та кінцеві запаси продуктивної вологи;

$R_{он}$ – сума опадів, що досягли поверхні;

$P_{нор}$ – турбулентний потік тепла;

$W_{\text{НВ}}$ – вологомісткість ґрунту;

E – сумарне випаровування;

Y – вільна пористість.

Цими формулами можна користуватися для розрахунку величин сумарного випаровування різних сільськогосподарських культур при періодичних поливах і на незрошуваних полях та глибини залягання ґрунтових вод $H > 0,1$ м.

Досить поширений метод визначення місячного випаровування за температурою і вологістю повітря, запропонований О. Р. Костянтиновим. Він запропонував визначати сумарне випаровування через метеорологічні елементи, які вимірюються на метеорологічних майданчиках. За основу методу О. Р. Костянтинов запропонував схему розрахунку фактичного випаровування за градієнтними даними швидкості вітру, температури і вологості повітря, пружністю водяної пари. Для розрахунку сумарного випаровування були побудовані графіки переходу випаровування з луків до величини випаровування із сільськогосподарського поля.

Найбільш поширеними показниками вологозабезпечення вважаються показники зволоження [9,20].

Г. Т. Селянинов запропонував використовувати гідротермічний коефіцієнт (ГТК), який являє собою відношення суми опадів (мм) $\sum P$ до суми активних середньодобових температур вище 10°C , помноженій на 0,1 за такий же період ($0,1 \sum T$).

$$\text{ГТК} = \frac{\sum P}{0,1 \cdot \sum T} \text{ГТК} = \sum P / 0,1 \sum T \quad (1.15)$$

Г. Т. Селянинов вважав засушливим період, якщо $\text{ГТК} < 1,0$ відн. од., а сухим – коли $\text{ГТК} < 0,5$ відн. од. До основних недоліків індексу ГТК відноситься не врахування весняних запасів вологи в ґрунті, а також

використання для характеристики випаровуваності показника, який залежить тільки від температури повітря.

П. І. Колосков запропонував уточнений показник зволоженості V , як відношення кількості опадів P до різниці тиску насичення E за даної температури і фактичного тиску водяної пари e :

$$V = k \frac{P}{E - e}, \quad (1.16)$$

де k – коефіцієнт пропорційності.

Для характеристики атмосферного зволоження Д. І. Шашко використовував Md як відношення суми опадів P до суми середніх добових значень дефіциту тиску водяної пари $E - e$

$$Md = P / \sum d \quad (1.17)$$

Для встановлення початку засухи М. В. Бова запропонував таку формулу:

$$k = \frac{10(H + Q)}{\sum T}, \quad (1.18)$$

де k – показник посушливості;

H – запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0 – 100 см навесні;

Q – кількість опадів, що випали з весни і до настання засухи;

$\sum T$ – сума температур від дати переходу через 0 °С.

Показник k включає три основних фактори, які значною мірою визначають умови росту сільськогосподарських культур. Значення k зростає при поліпшенні умов зволоження і зменшується зі зростанням температури. Час встановлення значення k , рівного 1,5, вважається початком посухи.

С. О. Сапожникова запропонувала коефіцієнт зволоження (K_y), основу якого складає ГТК Селянінова.

$$K_y = W + P_{10} / y \sum T > 10^\circ \text{C}, \quad (1.19)$$

де W – вологість ґрунту, розрахована за зимово-весняними опадами;

P_{10} – опади за період з температурами вище 10°C ;

Y – коефіцієнт для перерахування суми температур у випаровуваність за співвідношенням $\sum T$ та $\sum (E-e)$.

Багато дослідників для оцінки вологозабезпеченості рослин використовують запаси продуктивної вологи в різних шарах ґрунту:

О. О. Роде, С. О. Веріго, Л. О. Разумова, Є. С. Уланова та ін. Співставлення запасів продуктивної вологи в ґрунті із потребою рослин у воді дозволяють отримати кількісну характеристику водних ресурсів території [9, 13, 20].

В діючій системі агрометеорологічного обслуговування в Україні як основний метеорологічний індикатор посушливості використовується показник Г. Т. Селянінова (ГТК).

2 ОПИС СЦЕНАРІЇВ ЗМІН КЛІМАТУ

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

Діяльність людини змінила і продовжує змінювати поверхню Землі і склад її атмосфери. Деякі з цих змін мають прямий або опосередкований вплив на енергетичний баланс Землі і, таким чином, є чинниками, що впливають на зміну клімату. Радіаційний вплив (РВ) є результатом зміни енергетичного балансу системи Земля як реакції на певні зовнішні фактори, при цьому позитивний РВ веде до потепління, а негативний РВ до похолодання кліматичної системи. Крім глобального середнього радіаційного та енергетичного впливу просторовий розподіл і часова еволюція впливу та зворотній кліматичний зв'язок також відіграють значну роль у визначенні можливого впливу різних факторів на клімат. Зміни поверхні суші можуть також впливати на локальний та регіональний клімат за допомогою процесів, які не є радіаційними за своєю природою [6,7].

Глобальні кліматичні моделі є основними інструментами, що використовуються для проектування тривалості та інтенсивності змін клімату в майбутньому. При цьому використовуються кліматичні моделі різних рівнів складності, від простих кліматичних до моделей перехідної складності, повних кліматичних моделей і моделей усієї Земної кліматичної системи. Ці моделі розраховують майбутні кліматичні режими на основі низки сценаріїв зміни антропогенних факторів [6].

Для нових кліматичних розрахунків, виконаних у рамках проекту Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) Всесвітньої програми досліджень клімату (World Climate Research Programme), використовується новий набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP [14, 22].

Репрезентативні траєкторії концентрацій – сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів. Слово репрезентативний означає, що кожна RCP показує лише один з багатьох можливих сценаріїв, які призвели б до отримання конкретних характеристик радіаційного впливу. Термін траєкторія

підкреслює, що розглядаються не тільки рівні довгострокових концентрацій, але також і їх очікувана зміна, побудована в часі для визначення кінцевого результату. В усіх сценаріях RCP атмосферна концентрація CO₂ є вищою за сьогоdnішній рівень унаслідок зростання сукупних викидів CO₂ протягом XXI століття.

Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: 2,6 Вт·м⁻² для RCP2.6; 4,5 Вт·м⁻² для RCP4.5; 6,0 Вт·м⁻² для RCP6.0 і 8,5 Вт·м⁻² для RCP8.5. Ці чотири RCP містять один сценарій зменшення викидів, який передбачає низький рівень впливу (RCP2.6); два сценарії стабілізації (RCP4.5 і RCP6.0) і сценарій з дуже високими рівнями викидів парникових газів (RCP8.5). Згідно RCP6.0 і RCP8.5, радіаційне вплив не досягає максимального значення до 2100 р., а продовжує постійно збільшуватись; в RCP2.6 цей вплив досягає максимуму і потім знижується; і в RCP4.5 він стабілізується до 2100 р. (рис. 1) [14].

Таким чином, RCP можуть відображати результати цілого ряду заходів в області клімату в XXI-му столітті в порівнянні з їх відсутністю в Спеціальній доповіді про сценарії викидів (СДСВ), що використовувались в попередніх доповідях з питань зміни клімату. Сценарії СДСВ були розроблені лише з використанням послідовного підходу, іншими словами, соціально-економічних, демографічних та технологічних факторів, які потім використовувалися в простих кліматичних моделях для визначення концентрацій парникових газів [14].

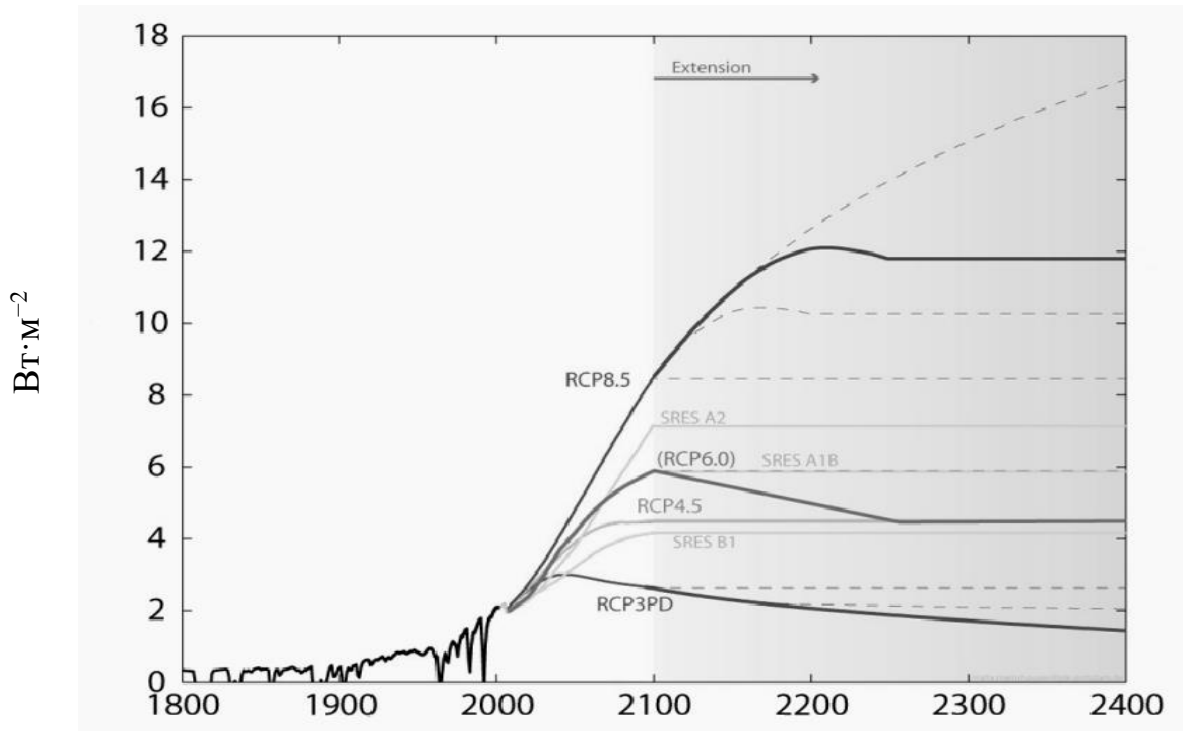


Рисунок 1 – Схематичне зображення радіаційного впливу (товсті лінії – рекомендовані траєкторії, пунктирні – траєкторії з врахуванням додаткових можливостей, визначених за альтернативними правилами) [12]

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

В даній роботі при моделюванні прогностичних змін режиму температури та опадів використовувались дані експерименту CORDEX – Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, що створений Всесвітньою програмою досліджень клімату для формування ансамблю прогностичних регіональних кліматичних моделей на всіх континентах в глобальному масштабі. Також CORDEX використовується для проектування

клімату в регіональному масштабі, використовуючи статистичні та динамічні методи. Структура проектування клімату в межах CORDEX базується на новому наборі глобальних кліматичних моделей CMIP5. При проектування клімату CORDEX зосереджується на експериментах з використанням сценаріїв викидів – RCP4.5 і RCP8.5, які являють собою сценарії середнього та високого рівня викидів [14, 23].

Для досліджень використовувались дані гідрометеорологічних параметрів, які реалізовані в регіональній кліматичній моделі RASMO2. Модель RASMO2 поєднує в собі фізичні схеми, розроблені Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF), і динамічну основу від моделі HIRLAM. Вона пристосована для використання на льодових поверхнях та включає складну схему визначення альbedo снігу. RASMO2 має 40 вертикальних атмосферних рівнів з кроком сітки по горизонталі ~ 11 км, що забезпечує високу точність отриманих результатів. Також RASMO2 виконує моделювання атмосферних полів з 6 – годинною часовою дискретністю [14].

3 ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ РЕСУРСИ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

3.1 Характеристика радіаційних ресурсів

Для характеристики радіаційних, теплових та водних ресурсів використовувались дані за два періоди. Перший – середні багаторічні значення енергетичних і теплових ресурсів за період 1986 – 2005 рр. (базовий період). Другий – це розрахунковий період з 2021 по 2050 рр. Розрахунки значень радіаційних та водно-теплових ресурсів на період до 2050 року виконувались за сценаріями змін клімату RSP4.5 та RSP8.5. Як середні багаторічні, так і за сценаріями розраховувались показники першої групи факторів навколишнього середовища: тривалості світлої пори доби, сумарної сонячної радіації за добу, інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР), суми ФАР за вегетаційний період, радіаційного балансу рослинного покриву по двох областях Степової зони України.

Характеристика показників радіаційних ресурсів виконувалась по одній із областей двох підзон Степової зони України. В Північному Степу – Дніпро, в Південному Степу – Херсон.

Динаміка надходження сонячної радіації як за даними середніх багаторічних значень, так і за розрахунками за двома сценаріями RSP4.5 та RSP8.5 досить ідентична для вказаних пунктів, відрізняючись числовими показниками за декадами. Розрахунки показників сонячної радіації наводяться в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Середні багаторічні значення сонячної радіації впродовж періоду вегетації
в Степовій зоні на станції Дніпропетровськ та Херсон

Декади вегетації	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ст. Дніпропетровськ												
Тривалість дня, (таунд) 1986 – 2005рр.	12,23	12,86	13,44	14,01	14,53	15,00	15,40	15,69	15,84	15,86	15,78	15,65
Сумарна сонячна радіація за добу, (Вт/м ² ·доба) 1986-2005рр,	199,6	239,8	266,9	330,8	364,1	442,8	398,4	449,0	470,1	401,1	391,2	338,6
Сценарій RCP4.5 (Вт/м ² ·доба) до 2050 р.	233,4	286,6	358,9	406,9	385,9	461,6	432,5	469,8	514,2	557,2	529,8	508,6
Сценарій RCP8.5 (Вт/м ² ·доба) до 2050 р.	253,4	292,4	347,1	429,5	419,2	471,3	447,5	474,9	527,7	544,5	522,7	497,6
Інтенсивність ФАР (кал/см ² ·хв) 1986-2005 рр,	0,124	0,142	0,151	0,180	0,191	0,224	0,197	0,218	0,226	0,192	0,189	0,176
Сценарій RCP4.5 (кал/см ² ·хв) до 2050 р.	0,166	0,200	0,232	0,252	0,231	0,267	0,243	0,259	0,281	0,304	0,291	0,286
Сценарій RCP8.5 (кал/см ² ·хв) до 2050 р.	0,180	0,198	0,224	0,266	0,249	0,271	0,250	0,261	0,286	0,295	0,285	0,289

Продовження табл. 3.1												
Сума ФАР наростаючим підсумком (кал/см ² ·хв) 1986 – 2005 рр,	1,00	2,10	3,31	4,82	6,48	8,50	10,50	12,55	14,69	16,52	17,41	19,22
Сценарій RCP4.5 (кал/см ² ·хв) до 2050 р.	3,33	4,87	7,73	9,85	11,85	14,25	16,73	19,17	21,84	24,74	27,50	29,60
Сценарій RCP8.5 (кал/см ² ·хв) до 2050 р.	3,42	4,94	7,74	9,97	12,15	14,60	17,20	19,60	22,40	25,20	27,93	29,50
Радіаційний баланс рослинного покриву (кал/см ² ·доба) 1986 – 2005 рр.	111,5	133,3	136,4	132,7	97,80	78,20	62,90	75,90	89,20	121,4	214,9	165,7
Сценарій RCP4.5 (кал/см ² ·доба) до 2050 р.	150,1	191,1	229,5	239,1	177,9	137,5	92,60	106,0	125,9	178,5	369,9	296,7
Сценарій RCP8.5 (кал/см ² ·доба) до 2050 р.	162,8	189,2	223,5	249,9	179,3	128,8	93,60	107,7	131,9	188,6	364,9	287,8

Продовження табл.3.1.												
Декади вегетації	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ст. Херсон												
Тривалість дня, (таунд) 1986 – 2005 рр.	12,75	13,30	13,84	14,33	14,77	15,16	15,44	15,59	15,62	15,52	15,29	14,94
Сумарна сонячна радіація за добу, (Вт/м ²) 1986 2005рр.	203,3	222,5	182,1	225,5	256,6	283,9	327,5	333,1	371,6	358,3	372,8	369,3
Сценарій RCP4.5 (Вт/м ²) до 2050 рр.	322,1	378,1	423,9	398,1	469,9	448,2	482,1	520,4	575,6	552,3	575,7	571,6
Сценарій RCP8.5 (Вт/м ² ·доба) до 2050 р.	319,1	367,2	438,5	424,59	470,0	445,7	477,0	535,9	554,9	544,9	582,9	565,8
Інтенсивність ФАР (кал/см ² ·хв) 1986-2005рр.	0,152	0,181	0,167	0,186	0,184	0,164	0,196	0,285	0,276	0,264	0,278	0,283
Сценарій RCP4.5 (кал/см ² ·хв) до 2050 р.	0,219	0,246	0,266	0,241	0,276	0,256	0,271	0,289	0,319	0,309	0,326	0,331
Сценарій RCP8.5(кал/см ² ·хв) до 2050 р.	0,217	0,239	0,275	0,257	0,276	0,255	0,268	0,298	0,308	0,304	0,330	0,328
Сума ФАР наростаючим підсумком (кал/см ² ·період)	1,83	3,33	4,72	6,33	7,96	9,60	11,43	13,88	15,88	16,48	16,56	16,97

Продовження табл. 3.1.												
Сценарій RCP4.5 (кал/см ² ·період) до 2050 р.	9,65	11,60	13,81	15,89	18,32	20,89	23,39	26,10	29,09	31,96	34,96	38,23
Сценарій RCP8.5 (кал/см ² ·період) до 2050 р.	9,69	11,60	13,88	16,09	18,53	21,08	23,56	26,35	29,24	32,07	35,10	38,34
Радіаційний баланс рослинного покриву (кал/см ² ·доба) 1986-2005рр.	101,6	122,3	127,9	111,2	86,50	61,30	59,40	86,10	89,20	150,6	285,4	266,1
Сценарій RCP4.5 (кал/см ² ·доба) до 2050 р.	208,3	233,2	220,3	148,6	117,1	100,9	117,9	147,0	294,40	385,7	402,0	380,8
Сценарій RCP8.5 (кал/см ² ·доба) до 2050 р.	205,6	226,7	220,8	144,4	109,8	99,88	115,5	155,0	308,0	380,5	407,1	376,5

В районі ст. Дніпро динаміка надходження сонячної радіації за середніми багаторічними даними починалась з позначки $200 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{д}$ на початку періоду, збільшувалась до $400 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{д}$ до початку липня (8 декада вегетації), потім до кінця періоду поступово зменшувалась (рис. 3.1, табл. 3.1.).

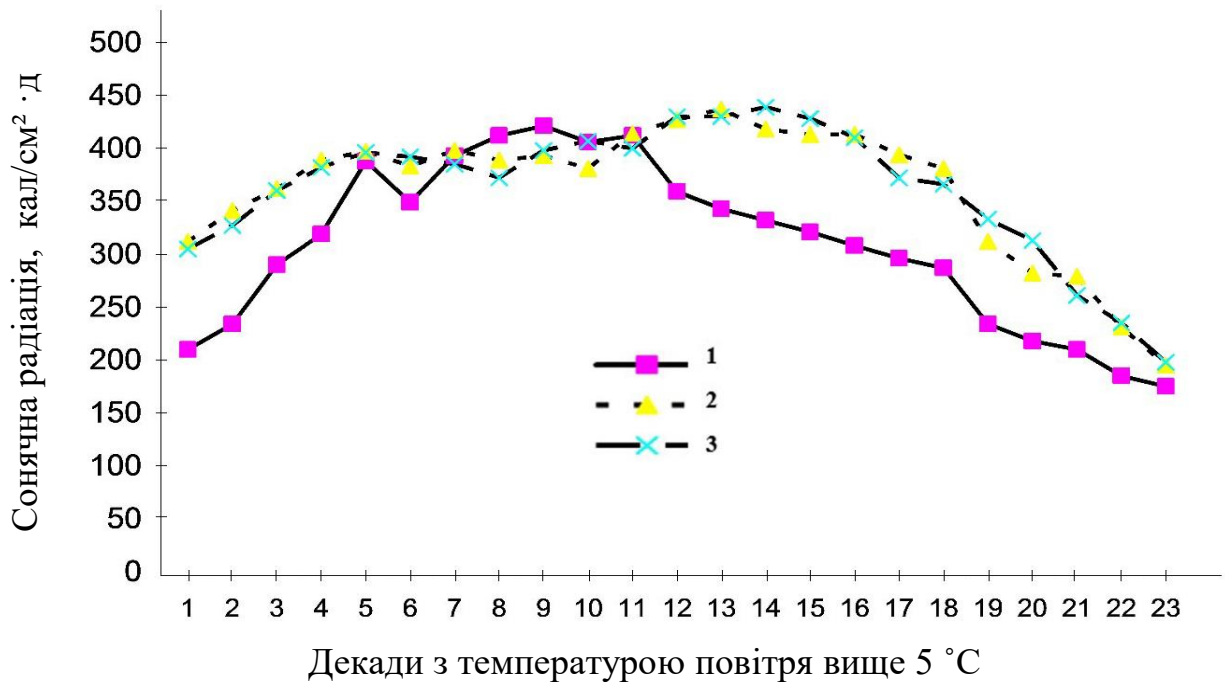


Рисунок 3.1 – Динаміка сонячної радіації за період з температурами повітря вище $5 \text{ }^\circ\text{C}$ (ст. Дніпро): 1 – середня багаторічна, 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5

Як видно із рис. 3.1, розраховані за сценаріями RSP4.5 та RSP8.5 показники сонячної радіації в районі Дніпра були майже однаковими за обома сценаріями впродовж всього періоду вегетації і коливались від $310 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{д}$ на початку періоду до $435 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{д}$ в 14 декаду вегетації, коли досягає максимальних значень. Потім знову поступово знижується і наприкінці періоду становить $213 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{д}$. Різниця в цей період між середніми багаторічними значеннями и значеннями, розрахованими за

сценаріями становитиме впродовж 6 декад до $97 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{д}$. Наприкінці періоду різниця зменшиться до $30 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{д}$.

Слід відзначити, що в період з початку червня до першої декади серпня надходження сумарної радіації за сценаріями матиме такі ж значення як і середні багаторічні в базовий період.

Значення інтенсивності ФАР за період з температурами повітря вище $5 \text{ }^\circ\text{C}$ в районі Дніпра мають різкі коливання як середніх багаторічних значень, так і розрахований за сценаріями до 2050 року.

Особливо різкі коливання відзначаються в базовий період, особливо в травні, червні та липні місяцях. Розраховані величини інтенсивності ФАР за сценаріями RSP4.5 та RSP8.5 відзначатимуться меншими коливаннями та будуть мати майже однакові значення за виключенням 14 декади, коли спостерігатиметься зменшення впродовж однієї декади інтенсивності ФАР з $0,32 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{хв}$. до $0,19 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{хв}$ за сценарієм RSP4.5. Крім того, за сценарієм RSP8.5 різко зросте інтенсивність ФАР у 18 декаду періоду до $0,38 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{хв}$ (рис. 3.2).

В районі Херсону динаміка інтенсивності ФАР впродовж періоду з температурами повітря вище $5 \text{ }^\circ\text{C}$ в базовий період поступово зростала від $0,08 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{хв}$ на початку періоду до $0,27 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{хв}$ в десятю декаду , тобто до початку червня. Далі впродовж 7 декад коливання не спостерігались, а з сімнадцятої декади до кінця періоду почалось поступове зменшення інтенсивності ФАР (рис. 3.3).

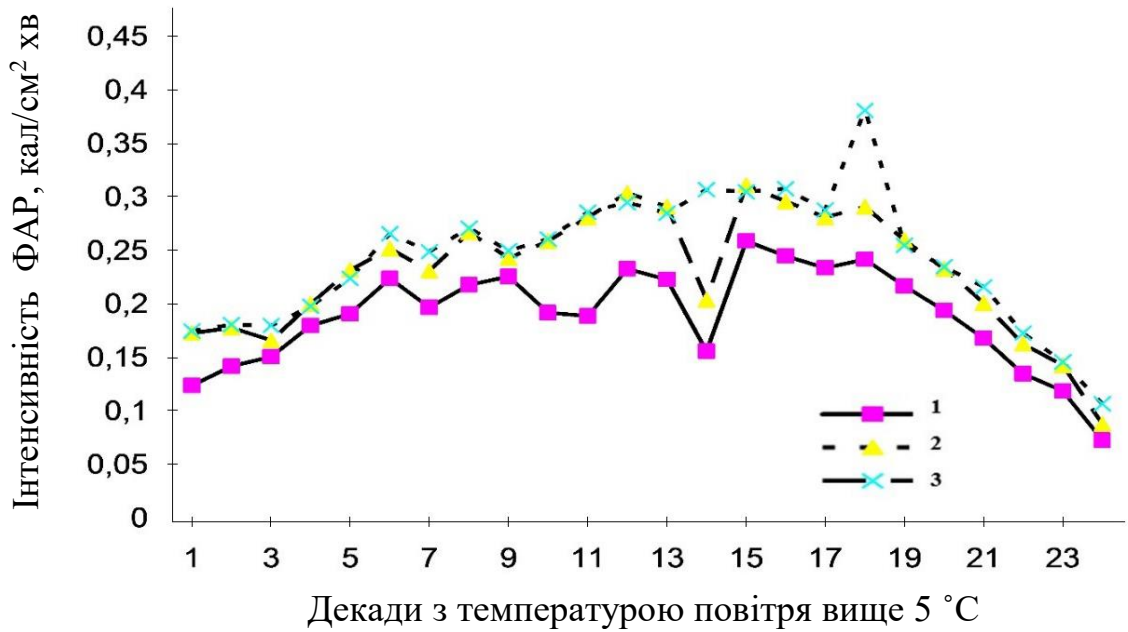


Рисунок 3.2 – Динаміка інтенсивності ФАР за період з температурами повітря вище 5 °С (ст. Дніпро): 1 – середня багаторічна, 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5

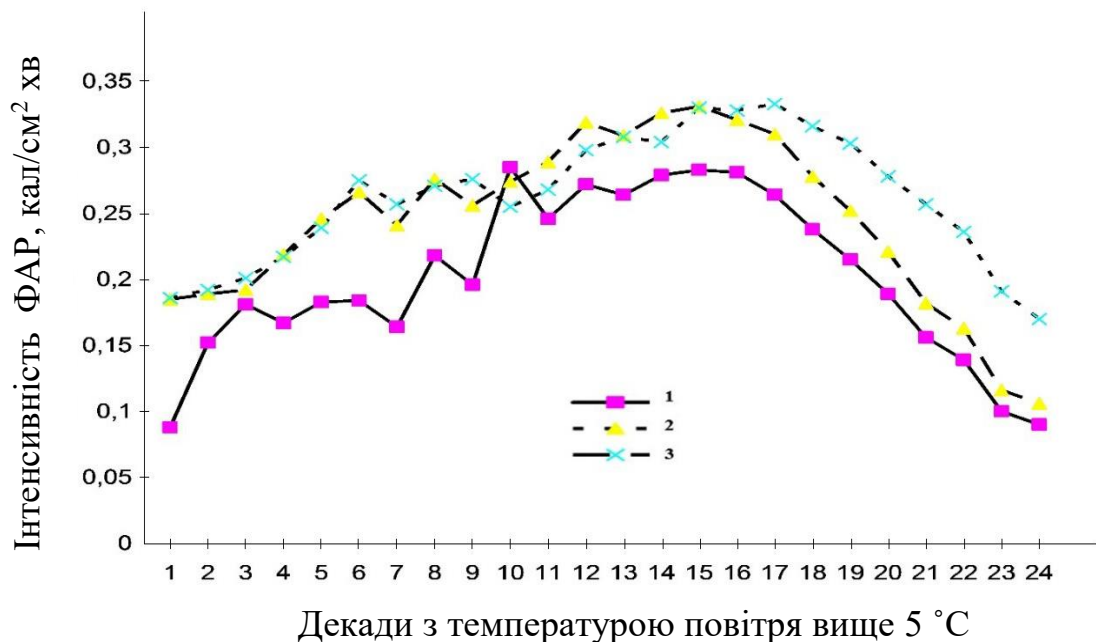


Рисунок 3.3 – Динаміка інтенсивності ФАР за період з температурами повітря вище 5 °С (ст. Херсон): 1 – середня багаторічна, 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5

Сумарне надходження ФАР за базовий період зростає з південного заходу на північний схід і становить 16,9 кал/см²·д·період в Херсоні та 17,4 кал/см²·д·період в Дніпрі (рис. 3.4, табл. 3.1). Розраховані суми ФАР за обома сценаріями до 2050 року майже не відрізнятимуться. Найвищими очікуються суми ФАР в Херсоні – до 38,3 кал/см²·період, в Дніпрі становитимуть 27,9 кал/см²·період.

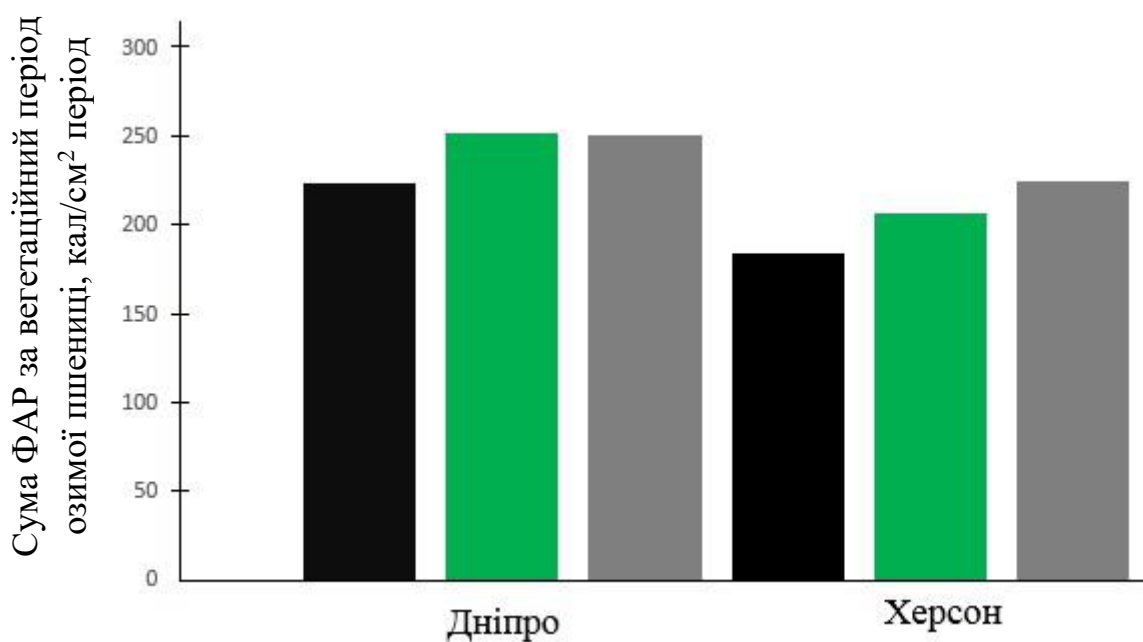


Рисунок 3.4 – Порівняльна характеристика надходження ФАР за вегетаційний період зернових культур: 1 – середні багаторічні; 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5

В базовий період значення радіаційного балансу рослинного покриву у районі Дніпра починається з позначки 75 кал/см²·д піднімається в третю декаду періоду до 175 кал/см²·д. З четвертої по сьому декади радіаційний баланс рослинного покриву зменшується до 50 кал/см²·д. Починаючи з восьмої декади він спочатку поступово зростає, а з дев'ятої декади різко

зростає до 395 кал/см²·д, далі поволі підвищується до тринадцятої декади і починає зменшуватись і наприкінці періоду становить 53 кал/см²·д (рис. 3.5).

Слід відзначити, що з дев'ятої до п'ятнадцятої декади в районі Дніпра середнє багаторічне значення радіаційного балансу перевищує сценарні його значення, на 250 кал/см²·д, а з п'ятнадцятої декади вони майже однакові до кінця періоду.

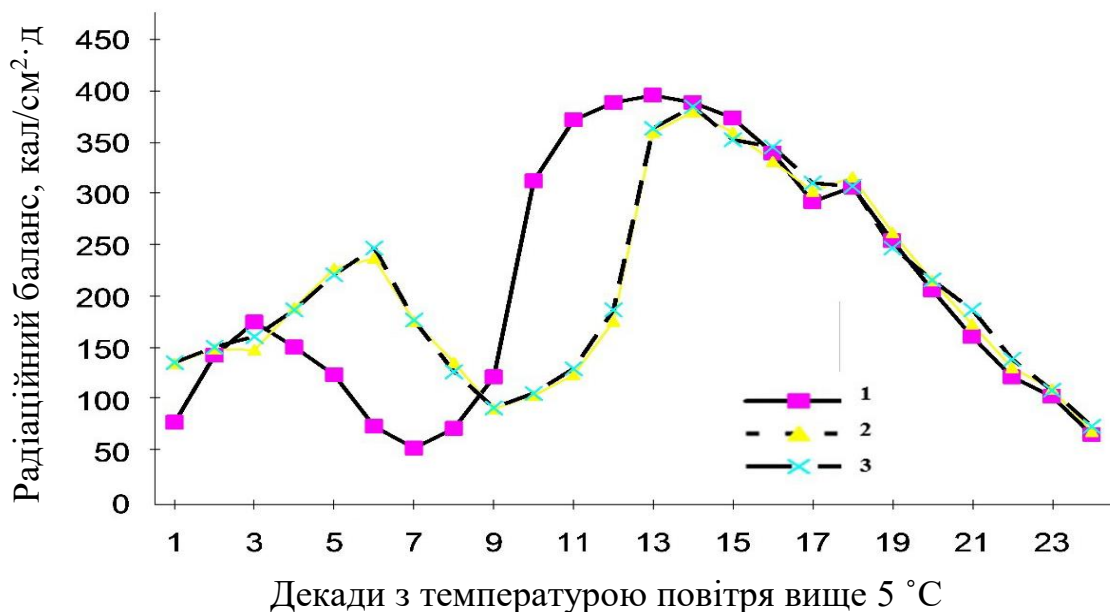


Рисунок 3.5 – Динаміка радіаційного балансу за період з температурами повітря вище 5 °C (ст. Дніпро):
1 – середня багаторічна, 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5

В районі ст. Херсон динаміка радіаційного балансу відрізняється від динаміки на ст. Дніпро (рис. 3.6). Як видно із рис. 3.6 середні багаторічні значення радіаційного балансу мають менші значення, ніж розраховані за сценаріями до 2050 року. На початку періоду з першої до десятої декади величина радіаційного балансу коливалась від 0 кал/см·д до 100 кал/см·д. За розрахунками за сценарієм до 2050 рр. значення радіаційного балансу коливатимуться від 159 до 230 кал/см·д, різниця між його значеннями становить від 50 кал/см²·д до 128 кал/см²·д. Підвищення значень радіаційного

балансу як за середніми багаторічними даними так і за сценаріями почнеться з 11 декади. В одинадцятій декаді значення радіаційного балансу за сценаріями співпадають із середніми за базовий період. Максимальних значень радіаційний баланс рослинного покриву досягає в період з чотирнадцятої до шістнадцятої декади декаду періоду і становить 399 – 410 кал $\text{см}^2 \cdot \text{д}$. Починаючи з 18 декади за сценарієм RCP8.5 радіаційний баланс до кінця періоду вище значень базового періоду на 18 кал $\text{см}^2 \cdot \text{д}$, за сценарієм RSP4.5 на 8 – 10 кал $\text{см}^2 \cdot \text{д}$.

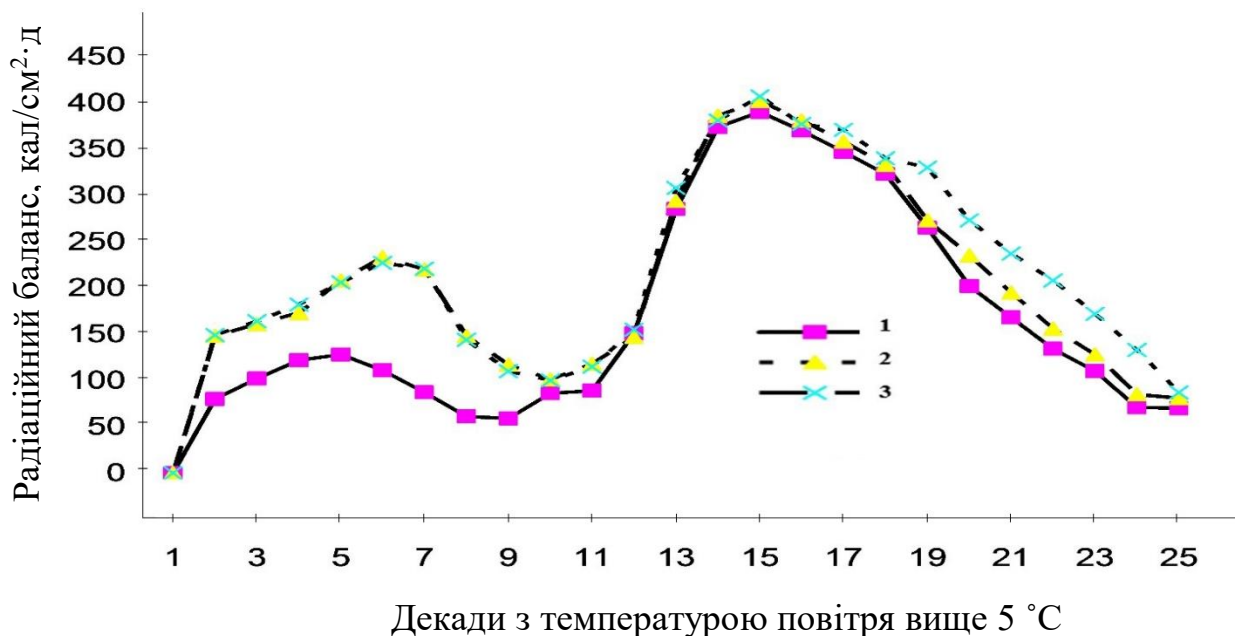


Рисунок 3.6 – Динаміка радіаційного балансу за період з температурами повітря вище 5 °С (ст. Херсон): 1 – середня багаторічна, 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5

Підвищення радіаційного балансу впродовж другої половини вегетаційного періоду з температурами повітря вище 5 °С спричинить підвищення витрат тепла на випаровування та надходження тепла в ґрунт.

3.2 Характеристика теплових ресурсів

Як відомо, основними кліматичними характеристиками тепла приймаються дати переходу температури повітря через різні межі навесні та восени, тривалість періодів з різними температурами та суми температур.

Для розрахунку показників теплового режиму для порівняння із середніми багаторічними взяті основні кліматичні та агрокліматичні характеристики температурного режиму:

- дати стійкого переходу температури повітря через 0, 5, 10, 15 °С навесні та восени;
- тривалість періоду з температурами повітря вище 0, 5, 10, 15 °С;
- суми позитивних температур повітря за період з температурами вище 0, 5, 10, 15 °С;
- середня температура повітря січня, липня та їхня амплітуда.

Аналіз виконувався як і для радіаційного режиму окремо в Північному та Південному Степу. Розглянемо як будуть змінюватись показники термічного режиму в різні періоди, в порівнянні середніх багаторічних показників в базовий період з розрахованими за сценарієм стабілізації викидів RCP4.5 та за сценарієм з високим рівнем викидів парникових газів RCP8.5. За початок весни приймається дата стійкого переходу температури повітря через 0 °С в сторону підвищення температури повітря, а за початок зими – дата стійкого переходу температури повітря через 0 °С в сторону від'ємних температур [26].

В табл. 3.2 наводяться кількісні показники термічного режиму середніх багаторічних дат переходу температури повітря через 0 °С навесні і восени, тривалості періоду з температурою повітря вище 0 °С, сум температур вище 0 °С, середніх температур січня та липня, амплітуд температур з такими ж показниками, розрахованими за кліматичними сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 по Північному і Південному Степу.

Таблиця 3.2 – Порівняльні характеристики температурного режиму за період з температурою повітря вище 0 °С в Степовій зоні України

Періоди	Дати переходу температури повітря через 0 °С		Тривалість періоду, дні	Сума температур, °С	Середня температура січня, °С	Середня температура липня, °С	Амплітуда температур, °С
	Весна	Осінь					
Північний Степ							
1986 – 2005 рр.	16.03	21.11	260	3409	-3,0	22,1	26,1
Сценарій RCP 4.5							
2021 – 2050 рр.	19.03	21.11	257	3400	-2,8	22,2	26,0
Різниця	-3	-	3	9	-0,2	0,1	0,1
Сценарій RCP8.5							
2021 – 2050 рр.	11.03	25.11	258	3492	-4,1	22,0	26,1
Різниця	-5	-4	2	82	-1,1	0,1	-
Південний Степ							
1986 – 2005 рр.	19.02	3.12	287	3819	-1,9	23,7	25,6
Сценарій RCP4.5							
2021 – 2050 рр.	11.01	20.12	338	3988	-0,3	23,6	23,9
Різниця	39	17	51	169	1,6	0,1	1,7
Сценарій RCP8.5							
2021 – 2050 рр.	16.02	20.12	318	3892	-0,9	23,5	24,4
Різниця	3	17	51	73	-1,1	0,2	1,2

Як видно з табл. 3.2 в Північному Степу в разі реалізації сценарію RCP4.5 дати переходу температури повітря через 0 °С навесні і восени будуть

наставати в терміни, близькі до середніх багаторічних значень, відхиляючись не більше ніж на 3 дні. Тому і тривалість періоду буде майже близькою до тривалості в базовий період. Середня температура січня теж буде близькою до значень середньої багаторічної, перевищуючи її не більше ніж на 0,2 °С, в липні середня температура повітря за сценарієм RCP4.5 буде на рівні середнього багаторічного значення. Не зміниться і амплітуда температур. Те ж саме буде спостерігатись із сумами температур вона буде практично рівною базовому періоду і становитиме 3400 °С.

Інше буде спостерігатись в разі реалізації сценарію RCP8.5 . Розрахунки за сценарієм RCP8.5 показують, що дати переходу температури повітря і навесні і восени наставатимуть на 4 – 5 днів раніше, ніж в базовий період. Тривалість періоду буде близькою до середніх багаторічних значень.

Сума температур становитиме біля 3492 °С, що на 90 °С перевищуватиме суму температур базового періоду. Середня температура повітря січня і липня очікується на рівні базових значень.

Значно більші відмінності розрахованих показників термічного режиму за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в порівнянні з показниками базового періоду відзначатимуться в Південному Степу. Причому значні відмінності спостерігаються і в разі реалізації обох сценаріїв. Так за сценарієм RCP4.5 навесні дати переходу температури повітря будуть наставати раніше на 39 днів, восени – на 17 днів пізніше. Тривалість періоду зросте до – 338 днів. Суми температур очікуються – 3988 °С, що перевищує суму температур базового періоду на 169 °С. Температура в січні зросте до - 0,3 °С, що на 1,6 °С вище, ніж в базовий період. Температура в липні очікується на рівні середніх значень базового періоду. Амплітуда температур збільшиться на 1,7 °С.

В разі реалізації сценарію RCP8.5 дата переходу температури повітря через 0 °С навесні майже співпадатиме із середньою багаторічною, а восени наставатиме пізніше на 17 днів, що спричинить збільшення тривалості період

та невелике підвищення сум температур на 73 °С. Сума температур також зросте на 73 °С. Амплітуда зросте на 1,2 °С.

Для сільськогосподарського виробництва важливу роль відіграють періоди з температурами повітря вище 5 та 10 °С тому, що в ці періоди відбувається зростання холодостійких та теплолюбних культур..

В табл. 3.3 представлені розрахунки термічних показників за періоди з температурами повітря вище 5 та 10 °С. Розглянемо, як зміняться терміни настання дат переходу температури повітря через 5 °С навесні і восени, розраховані за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в порівнянні із середніми багаторічними термінами.

Як видно із табл. 3.3 навесні середні багаторічні терміни переходу температури повітря через 5 °С в базовий період коливаються в межах від 21 березня в Південному Степу до першого квітня в Північному Степу. Восени – від 30 жовтня в Північному Степу до 11 листопада в Південному Степу. В Північному Степу тривалість періоду з температурами вище 5 °С в середньому багаторічному становитиме 213 днів, в Південному Степу 236 днів.

Розрахунки за обома сценаріями показали, що навесні перехід температури повітря через 5 °С в Степовій зоні співпадатимуть з датами базового періоду. Слід відзначити, що у Південному Степу навесні за сценарієм RCP4.5 терміни переходу температури повітря через 5 °С наставатимуть пізніше на 13 днів.

Тривалість періоду з температурами вище 5 °С незначно зменшиться в Степовій зоні – до 210 днів. У зв'язку з незначною зміною тривалості періоду з температурою повітря вище 5 °С незначно зміняться і суми температур в разі реалізації обох сценаріїв.

Як видно табл. 3.4 в разі реалізації будь-якого сценарію в районі Північного Степу суми температур вище 5 °С залишаться майже на рівні середніх багаторічних і становитимуть відповідно 3356°С .

Таблиця 3.3 – Дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через 5, 10 ,15 °С та тривалість періодів з цими температурами

Період	Дати переходу температури повітря через межі						Кількість днів з температурою повітря рівною або вище		
	Навесні			Восени					
	5 °С	10 °С	15 °С	15 °С	10 °С	5 °С	5°С	10°С	15°С
Північний Степ									
1986–2005pp	1.IV	17.IV	15.V	15.IX	7.X	30.X	213	173	123
RCP4.5	3.IV	21.IV	15.V	19.IX	10.X	29.X	210	172	136
RCP8.5	1.IV	21.IV	12.V	15.IX	5.X	27.X	210	172	135
Південний Степ									
1986–2005pp	21.III	15.IV	12.V	25.IX	19.X	11.XI	236	186	136
RCP4.5	3.IV	11.IV	12.V	20.IX	20.X	10.XI	215	181	131
RCP8.5	22.III	21.IV	11.V	28.IX	20.X	10.XI	234	182	134

В Південному Степу середні багаторічні суми становили 3690 °С. За сценарієм RCP4.5 вони очікуються на рівні середніх багаторічних, за сценарієм RCP8.5 вищими на 100 °С.

Період з температурами повітря вище 10 °С важливий для сільськогосподарського виробництва для вирощування більшості теплолюбних культур.

Таблиця 3.4 – Характеристики температурного режиму за різними сценаріями

Період	Сума активних температур вище					Температура повітря, °С		
	0 °С	5 °С	10 °С	15 °С	-0°С	січень	липень	амплітуда
Північний Степ								
1986– 2005	3409	3356	3010	2372	-	-4,0	22,1	26,1
RCP4.5	3410	3325	3041	2570		-3,0	22,3	25,3
Різниця	-1	-31	31	198		1	-0,2	0,8
RCP8.5	3510	3380	3090	2571		-4,4	22,5	26,9
Різниця	-101	-24	80	199		-0,4	-0,4	-0,8
Південний Степ								
1986– 2005	3819	3690	3322	2707	-	-1,9	23,7	25,6
RCP4.5	3900	3683	3464	2732		0,1	23,9	23,8
Різниця	-81	7	-142	-25		1,8	-0,2	1,8
RCP8.5	3999	3798	3413	2894		-0,9	24,2	25,1
Різниця	-180	-108	-91	-187		1	-0,5	0,5

Дати переходу температури повітря через 10 °С в середньому багаторічному дати навесні наставали в Північному Степу наприкінці другої декади квітня, в Південному Степу – всередині другої декади квітня. Восени ці дати відзначалась: Північному Степу – 7 жовтня, в Південному Степу – 19 жовтня. Тривалість періоду з температурами повітря вище 10 °С становить 173 дні в Північному Степу та 186 днів у Південному Степу. Суми температур становлять відповідно 3010 та 3322 °С (табл. 3.3 – 3.4).

Розрахунки дат настання переходу температури повітря через 10 °С за сценаріями RCP4.5; та RCP8.5 навесні показують, що вони будуть наставати пізніше в у Північному Степу – на 4 дні, у Південному Степу за першим сценарієм вони наставатимуть раніше на 4 дні, за другим сценарієм пізніше на 6 днів. Восени дати переходу температури повітря через 10 °С у Південному Степу будуть співпадати із середніми багаторічними за обома сценаріями і лише в Північному Степу ці дати будуть незначно відхилятися від середньої багаторічної за першим сценарієм вони наставатимуть пізніше на 3 дні, за другим сценарієм – на два дні раніше середніх багаторічних. За обома сценаріями у Степовій зоні тривалість періоду буде однаковою, або нижчою ніж в базовий період (табл. 3.3).

Суми температур за обома сценаріями в Північному Степу майже будуть близькими до середніх багаторічних сум базового періоду, перевищуючи їх не більше ніж на 30 – 80 °С і становитимуть 3041 – 3090 °С. І тільки в Південному Степу очікувані суми температур вище 10 °С будуть вищими за обома сценаріями і становитимуть відповідно 3464 – 3413 °С (табл.3.4) відхиляючись від середніх багаторічних відповідно на 142 та 90 °С.

Дати переходу температури повітря через 15 °С навесні в базовий період спостерігались в Північному Степу – 15 травня, Південному Степу – 12 травня. Восени були відповідно 15 вересня та 25 вересня. Тривалість періоду з температурами повітря вище 15 °С коливалась від 123 днів в Північному Степу до 136 днів в Південному Степу. (табл. 3.3). За обома сценаріями тривалість періоду з температурами вище 15°С зросте приблизно однаково і становитиме 131 – 135 днів, що вище середнього багаторічного на 12 днів.

Суми температур вище 15 °С в базовий період становили в Північному Степу – 2570 °С за обома сценаріями, в Південному Степу – відповідно 2732 °С за сценарієм RCP4.5 та 2894 °С за сценарієм RCP8.5. За сценарієм RCP8.5 підвищення сум температур за період з температурами повітря вище

15 °С буде відчутнішим і в Північному і в Південному Степу і становитиме близько 190 °С.

Внаслідок збільшення надходження сум сонячної радіації в Південному Степу зростуть і суми температур за періоди з різною нижньою межею. Але зростання буде незначним і не перевищуватиме 200 °С.

3.3 Характеристика водних ресурсів

Внаслідок втручання людини в навколишнє середовище порушуються умови взаємного обміну між атмосферними, ґрунтовими, поверхневими та підземними водами. Це порушення тим більше, чим більші втручання людини в навколишнє середовище. Вода є необхідною умовою для існування і розвитку рослинного покриву, особливо ґрунтова волога. Для оцінки водних ресурсів в основному використовуються опади за різні проміжки часу. О. І. Будаговським запропоновано для кількісної оцінки ґрунтових вод приймати величину сумарного випаровування за безморозний період [15, 20, 21].

В нашому дослідження для характеристики умов зволоження Степової зони України використовувались такі показники:

- сума опадів за періоди: зима, весна, літо, осінь, рік;
- сума опадів за періоди з температурами повітря вище 0, 5, 10, 15 °С;
- сума опадів за період з жовтня по березень включно та з квітня по вересень включно.
- сумарне випаровування, випаровуваність, дефіцит випаровування;
- коефіцієнт зволоження;
- гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянинова (ГТК) за період з температурами повітря вище 10 °С.

При дослідженні розрахунки виконувались як і для оцінки теплових ресурсів порівняння вказаних показників за базовий період з 1986 по 2005 рр. так за сценаріями за період до 2050 року.

Розрахунки показали, що в цілому за рік на території Степової зони України як у базовий період так і в розрахунковий прогностичний період 2021 – 2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 зміни клімату очікується зменшення кількості опадів. Розрахунки представлені в табл. 3.5.

За сценарієм RCP4.5 у Північному Степу (Дніпро) очікувана сума опадів становитиме лише 87% базової суми. За сценарієм RCP8.5 зменшення ще відчутніше і сума опадів становитиме 85 % від середньої багаторічної суми.

Таблиця 3.5 – Річна сума опадів по Степовій зоні України

Природно-кліматична зона	Базовий період	За сценаріями зміни клімату в період 2021–2050 рр.			
	1986 – 2005 рр.	RCP4.5		RCP8.5	
	Сума опадів, за рік мм	Сума опадів, мм	% від базового періоду	Сума опадів, мм	% від базового періоду
Пн. Степ	521	475	87	454	85
Пд. Степ	443	374	81	406	88

У Південному Степу за сценарієм RCP4.5 сума опадів очікуватиметься на рівні 374 мм, що становитиме 81% від суми опадів базового періоду. В разі реалізації сценарію RCP8.5 очікувана сума опадів за рік становитиме близько

406 мм, тобто 88 % від середньої багаторічної величини базового періоду. Зменшення річних сум опадів спричинить посилення посушливих явищ.

Для уточнення оцінки вологозабезпеченості сільськогосподарських культур були виконані розрахунки сум опадів за сезонами року: зима, весна, літо, осінь та коефіцієнта зволоження Г. Т. Селянинова (ГТК).

Згідно проведених нами розрахунків, у Степовій зоні по сезонах року спостерігатимуться значні коливання очікуваної кількості опадів (табл. 3.6, рис. 3.7 – 3.8).

Степовій зоні України по сезонах року

За сценаріями зміни клімату в період 2021–2050 рр.								
Сезон	І-й період (1986 - 2005рр.)		RCP4.5			RCP8.5		
	Сума опадів мм	ГТК	Сума опадів мм	% від базового періоду	ГТК	Сума опадів мм	% від базового періоду	ГТК
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Північний Степ								
Зима	95		124	130		130	137	
Весна	118		134	114		138	117	
Літо	195	1,0	86	44	0,81	75	38	0,85
Осінь	137		131	96		121	88	
Рік	521		475	87		454	85	
Південний Степ								
Зима	91		95	104		114	125	
Весна	102		108	105		122	120	
Літо	155	0,9	59	45	0,68	60	39	0,70
Осінь	116		103	89		110	95	
Рік	443		374	81		406	88	

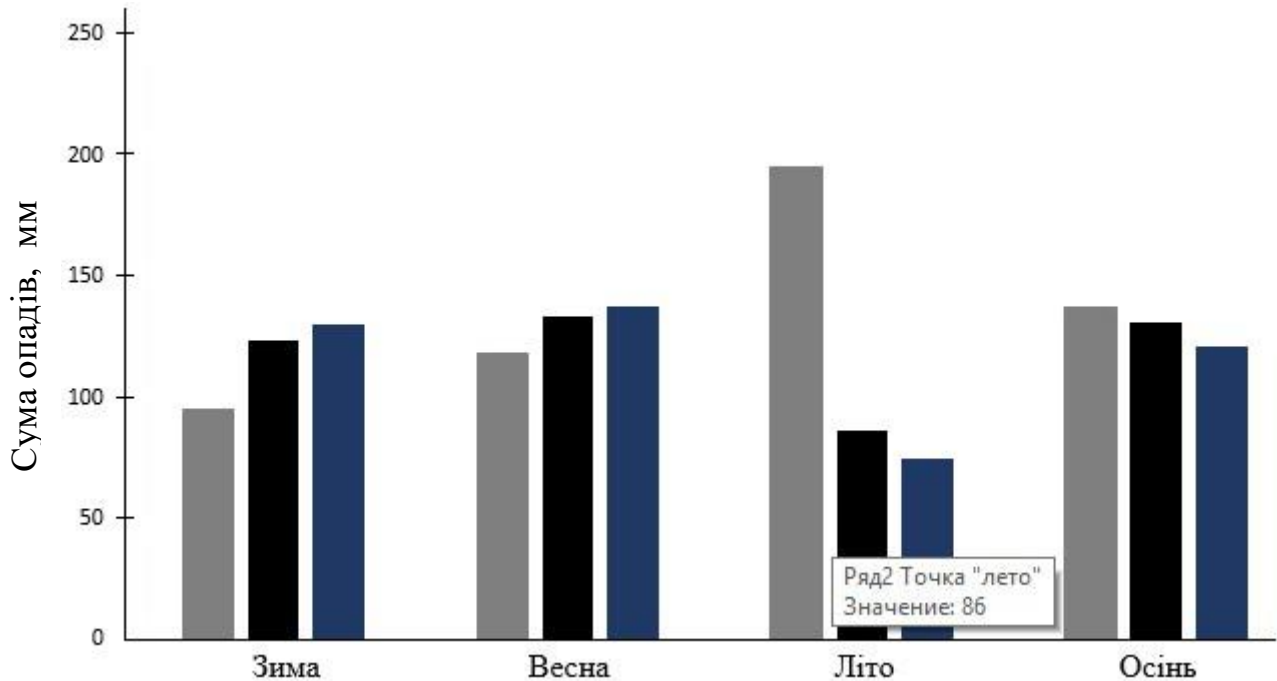


Рисунок 3.7 – Порівняльна характеристика сум опадів за сезонами по ст. Дніпро: 1 – середні багаторічні; 2 – RSP4.5; 3 – RSP 8.5

Як видно із табл. 3.6 та рис. 3.7 – 3.8 розподіл сум опадів за сезонами року нерівномірний як в середньому багаторічному, так і в розрахунковий період за обома сценаріями змін клімату до 2050 р. В Північному Степу за даними розрахунків за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 очікувані суми опадів в зимові місяці дозволяють стверджувати, що суми опадів в цей період зростуть до 124 та 130 мм відповідно і становитимуть 130 та 137 % базової суми. В цей же період у Південному Степу опади за сценарієм RCP4.5 очікуватимуться майже на рівні середніх багаторічних значень, а за сценарієм RCP8.5 становитимуть 125 % базової норми.

Навесні середня багаторічна сума опадів становила в Дніпрі 118 мм, в Херсоні – 102 мм. Розрахунки за обома сценаріями весняних опадів показали, що очікується збільшення сум опадів до 2050 рр. майже однаково до 134 – 138 мм, що становитиме 114 та 117 % від сум опадів за базовий період. В зоні

Південного Степу за сценарієм RCP4.5 сума опадів становитиме 105 % базової суми, а за сценарієм RCP8.5 – 120 % від суми опадів за базовий період.

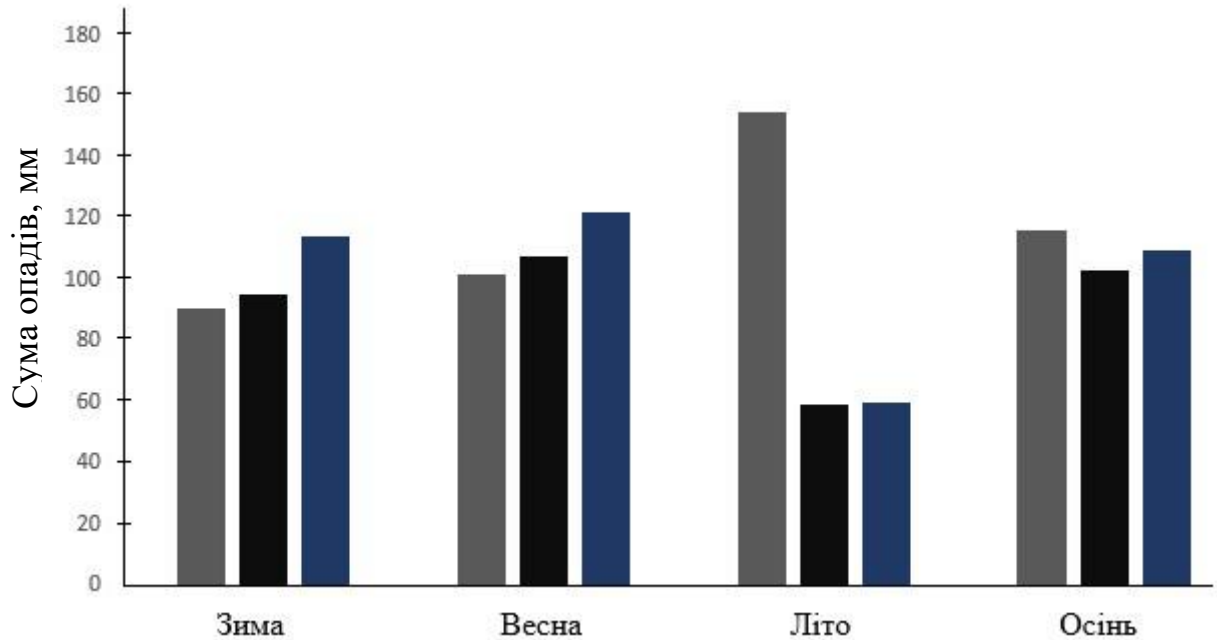


Рисунок 3.8 – Порівняльна характеристика сум опадів за сезонами по ст. Херсон: 1 – середні багаторічні; 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5

За даними середніх багаторічних опадів за літній період суми їх коливались від 195 мм в Дніпрі до 155 мм в Херсоні. Розрахунки за сценаріями показали, що в період до 2050 року спостерігатиметься різке зменшення сум опадів. В літній період в усій Степовій зоні за обома сценаріями очікуватиметься різке зменшення суми опадів. Причому більш різке зменшення опадів очікуватиметься за сценарієм RCP8.5. За сценарієм RCP4.5 зменшення становитиме більше ніж на 50 % більше як на 60 % за сценарієм RCP8.5.

Восени середні багаторічна сума опадів становила 137 – 116 мм відповідно в Північному та Південному Степу.

Суми опадів за розрахунками за сценарієм RCP4.5 у Північному Степу восени також зменшаться в порівнянні із середніми багаторічними, але це зменшення буде менш відчутним ніж влітку і становитиме 96 %, за сценарієм RCP8.5 – 88 % від суми опадів за базовий період. В Південному Степу опади очікуються 89 та 95 % від базової суми відповідно.

Для сільськогосподарського виробництва важлива характеристика умов вологозабезпечення сільськогосподарських культур в період їх вегетації. Оскільки періоди вегетації сільськогосподарських культур починаються з дати переходу температури повітря через 5 °C навесні (для холодостійких культур) та через 10 °C (для теплолюбних культур) то нами розглядалися умови вологозабезпеченості періодів з температурами вище вказаних меж. Для цього були розраховані суми опадів за періоди з температурами повітря вище 5 та вище 10 °C, сумарне випаровування, випаровуваність, дефіцит випаровування (різниця між випаровуваністю та сумарним випаровуванням).

Розрахунки представлені в табл. 3.7 та 3.8. Як видно із табл. 3.7 за базовий період середня багаторічна сума опадів становила за період з температурами вище 5 °C в Північному Степу 387 мм, в Південному Степу – 340 мм.

Таблиця 3.7 – Режим зволоження Степової зони за різними сценаріями зміни клімату за період з температурою вище 5 °С

Сценарії	Сума опадів за періоди з температурою повітря вище 5 °С, мм	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм
Північний Степ				
1986–2005р.	387	432	1334	902
RCP4.5	247 – 63%	347	976	629
Різниця	140	85	358	273
RCP8.5	303 – 78%	348	990	642
Різниця	84	84	344	260
Південний Степ				
1986-2005р.	340	394	1327	1033
2021 – 2050 рр.				
RCP 4.5	202 – 59%	297	1010	713
Різниця	138	97	317	320
RCP 8.5	243 – 71%	348	1091	743
Різниця	97	46	236	290

Розрахунки за сценаріями показали, що в період до 2050 року відбудеться суттєве зменшення опадів за період з температурами повітря вище 5 °С. Причому в Північному Степу зменшення сум опадів становитиме відповідно за сценаріями 63 та 78 % від середнього багаторічного. В Південному Степу очікується ще різкіше зменшення сум опадів і становитиме відповідно 59 та 71 % від суми опадів базового періоду.

Сумарне випаровування в базовий період становило в Дніпрі 432 мм, в Херсоні – 394 мм. Розрахунки за сценаріями показали, що в період з температурами повітря вище 5 °С сумарне буде меншим від базового відповідно на 97 та 84 мм, і становитиме відповідно 347 та 297 мм за сценарієм RCP4.5 та 348 мм за сценарієм RCP8.5 в Дніпрі та Херсоні. Випаровуваність в середньому багаторічному за період з температурами вище 5 °С становить в Дніпрі 1334 мм, в Херсоні – 1327 мм. За розрахунками за обома сценаріями вона зменшиться на 358 мм в Дніпрі та на 317 мм в Херсоні за сценарієм RCP4.5, а за сценарієм RCP8.5 відповідно на 344 та 236 мм. Зменшиться також і дефіцит випаровування порівняно із середніми багаторічними величинами. Так за сценарієм RCP4.5 дефіцит випаровування зменшиться відповідно на 273 мм в Північному Степу та на 320 мм – в Південному. За сценарієм RCP8.5 зменшення становитиме відповідно 260 та 290 мм. Як видно, за сценарієм RCP8.5 дефіцит випаровування буде мати менш різкий спад.

Така ж тенденція зменшення сум опадів спостерігатиметься і в період з температурами повітря вище 10 °С. В середньому багаторічному за період з температурами вище 10 °С сума опадів становила в Дніпрі 325 мм, в Херсоні – 284 мм. Як показали розрахунки змін суми опадів за період до 2050 року динаміка зменшення сум опадів збережеться. Очікувані суми опадів за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 становитимуть відповідно 62 та 58 % базової суми, тобто 201 та 190 мм відповідно (табл. 3.8).

Зменшення сум опадів спричинить зменшення як сумарного випаровування, так і випаровуваності, а також дефіциту випаровування та ГТК.

Таблиця 3.8 – Режим зволоження Степової зони за різними сценаріями зміни клімату за період з температурою повітря вище 10 °С

Сценарії	Сума опадів за періоди з температурою повітря вище 10 °С, мм	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм	ГТК
Північний Степ					
1986-2005р.	325	493	1334	841	1,1
Період 2021 – 2050 рр.					
RCP4.5	201- 62%	397	861	464	0,87
Різниця	124	96	473	377	-0,23
RCP8.5	190- 58%	348	875	527	0,85
Різниця	135	145	459	314	-0,25
Південний Степ					
1986-2005р.	284	394	1396	1002	0,8
2021 – 2050 рр.					
RCP4.5	186-65%	294	1010	716	0,68
Різниця	98	100	386	286	-0.12
RCP8.5	172 – 61 %	286	940	654	0,7
Різниця	112	108	456	348	-0.10

Сумарне випаровування в середньому багаторічному за період з температурами повітря вище 10 °С в базовий період становило в Дніпрі 493 мм, в Херсоні 294 мм. Розрахунки сумарного випаровування за сценаріями показали (табл. 3.8), що відбудеться зменшення сумарного випаровування до 397 мм в Північному Степу та до 294 мм – в Південному за сценарієм RCP4.5. За сценарієм RCP8.5 воно становитиме 348 та 286 мм відповідно. Зменшиться

також випаровуваність за розрахунками змін клімату до 2050 року. Якщо в середньому за базовий період вона становила 1334 мм в Дніпрі та 1396 мм в Херсоні, то за розрахунками за сценарієм RCP4.5 випаровуваність очікується 861 мм та 1010 мм відповідно, а за сценарієм RCP8.5 вона становитиме відповідно 875 та 940 мм.

Зміна величин сумарного випаровування та випаровуваності спричинить зміну дефіциту випаровування. Якщо в середньому багаторічному дефіцит випаровування становив в Дніпрі 841 мм, в Херсоні 1002 мм, то за сценарієм RCP4.5 464 та 716 мм відповідно, а за сценарієм RCP8.5 він буде ще нижчим і становитиме 527 мм та 654 мм відповідно.

Як відомо [9] коефіцієнт зволоження ГТК Г. Т. Селянинова розраховується як відношення суми опадів за період з температурою повітря вище 10 °С до 0,1 сум температур вище 10 °С за цей же період.

Як видно із табл. 3.8 в середньому багаторічному ГТК дорівнювало в Дніпрі 1,1, в Херсоні - 0,8 відн. од. Незначне зростання сум температур та зменшення сум опадів в літній період спричинить зменшення значень ГТК (табл. 3.8). Так за розрахунками за сценарієм RCP4.5 в Північному Степу ГТК становитиме 0,87 відн. од., що на 0,23 менше від значень ГТК базового періоду. В Південному Степу ГТК становитиме 0,68 відн. од., що на 0,12 відн. од. нижче ніж середній багаторічний.

За сценарієм RCP8.5 ГТК в Дніпрі зменшиться на 0,25 відн. од і становитиме 0,85 відн. од. В Херсоні ГТК становитиме 0,7 відн. од, що на 0,10 відн. од. нижче середнього багаторічного значення.

За період з температурами повітря вище 10 °С були розраховані декадні значення ГТК, які представлені на рис. 3.9. Як видно із рис. 3.9 в Дніпрі середні багаторічні величини зростають з першої по сьому декаду і вже з сьомої декади періоду починається незначне зменшення ГТК. Як видно із рис. 3.9 на початку періоду з температурами повітря вище 10 °С очікувані значення ГТК за сценаріями будуть вищими, ніж середні багаторічні для сьомої декади

періоду. Після сьомої декади вони будуть нижчими, ніж в базовий період, особливо наприкінці періоду з температурами повітря вище 10 °С. Після дати переходу температури повітря через 10 °С значення ГТК за обома сценаріями будуть вищими ніж в базовий період до 7 декади періоду. Надалі ГТК буде зменшуватись до кінця періоду, причому більш різке зменшення очікуватиметься за сценарієм RCP4.5. (рис. 3.9.).

Динаміка середніх значень ГТК за період з температурою повітря вище 10 °С в Південному Степу (Херсон) представлена на рис. 3.10. На відміну від динаміки значень ГТК в Дніпрі в Херсоні на початку періоду ГТК дорівнювало 1,2 відн. од. і зменшувалось до 0,8 в четверту декаду періоду, залишаючись майже незмінним восьмої декади періоду. Після чого поступово зменшилось до 0,6 відн. од. в кінці періоду.

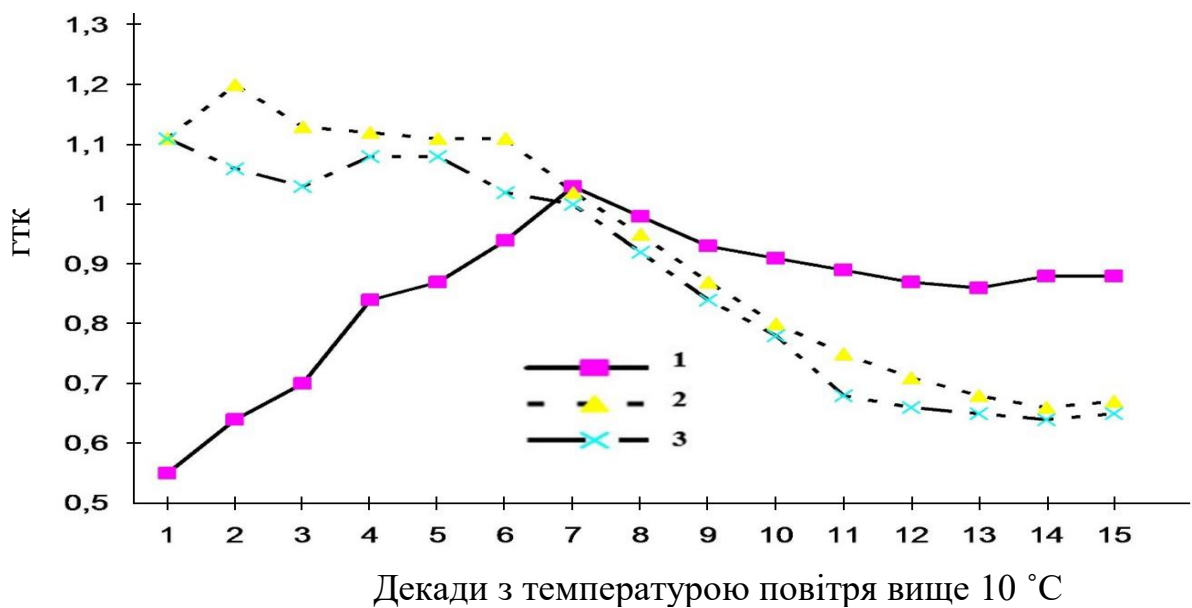
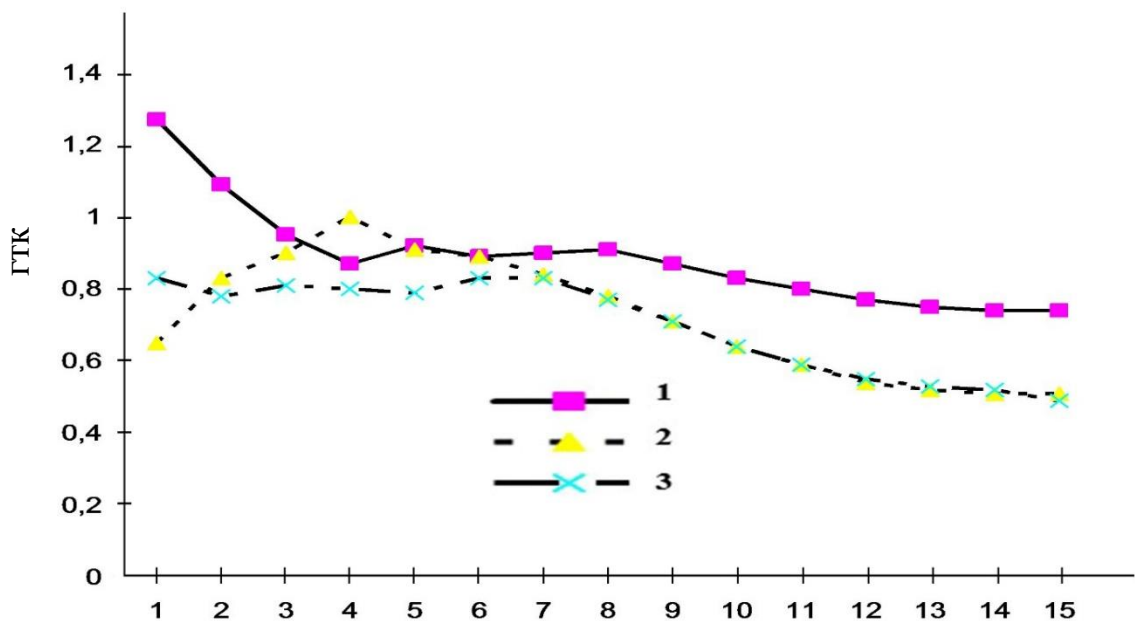


Рисунок 3.9 – Динаміка середніх значень ГТК за період з температурою повітря вище 10 °С в Північному Степу: 1 – середні значення ГТК за період 1986 – 2005 рр.; 2 - ГТК за сценарієм RCP4,5; 3 – ГТК за сценарієм RCP8.5

За даними розрахунків за обома сценаріями значення ГТК до 2050 року на початку періоду будуть нижчими середніх багаторічних значень і після сьомої декади періоду їх зменшення буде більш інтенсивним, ніж зменшення середніх багаторічних значень ГТК.

Для динаміки формування запасів продуктивної вологи на полях із сільськогосподарськими культурами значну роль відіграють суми опадів за холодний (X – III) та теплий (IV – IX) періоди року, тому що опади і в холодний і в теплий періоди року є основним постачальником запасів продуктивної вологи.



Декади з температурою повітря вище 10 °С.

Рисунок 3.10 – Динаміка середніх значень ГТК за період з температурою повітря вище 10 °С в Південному Степу (Херсон):

1 – середні значення ГТК за період 1986 – 2005 рр. 2 – ГТК за сценарієм RCP4.5; 3 – ГТК за сценарієм RCP8.5

Як видно із табл. 3.9 та рис. 3.11 з жовтня по березень включно сума опадів в середньому багаторічному за базовий період по території України коливалась від 185 мм в Південному Степу до 224 мм Північного Степу.

Таблиця 3.9 – Режим зволоження Степової зони України в теплий та холодний період року

Періоди, сценарії	Сума опадів за період з жовтня по березень включно, мм		Сума опадів з квітня по вересень включно, мм		Сума опадів за рік, мм	
	мм	% від базової суми	мм	% від базової суми	мм	% від базової суми
Північний Степ						
1986-2005 рр.	224	-	297	-	521	-
Період 2021-2050 рр. RCP4.5	253	113	213	72	476	91
RCP8.5	251	112	213	72	464	89
Південний Степ						
1986 – 2005 рр.	185	-	256	-	443	-
Періоди 2021-2050 рр. RCP4.5	207	112	176	69	383	86
RCP8.5	225	127	182	71	406	91

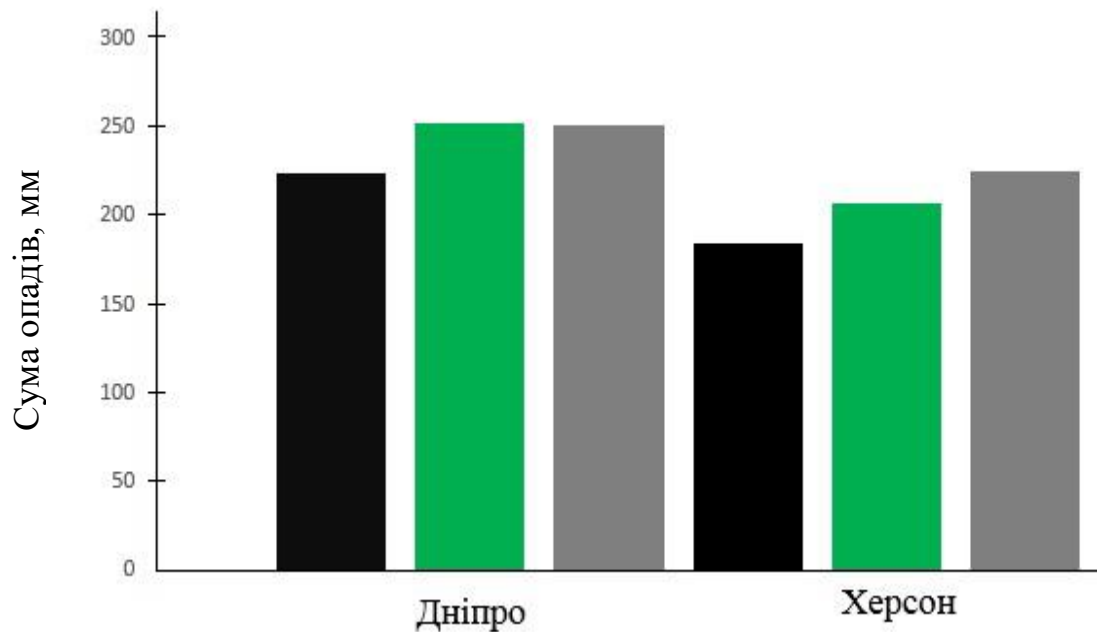


Рисунок 3.11 – Порівняльна характеристика сум опадів за холодний період року в Степовій зоні України: 1 – середні багаторічні; 2 – RSP4.5; 3 – RSP8.5

Розраховані величини очікуваних сум опадів на період до 2050 року показують, що за обома сценаріями змін клімату в холодний період року очікується збільшення сум опадів. Це збільшення становитиме 112 – 113 % в зоні Північного та Південного Степу за сценарієм RCP4.5. За сценарієм RCP8.5 в зоні Північного Степу буде подібним до змін за першим сценарієм, а в зоні Південного Степу зросте на 27; в порівнянні із середніми багаторічними значеннями.

В табл. 3.9 та на рис. 3.12 видно, що в теплий період року за обома сценаріями на період до 2050 року в Степовій зоні суми опадів зменшаться і становитимуть в Північному Степу 72 % середніх багаторічних значень, а в південному Степу 69 – 71 %.

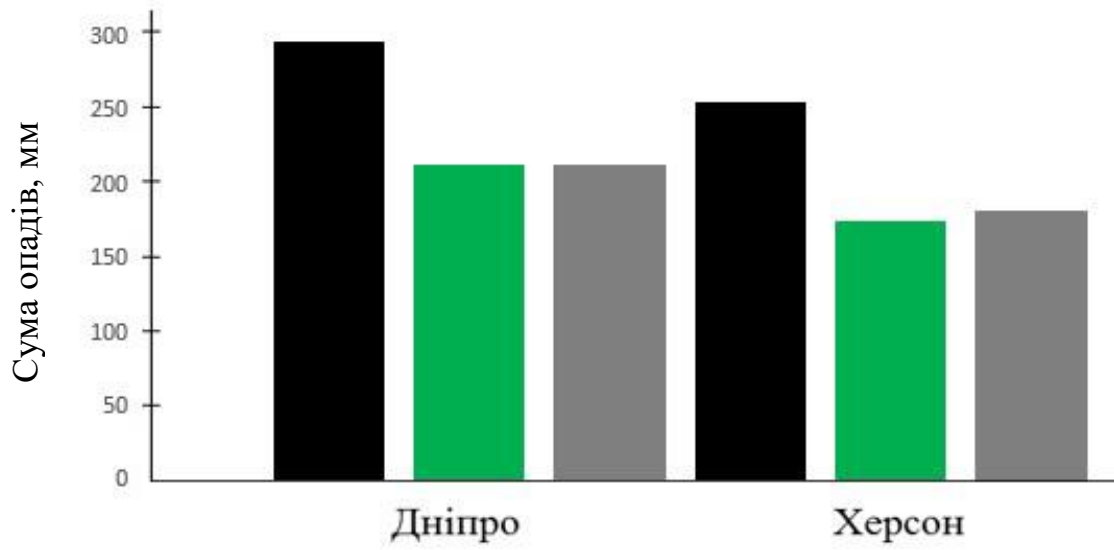


Рисунок 3.12 – Порівняльна характеристика сум опадів за теплий період року в Степовій зоні України: 1 – середні багаторічні; 2 – RSP4.5; 3 – RSP8.5

ВИСНОВКИ

На основі виконаних розрахунків середніх багаторічних показників радіаційного, водно-теплого режимів та цих же показників на період з 2015 по 2050 рр. за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5 можна зробити наступні висновки:

1. Дослідження показали, що розраховані за двома сценаріями показники радіаційного, теплового та водного режиму в період з 2021 по 2050 рр. будуть відрізнятись від середніх багаторічних величин базового періоду.

2. Аналіз динаміки інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР) показав, що за середніми багаторічними даними була нижче, ніж розраховані значення її за сценаріями RSP4.5 та RSP8.5.

3. Слід чекати незначне підвищення складових радіаційного режиму, яке спричинить підвищення сум температур на 200 °С тільки в зоні Південного Степу України.

4. Дати переходу температури повітря через різні межі відрізнятимуться від середніх багаторічних значень тільки в Південному Степу і будуть наставати раніше на 8 – 12 днів навесні та на 6 – 8 днів пізніше восени.

5. Підвищиться середня температур січня і трохи знизиться середня температура липня, що спричинить зменшення амплітуди температури.

6. Річна сума опадів в Південному Степу в середньому багаторічному нижче суми опадів у Північному Степу. Особливо велика різниця в сумах опадів за літній період. На період до 2050 року зменшиться як річна сума опадів, так і сума опадів за сезонами року. Сума опадів за зиму і весну очікуватиметься вище середньої багаторічної. Сума опадів за літо та осінь буде становити 58 – 60 % від середньої багаторічної.

7. Зменшиться незначне підвищення сум температур в період з температурами вище 10 °С і зменшення суми опадів за цей же період спричинить зменшення ГТК до 0,85 відн. од. в Північному Степу та 0,70 відн. од. в Південному Степу, що призведе до збільшення частоти посушливих явищ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алпатьев С. М. Водопотребление и режим орошения сельскохозяйственных культур / С. М. Алпатьев // Мелиорация на Украине. Киев: Урожай, 1986. С. 201-207.
2. Антропогенные изменения климата // Под ред. М. И. Будыко. Ю. А. Израэля. Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 405 с.
3. Будаговский А. И., Росс Ю. К. Основы количественной теории фотосинтетической деятельности посевов // В кн. Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. М.: Наука, 1966. С. 51 – 58.
4. Волощук В. М., Скрипник М. П. Глобальний парниковий ефект і кліматичні умови України // Вісник АН України. 1993. №3. С. 38 – 44.
5. Витченко А. Н. Оценка продуктивности сельскохозяйственных культур для целей рационального природопользования // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение: Материалы междунар. науч–практич. конф., 6–8 июня 2012 г, г. Минск – Минск, БГУ, 2012., С. 43 – 45.
6. Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально–экономические последствия / Под ред. В. М. Котлякова. М.: «Геос». 2000. – 262 с.
7. Гребенюк Н., Корж Т., Яценко А. Нове про зміну глобального та регіонального клімату в Україні на початку ХХІ ст. // Водне господарство України. 2002. № 5-6. С. 56 – 62.
8. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: монографія/ за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса. Вид. «ТЕС», 2015. 520 с.

9. Мищенко З. А. Агроклиматология: учебник. Киев.: КНТ, 2009. 511 с.
10. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / Под ред. С. М. Семенова. М., 2012. 511 с.
11. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України: монографія / за ред. С. М. Степаненка та А. М. Польового. Одеса.: «Екологія», 2011. 694 с.
12. Паламарчук В. Д., Поліщук І. С., Каленська С. М., Єрмакова Л. М. Біологія та екологія сільськогосподарських рослин: підручник // Паламарчук В.Д. і ін.. Вінниця, 720 с.
13. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 318 с.
14. Польовий А. М. Сільськогосподарська метеорологія: підручник. Одеса: «ТЕС», 2012. 612с.
15. Польовий А. М., Божко Л. Ю. Шаблій О. В. Закономірності формування режиму зволоження території степової зони України в умовах зміни клімату // В зб. Фізична географія та геоморфологія. К. : вип. 1 (85), 2017. С. 106 - 113.
16. Тарко А. М. Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов /А. М. Тарко . М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 231 с.
17. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 200 с.
18. Физиология сельскохозяйственных растений/ Том VI, Зернобобовые растения. Многолетние травы. Хлебные злаки (рожь, ячмень, овес, просо) и гречиха // гл.ред. Б.А. Рудин и др.. Из-во Московского университета, 1970. 654 с.
19. Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату / За ред.

- В. В. Васильченко, М. В. Ращуна, І. В. Трохимової. К: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 1998. 208 с.
20. Шульгин А. М. и др. Влияние спектрального состава, интенсивности радиации, продолжительности фотопериодов на развитие, рост и морфогенез растений / А. М. Шульгин, Ф. М. Куперман, С. Н. Мерцалова // Вестн. с. – х. науки. 1963, №4. С.21 – 33.
21. Шумова Н. А. Закономерности формирования водопотребления и водообеспеченности агроценозов в условиях юга Русской равнины. М.:Наука, 2010. 239 с.
22. Nakicenovic, N. et al., (2000) IPCC Special Report on Emissions Scenarios. (Cambridge, UK), 599 pp.
23. Vellinga, P. et al., (2008) Exploring high-end climate change scenarios for flood protection of the Netherlands: an international scientific assessment. (KNMI, Wageningen, the Netherlands).
24. Зміна клімату: <http://nescu.org.ua/climate/>. (дата звернення: 08.05.2018 р.)
25. Про проблеми та наслідки глобальної зміни клімату на Землі. Ефективні шляхи вирішення даних проблем: <https://allatra.org/uk/pages/climate> (дата звернення: 12.04.18 р.).
26. Кулинська Х. Вплив змін клімату на термічні показники в Україні. Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. № 1 (21). С. 193-199.

ДОДАТКИ