

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

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра агрометеорології та
агроекології

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **Моделювання впливу змін клімату на продуктивність
кукурудзи в центральному Поліссі**

Виконав студент 2 курсу групи МНЗ-2а _____
Спеціальності 103 «Науки про Землю», _____
(шифр і назва)

Освітня програма «Агрометеорологія» _____
(назва)

Катерло Олександр Миколайович _____
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

Керівник к.геогр.н., доцент _____
Вольвач Оксана Василівна _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

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

Рецензент к.геогр.н., доцент _____
Прокоф'єв Олег Милославович _____
(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 агromетeорoлoгiя та агроeкoлoгiї
Рiвeнь вищoї oсвiти мaгiстр
Спeцiальнiсть 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Oсвiтня прoгpaмa Агromетeорoлoгiя
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
агromетeорoлoгiї та агроeкoлoгiї
Польовий А.М.
« 29 » жовтня 2018 року

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

Катерлу Олександр Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи: Моделювання впливу змін клімату на продуктивність кукурудзи в центральному Поліссі
керівник роботи Вольвач Оксана Василівна, к.геогр.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від « 5 » жовтня 2018 року № 271 «С»
- Строк подання студентом роботи 10 грудня 2018 року
- Вихідні дані до роботи: Матеріали середньобагаторічних агromетeорoлoгiчних, метеорологічних та фенологічних спостережень за кукурудзою мережі агromетcтaнцiй Житомирської області за період 1986-2005 рр. Дані про щорічну середньообласну урожайність кукурудзи по Житомирській області за період 1997-2016 рр. Метеорологічні дані за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 зміни клімату за період 2021-2050 рр.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):) вивчити фізико-географічні та агрокліматичні особливості території Житомирської області; ознайомитись з методологією динамічного моделювання продукційного процесу; вивчити біологічні особливості кукурудзи; провести аналіз динаміки урожайності кукурудзи та її ймовірнісний аналіз по Житомирській області; оцінити зміни агрокліматичних умов вирощування кукурудзи у Житомирській області у зв'язку зі зміною клімату; визначити вплив змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та урожайність кукурудзи в Житомирській області за умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Графіки динаміки урожайності та лінії тренду. Графіки відхилень урожайності від тренду. Ймовірнісні криві урожайності. Графік динаміки площі листя та динаміки загальної біомаси рослин. Графік динаміки ФСП посіву кукурудзи.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 29 жовтня 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. Формування бази даних для виконання магістерської роботи. Оформлення текстової частини першого та другого розділів магістерської роботи.	29.10.2018 р. - 6.11.2018 р.	90	5 (відмінно)
2	Аналіз динаміки урожайності. Ймовірнісний аналіз урожайності кукурудзи.	7.11.2018 р. – 18.11.2018 р.	90	5 (відмінно)
3	Рубіжна атестація	19.11.2018 р. - 24.11.2018 р.	90	5 (відмінно)
4	Розрахунки основних агрокліматичних показників вегетаційного періоду кукурудзи.	25.11.2018 р. - 29.11.2018 р.	90	5 (відмінно)
5	Розрахунки показників фотосинтетичної продуктивності та урожаїв зерна кукурудзи за базовими даними та за умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5.	30.11.2018 р. - 6.12.2018 р.	90	5 (відмінно)
6	Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи.	7.12. 2018 р. - 10.12.2018 р.	90	5 (відмінно)
7	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складання протоколу і висновку керівника.	13.12.2018 р.	90	5 (відмінно)
8	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту	-	-	-
9	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	-	90,0	

Студент

_____ Катерло О.М.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Вольвач О.В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Катерло О.М. Моделювання впливу змін клімату на продуктивність кукурудзи в центральному Поліссі.

Актуальність обраної теми зумовлена тим, що для отримання сталих і високих урожаїв будь-якої сільськогосподарської культури, зокрема, кукурудзи, необхідне детальне вивчення агрокліматичних умов її вирощування на досліджуваній території з метою раціонального використання цих умов і найбільш оптимального розміщення посівів. Особливого значення набуває вирішення цього питання у зв'язку зі змінами клімату на планеті, що надають Україні можливість стати одним із найбільших виробників сільськогосподарської продукції.

Метою даного дослідження є оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні ресурси стосовно умов формування продуктивності кукурудзи у центральному Поліссі на прикладі Житомирської області.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- оцінити просторово-часову мінливість урожайності кукурудзи;
- розрахувати основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду кукурудзи за базовими умовами та з врахуванням змін клімату за період 2021-2050 рр.;
- визначити вплив можливих змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та урожайність кукурудзи за умов реалізації сценаріїв зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Об'єкт дослідження - агрокліматичні умови формування урожайності кукурудзи в умовах зміни клімату.

Предмет дослідження - оцінка впливу агрокліматичних умов на урожайність кукурудзи у Житомирській області.

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

Вперше: встановлені закономірності впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування кукурудзи та її продуктивність в Житомирській області.

Отримані результати можуть бути використані при виконанні комплексної оцінки агрокліматичних ресурсів стосовно вирощування кукурудзи та оптимізації розміщення її посівних площ за умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 зміни клімату в українському Поліссі.

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань та додатків. Повний обсяг роботи становить 73 сторінки, 10 рисунків, 7 таблиць. Список використаних літературних джерел містить 49 найменувань.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: кукурудза, модель продуктивності, зміна клімату, агрокліматичні умови, урожай зерна.

SUMMARY

Katerlo O. Modeling the effects of climate change on corn productivity in central Polissya.

The relevance of the chosen topic due to the fact that to obtain stable and high yields of any crops, particularly maize, it is necessary for a detailed study of agroclimatic conditions of its cultivation in the study area with the aim of rational use of these conditions and the optimal placement of crops. Particular importance is the decision of this question in connection with climate changes on the planet that give Ukraine the opportunity to become one of the largest producers of agricultural products.

The aim of this study is to assess the impact of climate change on agroclimatic resources on conditions of formation of maize productivity in the Polissya zone of Ukraine on the example of Zhytomyr region.

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

- to evaluate spatial and temporal variability of maize yield;
- to calculate the basic agroclimatic indicators of vegetation period maize in Polissya on the basic conditions and taking into account climate change during the period of 2021-2050-pp;
- to determine the influence of possible climate change on photosynthetic productivity and maize yield under the conditions of realization of climate change scenario RCP 4.5 and RCP 8.5.

The object of study - is agro-climatic conditions of formation of maize yield in climate change conditions.

The subject of the study was to assess the influence of agroclimatic conditions on yield of maize in Zhytomyr region.

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

For the first time: the regularities of the effect of climate change on agroclimatic conditions for maize cultivation and it's productivity in Zhytomyr region.

The results can be used when performing a comprehensive assessment of agroclimatic resources in relation to maize cultivation and optimize the placement of the acreage in the conditions of realization of the RCP 4.5 and RCP 8.5 climate change in Ukrainian Polissya.

The work consists of an introduction, four chapters, conclusions, list of references and attachments. Full work is 73 pages, 10 graphics, 7 tables. The list of used literary sources contains 49 items.

KEY WORDS: maize, productivity model, climate change, agro-climatic conditions, crop grain.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИХ ТА АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ...	10
2 БОТАНІЧНА ТА БІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КУКУРУДЗИ.....	15
2.1 Ботанічний опис кукурудзи (<i>Zea mays</i>).....	15
2.2 Вплив температури на ріст та розвиток кукурудзи	17
2.3 Вимогливість кукурудзи до вологи.....	20
2.4 Вимоги кукурудзи до світла.....	22
2.5 Вимоги кукурудзи до ґрунтів та мінерального живлення.....	23
2.6 Характеристика гібридів кукурудзи.....	24
3 МІНЛИВІСТЬ ВРОЖАЇВ КУКУРУДЗИ НА ТЕРИТОРІЇ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	27
3.1 Урожайність як агрокліматичний показник умов вирощування рослин.....	27
3.2 Сучасні методи прогнозування тенденції врожайності.....	29
3.3 Дослідження динаміки урожайності кукурудзи на території Житомирської області	31
3.4 Дослідження кліматичної складової урожайності кукурудзи.....	35
3.5 Ймовірнісна оцінка урожаїв кукурудзи.....	38
4 ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ В ЖИТОМИРСЬКІЙ ОБЛАСТІ.....	41
4.1 Зміни клімату та їх вплив на сільське господарство.....	41
4.2 Алгоритм динамічної моделі продукційного процесу кукурудзи.....	43
4.2.1 Підблоки фотосинтезу, дихання та приросту рослинної маси.....	45
4.2.2 Підблок динаміки біомаси органів рослини.....	46
4.2.3 Підблок радіаційного та водно-теплого режимів посівів.....	47
4.3 Оцінка зміни агрокліматичних умов вирощування кукурудзи у Житомирській області.....	48
4.4 Фотосинтетична продуктивність та коливання урожайності кукурудзи в зв'язку зі зміною клімату.....	56
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	66
ДОДАТКИ.....	71

ВСТУП

Кукурудза - найдавніша культурна рослина. Родина її - Центральна і Південна Америка. Про це свідчать археологічні знахідки пилкових зерен, волотей, зерна і качанів примітивних форм кукурудзи, а також результати генетичних і цито-ембріологічних досліджень. Ще в доколумбову епоху кукурудза була основною продовольчою культурою аборигенів, які проживають в цих районах. Первинним ареалом крохмалистої кукурудзи є андійські райони Південної Америки, первинним ареалом кременистої кукурудзи є Центральна Америка, а розлусної кукурудзи - Мексика.

Повідомлення про нову рослину було зроблено Колумбом незабаром після відкриття ним Америки. Перші зразки кукурудзи потрапили в Європу наприкінці XV століття. Спочатку її вирощували як рідкісну декоративну рослину. Незабаром у Франції, в Італії, Португалії кукурудза була визнана цінною продовольчою, а потім кормовою культурою. У XVI столітті вона швидко поширилася в районах, де природні умови були сприятливими для її вирощування, потрапила в північну Африку, Індію, Китай [1].

Кукурудза - одна з основних культур сучасного світового рослинництва. Це пов'язано з її високою врожайністю і різноманітним використанням. Більшу частину врожаю кукурудзи у світі (близько 60%) використовують на кормові цілі, решту – на продовольчі та технічні [2].

Зернівка кукурудзи містить 65-70% вуглеводів, 9-12% білка, 4-8% олії. Із зерна отримують крупи, пластівці, консерви (цукрову кукурудзу), крохмаль, етиловий спирт, пиво, глюкозу, цукор, патоку, сироп, олію, вітамін Е, аскорбінову та глютамінову кислоти.

Кукурудзу використовують на зелений корм, який має достатньо високий вміст каротину. Окрім зерна широко використовується так звана побічна продукція (ПП) кукурудзи. Виділяють наступні складові побічної продукції кукурудзи на зерно: стебло, листя, стрижень та обгортка качана. На

кормові цілі йдуть сухі стебла, стрижні качанів, які залишаються після збирання кукурудзи на зерно. У 100 кг кукурудзяної соломи міститься 37 кормових одиниць, а в 100 кг розмолотих стрижнів – 35 [2].

Кукурудза – цінна сировина не тільки для АПК, але і для інших галузей економіки, оскільки при повній і комплексній її переробці отримують більше 500 видів різних продуктів [3].

У США та деяких країнах ЄС значні обсяги ПП заготовлюються і використовуються у промислових масштабах для виробництва широкого асортименту продукції. В Україні ПП кукурудзи на зерно переважно використовують як добриво, а також традиційно застосовують у тваринництві як корм і підстилку та у деяких регіонах – як тверде біопаливо [4].

Зола від спалювання побічної продукції кукурудзи може бути використана як добриво. Національною академією аграрних наук України для АПК розроблені рекомендації із застосування соломи і післяжнивних решток як органічних добрив [5].

Практичний досвід заготівлі значних обсягів ПП кукурудзи на зерно напрацьований у США компанією DuPont, яка 30 жовтня 2015 р. відкрила у м. Невада штату Айова найбільший у світі завод з виробництва целюлозного біоетанолу. На заводі планується виробляти більш ніж 110 млн. л. целюлозного біоетанолу на рік [4].

Кукурудза займає важливе місце в поукісних і пожнивних посівах, сприяючи, таким чином, більш інтенсивному використанню ріллі та збільшення збору зерна з одиниці площі.

Кукурудза має велике агрономічний і екологічне значення. Вона є хорошим попередником для багатьох культур, в тому числі для озимої пшениці. Ранньостиглу кукурудзу можна з успіхом вирощувати на зерно в поукісних і пожнивних посівах, а також використовувати як страхову культуру в разі загибелі озимих та ярих культур. Кукурудза є високопродуктивною страховою культурою для відновлення зернового клину

в разі загибелі озимих колосових від несприятливих погодних умов. У смугових і змішаних посівах, особливо з бобовими культурами, її використовують як кулісну рослину [1].

За останні 15 років (2000-2015 рр.) посівні площі під кукурудзою зросли приблизно на 20 млн га. Сьогодні у світі під цією культурою зайнято близько 145-150 млн га і за цим показником вона посідає третє місце. Упродовж зазначеного періоду відзначають стійку тенденцію щодо зростання валового збору зерна кукурудзи. Так, у 2008 р. у світі вперше було зібрано 800 млн т зерна цієї культури, у 2010 р. – 814 млн т, у 2012 р. валовий збір наблизився до 900 млн т, а у 2014 р. досяг нового рекордного показника за всю історію – 991 млн т [2].

Лідером із виробництва кукурудзи у світі є США, де щорічно вирощують 340-360 млн т зерна, а це близько 38-40% від її світового валового виробництва. Друге місце за валовим збором зерна кукурудзи займає Китай, у якому в період із 2010 до 2015 рр. у середньому щорічно збирали 220 млн т зерна. У країнах Євросоюзу протягом останніх років щорічно виробляли 60-65 млн т зерна, що становить близько 7% від загального валового виробництва. До світових лідерів із виробництва зерна кукурудзи, крім США, Китаю та ЄС, належать Бразилія – 60-70 млн т зерна щорічно, Аргентина – 22-25 млн т, а також Індія – 21-24 млн т [2].

Найбільші посівні площі під кукурудзою в США – понад 35 млн га, де під кукурудзу тут виділяють найродючіші ґрунти, тому середня урожайність культури тут становить 8 т/га. В Китаї під кукурудзою зайнято близько 20 млн га, в Бразилії – понад 10 млн га. Серед країн Євросоюзу найбільші площі посіву кукурудзи в Румунії, Франції, Італії, Угорщині та Болгарії.

Україна входить до першої десятки світових виробників цієї культури. Кукурудза на зерно в нашій країні займає близько 1,4-1,6 млн га, на зелений корм і силос – 2,5-3,0 млн га [2].

Хоча на сьогодні попит на вітчизняну кукурудзу внаслідок недостатнього рівня її якості ще не відповідає обґрунтованому потенційному,

в останні роки за експортом кукурудзи Україна вже вийшла на 4-6 місце в світі. За оцінками експертів Україна має реальний потенціал і механізми виходу до 2020 року та третє місце в світі серед експортерів кукурудзи (11 млн. т) [6].

Протягом останніх десятиліть на нашій планеті відбуваються досить очевидні зміни клімату. Стосовно сільськогосподарського виробництва ці зміни перш за все впливають на агрометеорологічні та агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур. Аналіз цього впливу як для території України, так і для поліських областей [7, 8] свідчить про те, що у Поліссі відбувається формування кліматичних умов сприятливих для вирощування теплолюбних культур: соняшнику, кукурудзи, сої, проса.

Підвищення ефективності вирощування будь-якої сільськогосподарської культури потребує детального вивчення впливу можливих змін клімату на агрометеорологічні умови вегетаційного періоду культури та фотосинтетичну продуктивність її посівів. Тому метою даної магістерської роботи було саме вивчення цього впливу стосовно вирощування кукурудзи на території Житомирської області, що характеризує зону Центрального Полісся України.

Для виконання роботи було використано метеорологічні та фенологічні дані середньобогаторічних спостережень за кукурудзою (1986-2005 рр.) з Агрокліматичного довідника по Житомирській області [9] та дані за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 змін клімату на період 2021-2050 рр.

Результати роботи неодноразово представлялись на наукових та науково-практичних конференціях різного рівня, зокрема на XVII конференції молодих вчених ОДЕКУ (Одеса, 2018), IV Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції “Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії” (Переяслав-Хмельницький, 2018), Третій міжнародній конференції молодих вчених “Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення” (Одеса, 2018).

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИХ ТА АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

Житомирська область розташована у північно-західній частині території України, між $49^{\circ}31'$ і $51^{\circ}41'$ північної широти та між $27^{\circ}12'$ і $29^{\circ}46'$ східної довготи. Загальна площа області – 29,9 тис. км². На півночі вона межує з Гомельською областю Республіки Білорусь, на заході – з Хмельницькою і Рівненською областями, на сході – з Київською і на півдні – з Вінницькою областями.

Геологічна будова. У геоструктурному відношенні територія області знаходиться у межах північно-західної частини Українського щита (переважно Волино-Подільського блоку). За будовою антропогенних відкладень Житомирське Полісся поділяється на дві частини: східну, де велику роль відіграють льодовикові відкладення (морена) і західну, де морени немає. Межа між ними проходить по лінії Словечне – Нові Велідники – Лугини – Житомир [9].

Рельєф області тісно пов'язаний із геологічною будовою. Більша частина Житомирської області знаходиться в межах Придніпровської височини, північну і північно-східну частини займає Поліська низовина. Поверхня хвиляста із загальним зниженням на північ і північний схід.

Північна частина області розташована у межах Житомирського Полісся, південна – Дністровсько-Дніпровської лісостепової фізико-географічної провінції. Серед сучасних природних процесів, несприятливих для с.-г. виробництва, в поліській частині області спостерігаються оглеєння, окислення, заболочування, на осушених масивах – переосушення і вторинне заболочування ґрунтів [9].

Гідрографія. По території Житомирської області протікає 329 річок довжиною понад 10 км. Всі річки області належать до басейну Дніпра. Понад

70 % річкового стоку припадає на весняну повінь та дощові паводки і лише 30 % – на решту року. У північній частині області велика кількість озер і боліт. Всього в області нараховується 43 водосховища, 29 використовуються комплексно. Найбільші з них Малинське, Іршанське, Житомирське, Корнинське, Денишівське. Наявність водосховищ та ставків дозволяє певною мірою здійснювати сезонний перерозподіл стоку, створювати необхідні запаси води, забезпечувати потреби населення і економіки у водних ресурсах [9].

Треба відзначити, що в останні роки різко погіршується екологічний стан річкових вод. Причиною цього негативного процесу є збільшення антропогенного навантаження, основними факторами якого є відходи комунального господарства та індустріальних підприємств, а також сільськогосподарське виробництво. Внаслідок цього відбувається зміна фізичних властивостей води та вмісту в ній хімічних елементів, зменшується кількість розчиненого у воді кисню тощо [10].

Ґрунти та напрямки землекористування. На відносно зниженій, рівнинній території поліської частини Житомирської області в умовах достатнього зволоження утворились дерново-підзолисті ґрунти піщаного, глинисто-піщаного та супіщаного механічного складу. Всі дерново-підзолисті ґрунти характеризуються рядом негативних властивостей: кислою реакцією ґрунтового розчину, бідністю на гумус та валові і легкорозчинні форми поживних речовин, несприятливим водно-повітряним режимом. У лісостеповій частині області в умовах помірного зволоження сформувалися набагато родючіші, ніж на Поліссі ґрунти. У північній частині цієї зони досить поширені опідзолені ґрунти: сірі, темно-сірі і чорноземи опідзолені. Окремими великими масивами залягають чорноземи малогумусні глибокі та неглибокі з переважанням їх вилугуваних відмін.

Основу ґрунтового покриву крайньої південної частини області становлять чорноземи малогумусні глибокі і неглибокі піщано-суглинкові [9].

Кліматичні та агрокліматичні умови. Клімат Житомирської області помірно-континентальний, м'який, вологий. Середня температура повітря за

рік по області становить 7,3–7,7 °С. Середня температура січня (найхолоднішого місяця) становить мінус 3,1–3,5 °С, середня температура липня (найтеплішого місяця) – 18,9–19,3 °С.

Зимовий період на Житомирщині триває 94–95 днів – з 21–25 листопада до 26–27 лютого. Вегетаційний період триває 207–209 днів, починається в середньому по області 3–4 квітня і закінчується 27–29 жовтня. Сума позитивних температур повітря вище 5 °С за цей період змінюється від 2910 °С у північно-західних районах області до 2990 °С на півдні.

Період активної вегетації с.-г. культур триває 159–163 дні, змінюючись в окремі роки від 144 до 180 днів, починається 22–24 квітня і закінчується 30 вересня – 2 жовтня. Сума позитивних температур повітря вище 10 °С за цей період змінюється від 2510 °С у північно-західних районах області до 2600 °С на півдні.

Літній період триває в області 104–106 днів – з 22–23 травня до 4–9 вересня. Сума позитивних температур повітря вище 15 °С за цей період змінюється від 1820 °С у північно-західних районах області до 1910 °С на півдні.

Середня кількість опадів по області за рік становить 625 мм, змінюючись по території від 592 до 669 мм та по роках від 470 мм до 836 мм. Близько 70 % відсотків від річної кількості опадів випадає у теплий період року. Режим зволоження території області створює в цілому позитивний баланс вологи в ґрунті. Проте у зв'язку з високою водопроникністю легких за механічним складом порід, що залягають у районах Полісся, значну повторюваність мають ґрунтові засухи, які негативно впливають на розвиток с.-г. культур. Помірна атмосферна засуха, яка часто поєднується із ґрунтовою в період активної вегетації с.-г. культур (ГТК становить 0,8–0,9), має ймовірність 90 % на більшій частині території області.

За сукупністю показників агрокліматичних ресурсів у період активної вегетації с.-г. культур (суми позитивних температур повітря, кількості опадів та гідротермічного коефіцієнта) територію Житомирської області поділено на два агрокліматичних райони (достатнього теплозабезпечення, достатнього і надлишкового зволоження та достатнього теплозабезпечення і достатнього зволоження). Картосхема районування території та легенда до неї представлені на рис. 1.1 та у таблиці 1.1 [9].

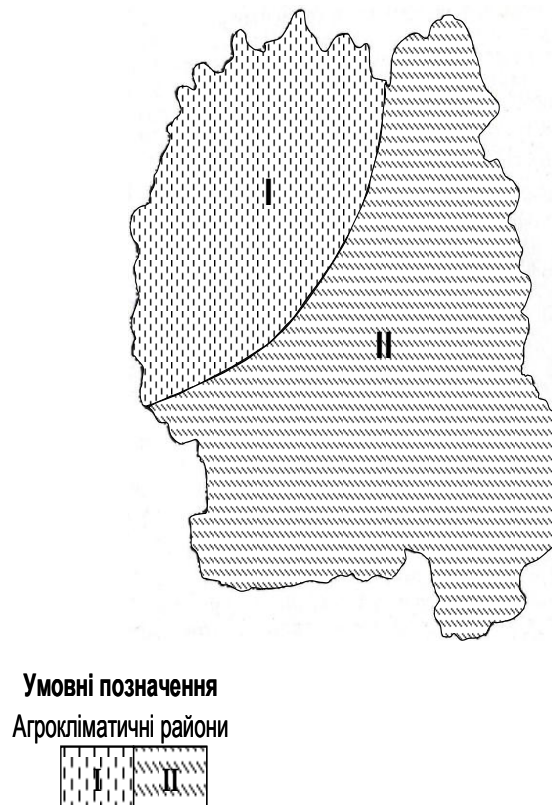


Рисунок 1.1 - Картосхема агрокліматичного районування території Житомирської області [9]

Таблиця 1.1 – Показники районування території [9]

Агрокліматичні райони	Показники агрокліматичних ресурсів за період активної вегетації с.-г. культур		
	гідротермічний коефіцієнт (ГТК)	сума температур вище 10 °С	кількість опадів, мм

I. Достатнього теплозабезпечення, достатнього і надлишкового зволоження	1,5-1,6	2500-2550	450-480
II. Достатнього теплозабезпечення, достатнього зволоження	1,4	2550-2650	400-450

Перші осінні заморозки в повітрі спостерігаються в кінці другої декади вересня, останні весняні – у кінці другої декади травня. Середня тривалість беззаморозкового періоду по області в повітрі становить 148–171 день, на поверхні ґрунту – 147–162 дні. У вегетаційний період на території області спостерігається від 3 до 5 днів із суховіями різної інтенсивності, в окремі роки – від 9 до 17 днів. Серед інших несприятливих для с.-г. культур явищ погоди на території області у вегетаційний період спостерігається град, сильний вітер, дуже сильний дощ та зливи.

Сніговий покрив утворюється наприкінці листопада – на початку грудня, а руйнується в другій декаді березня. Середня висота снігу за зиму – 8-13 см, тоді як максимальна висота в окремі роки досягає 51-65 см. В останні десятиріччя досить часто спостерігаються роки без сталого снігового покриву або взагалі безсніжні зими. Середня глибина промерзання ґрунту по області за зиму коливається від 20 см до 36 см.

Узимку зазвичай спостерігаються відлиги, кількість днів з якими за період грудень–лютий по області становить 49 - 51. Відлиги, які тривають більше ніж 5 днів поспіль, зумовлюють порушення зимового спокою озимини, що призводить до зниження морозостійкості рослин [9].

2 БОТАНІЧНА ТА БІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КУКУРУДЗИ

2.1 Ботанічний опис кукурудзи (*Zea mays*)

Кукурудза - однорічна, однодольна культурна рослина; відноситься до класу однодольних (*Monocotyledoneae*), родини злакових (*Gramineae*), підродини просовидних (*Panicoidae*), роду кукурудза (*Zea*). Рід *Zea* представлений єдиним видом – *Zea mays*, причому, тільки у культурній формі [1]. За ступенем кущистості, кількості листків на головній стеблині форми кукурудзи дуже різноманітні.

Від інших однорічних злаків кукурудзу відрізняють дуже товста та висока стеблина та потужне, велике листя. Також, як і інші злакові, кукурудза має мичкувату кореневу систему, але із рядом особливостей.

Детальна характеристика кореневої системи кукурудзи та особливостей її розвитку надається Ф.М. Куперман [11]. У кукурудзи розрізняють п'ять типів коренів – зародкові, гіпокотильні (бокові), зародкові епикотильні, вузлові та опорні. Перший зародковий корінчик виникає при проростанні зернини, він дуже швидко заглиблюється у ґрунт на глибину до 30-40 см. Через 2-3 дні відбувається формування бокових коренів. Бокові гіпокотильні корінці досить сильно розгалужуються та разом із зародковим корінцем формують так звані корені першого ярусу. Саме ці корені протягом перших 2-3 тижнів життя кукурудзяної рослини забезпечують її водою та живильними речовинами.

Другий ярус коренів утворюється з колеоптильного вузла. Ці так звані епикотильні корінці зазвичай не розгалужуються і ростуть вертикально униз. Як правило, для харчування рослин, ці корені суттєвого значення не мають.

Найбільш важливими для життєдіяльності кукурудзяної рослини є третій ярус коренів. Це основні або постійні корені. На початку вони ростуть

в бік та займають вільне місце у міжряддях у діаметрі близько 1 м. Потім вони заглиблюються до глибини 2 та більше метрів. Ці корені інтенсивно розгалужуються, так що довжина всіх коренів та кореневих волосків однієї рослини досягає декількох кілометрів.

Також для рослини дуже важливі опорні корені, що утворюються двома-трьома надземними вузлами стебла, розташованими біля поверхні ґрунту та дещо вище. Зазвичай вони вкриті товстою захисною тканиною. Їх основна функція – попереджати полягання рослин – також добре узгоджується з функцією живлення рослин.

Довжина стебел рослин кукурудзи коливається від 0,5-1 м у ранньостиглих форм і до 5-7 м у пізньостиглих, а їх діаметр - від 1 до 7 см [11, 12]. У теперішній час відомі високорослі форми кукурудзи з висотою стебла до 9 м [2].

Стебло кукурудзи має добре виражені вузли та міжвузля. Їх кількість в залежності від сорту становить 8-40 та більше. Найбільш короткі міжвузля знаходяться у нижній частині стебла, найбільш довгі – у верхній. Міжвузля, на якому формується чоловіче суцвіття – волоть – як правило, буває найбільш довгим. Особливістю стебла кукурудзи є те, що воно здатне довго залишатися зеленим [11].

В основі міжвузел виростають качани, з яких у сучасних гібридів, як правило, тільки один досягає повного розвитку. Під землею можуть відростати бічні або пазушні пагони, утворення яких у сучасних гібридів при нормальних умовах розвитку пригнічується [12].

Листки кукурудзи складається з листової піхви, котра щільно охоплює нижню та середню частини міжвузля, широкої та довгої листової пластинки та невеликого язичка, що знаходиться у місці переходу піхви у листову пластинку. Його функція – захист стеблини від проникнення пилу, води, мікроорганізмів [11].

Сорти кукурудзи, що мають різну тривалість вегетаційного періоду, розрізняються і за кількістю листя. Їх кількість коливається від 6-8 у

ранньостиглих до 48 у пізньостиглих. Качан забезпечується асимілятами насамперед від листків, які перебувають безпосередньо під ним, тому дуже важливо, щоб його поверхні отримувала якомога більше фотосинтетично активної сонячної радіації (ФАР). З цією метою селекціонери створюють «геліотропні» форми кукурудзи [12].

Кукурудза відноситься до однодомних різностатевих рослин, що здатні формувати два типи квіток – чоловічі та жіночі. Чоловічі квітки, в яких розвиваються чоловічі генеративні органи – тичинки, зібрані у чоловіче суцвіття – волоть. Жіночі квітки, у яких розвиваються переважно жіночі генеративні органи (зародкові мішки) зазвичай формуються на укорочених бічних пагонах та утворюють жіноче суцвіття – качан [11].

Нитка рильця досить довга (40-50 см), вона виходить із зав'язі кожної жіночої квітки і приймає пилок всією своєю поверхнею. Під час цвітіння у всіх 300-1000 квіток нитки рильця виходять із обгортки початку. Кукурудза – вітрозапильна рослина (анемофільна). Оскільки не всі рослини перебувають в одній і тій же фазі розвитку період випускання пилку на полі триває біля двох тижнів [12].

Зерно кукурудзи, як і інших зернових, складається із зародка, ендосперму й оболонки (плодової та насінневої). Маса ендосперму становить 80-85 %, зародка - близько 10 %, оболонки - 5-7 % від загальної маси зернівки [2].

У залежності від того, які пігменти переважають у плодовій оболонці зернівки кукурудзи, вона може мати жовте, помаранчеве, червоне, темно-вишневе або фіолетове забарвлення. За відсутності пігментів зернівки мають білий колір [11]. Маса 1000 зерен у середньому становить 250-350 г. Вихід зерна становить 75-85 % від маси качана [2].

2.2 Вплив температури на ріст та розвиток кукурудзи

Кукурудза - теплолюбна рослина, причому ця особливість проявляється з моменту проростання насіння. Біологічний мінімум кукурудзи на початку її життя становить 10°C , але протягом вегетації він змінюється в залежності від фази розвитку, тому для більш детального та ефективного визначення впливу температури на розвиток кукурудзи на тій чи іншій території бажано уточнювати значення біологічного мінімуму [13].

В агрометеорології прийнято, що активний розвиток та формування достатнього урожаю відбувається у кукурудзи у період з температурами повітря вище 10°C .

Найдетальніші дослідження стосовно температурних меж вирощування кукурудзи проведені у 60-70-х роках минулого століття видатним радянським агрометеорологом Ю.І. Чирковим [14] і з того часу не втратили своєї актуальності. Так, Ю.І. Чирковим встановлено, що при запасах продуктивної вологи більше 15 мм у шарі ґрунту 0 – 10 см і температурі $11 - 12^{\circ}\text{C}$ сходи кукурудзи з'являються через 20 – 25 днів, а при $18 - 22^{\circ}\text{C}$ – через 6 – 8 днів [14].

Тому дуже важливо враховувати такі особливості кукурудзи при виборі строків її сівби. Відомо, що зерно починає проростати за температури ґрунту на глибині залягання $7-8^{\circ}\text{C}$, проте ця температура недостатня для появи дружних і здорових сходів. У разі посіву кукурудзи в недостатньо прогрітий ґрунт, значна частина зерна уражується хворобами і гине, тому сходи стають зрідженими та ослабленими [2].

Існує пряма кореляція між інтенсивністю росту коренів і надземних органів кукурудзи, а також її продуктивністю і температурою повітря. Оптимальна температура ґрунту для росту коренів кукурудзи – 24°C , для росту надземних органів на ранніх етапах – 20°C , на більш пізніх – близько 28°C . Квітки найкраще формуються при температурі ґрунту $28 - 32^{\circ}\text{C}$. Якщо в період вегетації температура ґрунту не досягає 16°C , середньостиглі та пізньостиглі сорти кукурудзи навіть не зацвітають [15].

Також Ю.І. Чирков визначив, що кількість листя кукурудзи, що формується протягом вегетації, залежить від швидкостиглості сорту. Середня сума ефективних температур, що доводиться на один міжлистовий період, складає 30 ± 2 °C [14].

За відомостями Ю.І. Чиркова, сума біологічно активних температур, необхідна для дозрівання скоростиглих сортів, складає 1800-2000 °C, середньостиглих і пізньостиглих сортів – 2300-2600 °C. Середньостиглі і пізньостиглі гібриди розрізняються між собою по сумі температур необхідних для досягнення фази викидання волоті, і вимагають практично однакової суми температур для проходження подальших фаз [14].

Треба відзначити, що за даними сучасних дослідників, завдяки виведення селекціонерами нових гібридів кукурудзи, значення сум температур дещо змінились. Так, для ранньостиглих гібридів вона становить 2200–2250°C, середньоранніх та середньостиглих 2300–2650°C, для пізньостиглих гібридів - 2700–2900°C [16, 17].

Заморозки навесні не шкодять кукурудзі, якщо не ушкоджується точка росту. Осінні ж заморозки до рівня нижче мінус 4°C спричиняють відмирання рослин і зниження поживності корму. Високу потребу кукурудзи в теплі треба враховувати при визначенні строків сівби й збирання. Коливання врожайності кукурудзи по роках вирощування у північних регіонах більше залежать від суми температур, ніж від вологи [12].

Гранично високі температури, за яких рослини кукурудзи спроможні повноцінно розвиватися, становлять не більше 30 °C. За температури 32-35 °C у період викидання волотей порушується нормальний процес цвітіння та запліднення рослин, через що спостерігається череззерниця в качанах. За температури 42-45 °C ріст рослин припиняється [2].

Погодні умови сильно впливають на інтенсивність фотосинтезу кукурудзи. Наприклад, якщо пшениця й кукурудза при температурі 15°C мають приблизно однакову продуктивність асиміляції, то при 30°C і сильній інсоляції в кукурудзі вона є в 4 рази вищою, ніж у пшениці. При температурі

нижче 12°C інтенсивність фотосинтезу в кукурудзи значно знижується [12].

2.3 Вимогливість кукурудзи до вологи

Кукурудза належить до посухостійких рослин, однак за цим показником поступається просу та сорго. Вона економно витрачає вологу на утворення одиниці сухої речовини. Залежно від погодних умов року вирощування та фази розвитку рослин її транспіраційний коефіцієнт становить 200-400 (у середньому близько 250). Порівняно з іншими зерновими культурами кукурудза витрачає більше води на одиницю площі, тому формує значно вищу врожайність зерна та зеленої маси [2].

На кожен міліметр води рослини виробляють близько 20 кг зерна на 1 га. На початку розвитку середньодобові витрати води становлять 30-40 м³ з 1 га, в період від викидання до молочної стиглості зерна - 80-100 м³. При оптимальному розподілі опадів і достатній забезпеченості кукурудзи вологою в період з 15 червня по 15 серпня умови її вирощування можна вважати сприятливими [1].

Відомо, що упродовж вегетації кукурудза нерівномірно використовує ґрунтову вологу. У період від сходів до утворення 13–15 листків витрачається 7–9% вологи, від фази 13–15 листків до середини фази молочної стиглості зерна - 69–73% та під час досягання - 20–22% [18].

Максимум споживання вологи досягається на початку цвітіння волоті і молочної стиглості зерна (за 10 днів до і через 20 днів після викидання волоті), що пов'язано з інтенсивним ростом рослин. Це так званий критичний період кукурудзи по відношенню до вологи. Тому кукурудза ефективно використовує опади в другій половині вегетації [2, 14, 18]. За даними Д.П. Томашевського [19] та М.І. Христенко [20] при опадах в період із травня по серпень на рівні 200 мм і більше кукурудза майже не відчуватиме нестачу вологи.

Оптимальним вважається 260 – 300 мм опадів за вегетаційний період, основну масу яких рослини мають отримати до викидання волоті. При оптимальному водопостачанні добре розвинена рослина кукурудзи може випарувати за день близько 4 л води, що при загальноприйнятій середній густині стояння, що дорівнює приблизно 40 тис. рослин/га, складає 160 тис. літрів [21].

За високого рівня технології вирощування кукурудза відносно добре протистоїть ґрунтовій і повітряній посухам. Це пояснюється тим, що в період найбільшого поглинання вологи вона вже має добре розвинену кореневу систему, яка забезпечує рослину вологою з більшої глибини і має здатність поглинати пари води з повітря та використовувати їх як додатковий резерв джерела вологи. Оптимальна вологість ґрунту в період активної вегетації має становити 75-80 % НВ. Кукурудза не витримує перезволоження, погано росте і розвивається на ґрунтах із близьким заляганням ґрунтових вод [2].

Кукурудза дуже чутлива до заболочування. Затоплення водою викликає зменшення рівня концентрації кисню, що пригнічує кореневу функцію і життєздатність рослин. Інтенсивність засвоєння наявного у ґрунті азоту та інших поживних речовин може бути зменшена при наявності заболочування, це сповільнює швидкість росту листя і прискорює його загибель, що, у свою чергу, певною мірою зменшує врожайність [22].

Кукурудза звичайно зрошується по борознам або зрошувальними агрегатами. Системи крапельного зрошення також можуть бути використані для отримання високих урожаїв кукурудзи. Зрошувальні системи відрізняються за своєю ефективністю, але в усіх системах деяка кількість зрошувальної води втрачається як сток. Частина зрошувальної води може просочуватись через ґрунт до глибини за межами коріння, а частина випарується з поверхні ґрунту. Тобто існує безліч факторів, що впливають на ефективність зрошувальної системи, які треба враховувати [22].

Хоча кукурудза вважається засухостійкою культурою, тривалі посушливі умови спричиняють у рослин так званий “водний стрес” (moisture stress),

внаслідок якого, наприклад, зменшується інтенсивність багатьох важливих метаболічних та фізіологічних процесів в рослинах, зменшується кількість утвореного листя, маса зернин, товщина коренів [23].

2.4 Вимоги кукурудзи до світла

Затінення рослин, як і запізнення з прориванням сходів, пригнічує ростові процеси: гальмує формування репродуктивних органів, збільшує розрив у цвітінні чоловічих і жіночих суцвіть, що призводить до збільшення кількості безплідних колосків.

Кукурудза належить до світлолюбних рослин. Інтенсивність асиміляції CO_2 , у великій мірі залежить від інтенсивності освітлення. Затемнення листя знижує її. Тому положення листя на рослині і площа живлення мають велике значення. Оптимальний індекс листкової поверхні (листова поверхня / площа ґрунту) для кукурудзи на силос складає 3,0-6,0, для кукурудзи на зерно - 3,0-4,0 [12].

Кукурудза - рослина короткого дня, найшвидше вона переходить у генеративну фазу розвитку при тривалості світлового дня в 8-9 годин. При тривалості світлового дня понад 12-14 годин вегетативна фаза й весь вегетаційний період подовжуються. Тому гібриди для північних регіонів вирощування кукурудзи повинні бути генетично пристосованими до умов довгого дня.

Висока продуктивність кукурудзи обумовлена тим, що асиміляція вуглекислого газу відбувається, як і в інших тропічних рослин, за дуже ефективним циклом C_4 . Фотосинтетична продуктивність (нетто- асиміляція вуглекислого газу) на одиницю листкової поверхні і на одиницю часу в 2-3 рази вище, ніж у сільськогосподарських культур з помірної кліматичної зони, у яких асиміляція вуглекислого газу проходить за циклом C_3 [12].

На підставі численних спостережень в Україні була запропонована в якості оптимальної для різних районів наступна густота стояння рослин на 1 га: Південний степ – 20 – 25 тис., Північний степ – 30 – 35 тис. [24].

У Лісостепу оптимальна густота посівів для ранньостиглих гібридів складає 60-65 тис/га, середньоранніх – 55-60 тис/га, середньостиглих – 45-50 тис/га, середньопізніх – 30-35 тис/га [25].

2.5 Вимоги кукурудзи до ґрунтів та мінерального живлення

Вирощувати кукурудзу можна на всіх типах ґрунтів, крім заболочених із неглибоким заляганням ґрунтових вод. Кращими для кукурудзи є структуровані чорноземні та темно- каштанові ґрунти, а також наносні ґрунти річних заплав, які мають високий рівень родючості. Дерново- підзолисті ґрунти повинні бути добре «заправлені» органічними і мінеральними добривами та окультуреними: мати глибокий орний шар і достатні запаси вологи. Більш сприятлива реакція ґрунтового розчину для кукурудзи - нейтральна та слаболужна. Кислі ґрунти ($\text{pH} < 5,0$) слід вапнувати [2].

Деякі дослідники вважають, що на ґрунтах з pH нижче 5,6 прогноз врожайності суттєво знижується, а при pH рівному 4,0 рослини кукурудзи просто не виживають. Індикатором високій кислотності ґрунту є знебарвлення і гниття нижньої частини коренів [1].

За механічним складом кращими вважаються середні і легкі суглинки, а також супіщані з доброю водоутримуючою здатністю ґрунту. Якісна обробка ґрунту, добриво, в деяких випадках меліорація значною мірою нівелюють відмінності в природній родючості ґрунтів [1].

Мінеральне живлення є одним з потужних факторів, що визначають продуктивність рослин та їх найважливіші властивості.

Споживання елементів мінерального живлення кукурудзи відповідає ходу накопичення органічної речовини рослиною. На початку вегетації воно незначне, а перед викиданням волоті багаторазово зростає. У першій

половині вегетації кукурудза використовує 40% азоту, 28% фосфору, 70% калію від загальної потреби.

Накопичення сухої речовини в стеблах припиняється на початку формування зерна, а в листі - в фазу молочно-воскової стиглості зерна, і починається посилене переміщення поживних речовин з вегетативних органів в репродуктивні. На налив зерна з інших органів рослин використовується до 59% азоту, 36% фосфору і до 82% калію [1]. Таким чином, споживання кукурудзою елементів мінерального живлення відбувається до настання повної стиглості насіння, причому основна маса речовин споживається протягом другої половини вегетації [11].

В повній мірі реалізувати потенціал врожайності сучасних гібридів кукурудзи та зменшити негативний вплив погодних умов року можна при взаємодії таких факторів як підбір найбільш адаптованих до конкретних зональних умов гібридів та оптимізація фону живлення. За результатами досліджень лабораторії рослинництва і сортовивчення Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН впродовж 2007-2009 рр., можна зробити висновок, що при вирощуванні восьми гібридів кукурудзи в сприятливі та несприятливі за погодними умовами роки при внесенні органічних добрив з розрахунку гній 30 т/га та гній 30 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$ було отримано найбільшу врожайність у порівнянні з варіантом без підживлення [26].

2.6 Характеристика гібридів кукурудзи

За тривалістю вегетаційного періоду гібриди й сорти кукурудзи поділяються на ранньостиглі, середньоранні, середньостиглі, середньопізні та пізньостиглі з вегетаційним періодом відповідно 90 - 100, 105 - 115, 115 - 120, 120 - 130 і 135 - 140 днів. Скоростиглість гібридів кукурудзи оцінюється показником ФАО. Це умовний показник, прийнятий Міжнародною

організацією по продовольству та сільському господарству при ООН (ФАО). Чим менше показник, тим більш скоростиглий сорт.

У 2016 р. до Державного реєстру сортів і гібридів, придатних для поширення в Україні, було внесено 1040 гібридів і сортів кукурудзи, з яких 726 рекомендовано до вирощування в Степу, 606 - у Лісостепу і 394 - на Поліссі [2].

Чисельні розробки з селекції гібридів кукурудзи для вирощування у степовій зоні України належать Інституту зрошуваного землеробства НААН (м. Херсон). Це, наприклад: *Скадовський* (середньоранній (ФАО 290), стійкість до вилягання, пухирчастої та летючої сажок – добра, потенційна врожайність – 11,8-12,5 т/га. *Інгульський* (середньостиглий (ФАО 350), стійкість до вилягання, пухирчастої та летючої сажок – добра, потенційна врожайність – 11,5-13,2 т/га. *Арабат* (середньопізній (ФАО 430), стійкість до вилягання, пухирчастої та летючої сажок – висока, потенційна врожайність – 16 т/га. *Борисфен 600 СВ* (пізньостиглий (ФАО 550), стійкість до вилягання, пухирчастої та летючої сажок – висока, потенційна врожайність зерна – 15-16 т/га [27].

Також широко відомі гібриди кукурудзи створені в Селекційно-генетичному інституті – Національному центрі насіннізнавства та сортовивчення (м. Одеса). Це, наприклад: *Династія* (ранньостиглий (ФАО 190), стійкість до вилягання, пухирчастої та летючої сажок – висока, середня врожайність у Степу – 7 т/га. *Одеський 385 МВ* (середньостиглий (ФАО 380), стійкість до вилягання, пухирчастої та летючої сажок – висока, середня врожайність у Степу – 7,5-10 т/га. *Новація МВ* (один з найкращих середньостиглих гібридів в Україні (ФАО 390), стійкість до вилягання, пухирчастої та летючої сажок – висока, також висока жаро- та посухостійкість, максимальна врожайність у Степу 16,9 т/га [28].

Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН (м. Харків) здебільшого створює гібриди для вирощування у поліській та лісостеповій зоні, але у його розробках також є ряд гібридів, що рекомендуються для

вироснування у зоні Степу. Всі вони відрізняються високою стійкістю до вилягання та поникання качанів, летючої та пухирчастої сажки, стеблових гнилей, кукурудзяного метелика. Це, наприклад: *Kanітал MB* (середньоранній (ФАО 270), урожайність зерна в умовах високої агротехніки 4,0–4,5 т/га. *Витязь MB* (середньостиглий гібрид (ФАО 340), урожайність насіння у сприятливих умовах зерна 3,5–4 т/га [29].

Також широко відомі гібриди кукурудзи створені в Інституті зернових культур НААН України (м. Дніпро). Це, наприклад: *Почайівський 190 MB* (ранньостиглий (ФАО 190), стійкий до вилягання і ураження головними хворобами і шкідниками, потенційна врожайність зерна 11,0-12,5 т/га. *Кремінь 200 СВ* (середньоранній (ФАО 210), стійкий до вилягання і ламкості стебла, пухирчастої сажки та стеблових гнилей, потенційна врожайність зерна – 12,0-12,5 т/га. *ДН Гетера* (середньопізній (ФАО 420), характеризується середньою холодостійкістю і високою посухостійкістю, стійкістю до ураження пухирчастою сажкою та стеблового і вегетативного вилягання, потенційна врожайність зерна 15,5 т/га, силосу 70,0-80,0 т/га [30].

3 МІНЛИВІСТЬ ВРОЖАЇВ КУКУРУДЗИ НА ТЕРИТОРІЇ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

3.1 Урожайність як агрокліматичний показник умов вирощування рослин

Багатьма дослідженнями підтверджується, що кращим інтегральним показником ступеня сприятливості ґрунтово-кліматичних умов тієї чи іншої території для вирощування культурних рослин є їх врожайність. Вперше П.І. Колосков запропонував використовувати врожайність польових культур як найважливіший агрокліматичний показник. Їм спільно з В.А. Смирновою та А.Т. Никифоровою було виконано агрокліматичне районування території колишнього СРСР за врожайністю одинадцяти зернових культур. Для вирішення цієї задачі були використані дані держсортодільниць та агрометеорологічних станцій за 50-60-ті роки минулого сторіччя [31].

Географічні особливості в розподілі врожаїв польових культур були розглянуті в тісному взаємозв'язку із зональною мінливістю показників тепла (сумами середньодобових температур повітря вище 5, 10°C) і вологи (сумами опадів і коефіцієнтом зволоження). Було встановлено, що продуктивність культурних рослин зменшується в напрямку з північного заходу на південь і південний схід по мірі зростання сухості клімату [31].

Визнаючи корисність та інформативність інтегрального показника ступеня сприяння клімату у вигляді врожайності, необхідно зазначити наступне. На абсолютну величину врожайності тієї чи іншої культури впливають не тільки кліматичні умови. Визначальним чинником є й культура землеробства, яка залежить, у свою чергу, від рівня селекційної роботи, енергозабезпеченості сільського господарства, вдосконалення агротехнічних прийомів (забезпеченості добривами, меліоративних заходів).

Тому для виявлення впливу погоди і клімату на врожайність останню виражають у відхиленнях від тренда, тобто від лінії усередненої в часі врожайності. В основу такої оцінки покладено ідею В.М. Обухова [32] про можливість розкладання часового ряду врожайності будь-якої культури на дві складові: стаціонарну і випадкову. У такій постановці часовий ряд врожайності ($Y_t = 1, 2, \dots, N$) можна представити загальною статистичною моделлю такого вигляду:

$$Y_t = f(t) + u_t, \quad (3.1)$$

де $f(t)$ - стаціонарна складова; u_t - випадкова складова часового ряду. Стаціонарна складова визначає загальну тенденцію зміни врожайності за аналізований період. Вона представляється плавною лінією в результаті згладжування ряду і називається трендом. Випадкова складова обумовлюється погодними умовами окремих років і представляється відхиленнями від лінії тренду.

Таке розкладання обумовлюється тим, що рівень культури землеробства істотно впливає на урожайність сільськогосподарських культур не тільки в поточному році, але і в подальші роки, тобто сільське господарство характеризується певною інерційністю, внаслідок чого різких коливань урожаїв двох суміжних років, пов'язаних із зміною культури землеробства, як правило, не простежується. Тому лінія тренду достатньо точно характеризує середній рівень врожайності, обумовлений певною культурою землеробства, економічними і природними особливостями даного району.

Ясно, що в тих районах земної кулі, де природні ресурси краще, досягти бажаного рівня врожайності легше і зробити це вдасться з меншими витратами, ніж в районах з менш сприятливими умовами.

3.2 Сучасні методи прогнозування тенденції врожайності

В методах прогнозу по даному часовому ряду робиться припущення щодо виду тренду. Форма тренду і його параметри визначаються в результаті найкращої (за будь-яким з статистичних критеріїв) функції з числа тих, що є. В порівнянні з цими методами метод гармонійних вагів, запропонований в агрометеорології А.М. Польовим [33] має ту перевагу, що тут необхідності в таких припущеннях немає.

Принцип методу гармонійних вагів полягає у тому, що значення часового ряду зважують так, щоб більш пізні спостереження мали більшу вагу, тобто вплив більш пізніх спостережень повинен сильніше відбиватися на тенденції врожайності, ніж вплив більш ранніх.

Для визначення ходу ковзного тренду приймається лінійний закон зміни за окремі фази. На основі фактичного ряду завчасно створюються ковзні серії однакової довжини k і розраховуються рівняння лінійних відрізків, що мають вигляд

$$Y_i(t) = a_i + b_i t, \quad (i=1,2,3., n-k+1) \quad (3.2)$$

де n – довжина ряду (загальна кількість точок); k – число точок, що згладжуються. Загальна кількість рівнянь дорівнює $n-k+1$, причому для

$$i=1 \quad t = 1,2.$$

$$i=2 \quad t = 2,3., k+1$$

$$i=3 \quad t = 3,4., k+2.$$

$$\text{Для } i = n - k + 1, \quad t = n - k + 1, n - k + 2.$$

Параметри a_i і b_i в рівняннях визначаються методом найменших квадратів. Значення кожної функції $Y_i(t)$ в кожній точці осереднюють по отриманим рівнянням таким чином:

$$\bar{Y}_j(t) = \frac{1}{g_i} \sum_{j=1}^{g_i} Y_j(t) \quad , \quad j = 1, 2, 3, \dots, g_i \quad (3.3)$$

де g_i – кількість визначень $\bar{Y}_i(t)$ в кожній точці.

Значення, що прогнозується

$$\bar{Y}_{(t+1)} = Y_t + \bar{W}_{t+1} \quad (3.4)$$

де $\bar{W}_{t+1}$ - середній приріст функції $f(t)$.

Він розраховується з виразу:

$$\bar{W}_{t+1} = \sum_{t=1}^{n-1} C_{t+1}^n - W_{t+1} \quad (3.5)$$

де W_{t+1} - приріст функції $f(t)$, який визначається як

$$W_{t+1} = f_{(t+1)} - f_{(t)} = \bar{Y}_{t+1} - \bar{Y}_t. \quad (3.6)$$

C_{t+1}^n - гармонійна вага, яка визначається по формулі

$$C_{t+1}^n = \frac{m_{(t+1)}}{n-1} \quad (3.7)$$

де $m_{(t+1)}$ – гармонійні коефіцієнти. При їх обчисленні зберігається основна ідея методу – більш пізнім спостереженням надається більша вага.

Найраніші спостереження мають вагу

$$m_2 = \frac{1}{n-1}. \quad (3.8)$$

В наступний момент вага інформації m_3 визначатиметься:

$$m_3 = m_2 + \frac{1}{n-2}. \quad (3.9)$$

Таким чином, ряд зважувань визначається за рівнянням

$$m_{t+1} = m_t + \frac{1}{n-t}, \quad (t = 2, 3, \dots, n-1) \quad (3.10)$$

з початковою величиною, що виражається рівнянням (3.9).

3.3 Дослідження динаміки урожайності кукурудзи на території Житомирської області

Нами із застосуванням методу гармонійних вагів було проаналізовано часові ряди урожайності кукурудзи в одній із областей Центрального Полісся України – Житомирської. Дані з урожайності отримані на сайті обласного статуправління [34]. Також була побудована лінія тренду та розраховані відхилення урожайності від лінії тренду. Для аналізу використовувалися багаторічні середньообласні дані за період з 1997 по 2016 роки. Результати цієї роботи представлені на рис. 3.1-3.2, у табл. 3.1 та у додатку А. На рисунках плавна лінія характеризує тренд врожайності, а ламана лінія - щорічні коливання врожайності за рахунок різних факторів, основу яких становить клімат.

Аналіз середньообласної урожайності кукурудзи (рис. 3.1) свідчить, що протягом 20 досліджуваних років урожайність коливалася у дуже широких межах. Наприклад, у 2011-2012 рр. та у 2014 р. було зібрано найбільші для досліджуваної території урожаї – 72,4, 72 та 72,3 ц/га відповідно, а найбільший за весь час урожай відмічається у 2013 р. і складає 78,5 ц/га.

Найменші урожаї були зібрані на початку досліджуваного періоду – у 1998 та 2003 рр. - і становили 32 та 33 ц/га. Найменший урожай на досліджуваній території спостерігався у 2000 р. і становив 31ц/га.

За досліджуваний період спостерігається практично прямолінійне зростання трендової компоненти, що свідчить про суттєве підвищення рівня культури землеробства за період дослідження. Так, у 1997 р. трендова компонента урожайності становила 28,9 ц/га, а наприкінці дослідження – у 2016 р. – 74,7 ц/га. Тобто, за досліджений період урожайність за трендом виросла на 45,8 ц/га. Треба також відзначити, що зростання рівня культури землеробства при вирощуванні кукурудзи відзначається і в інших областях України [35, 36].

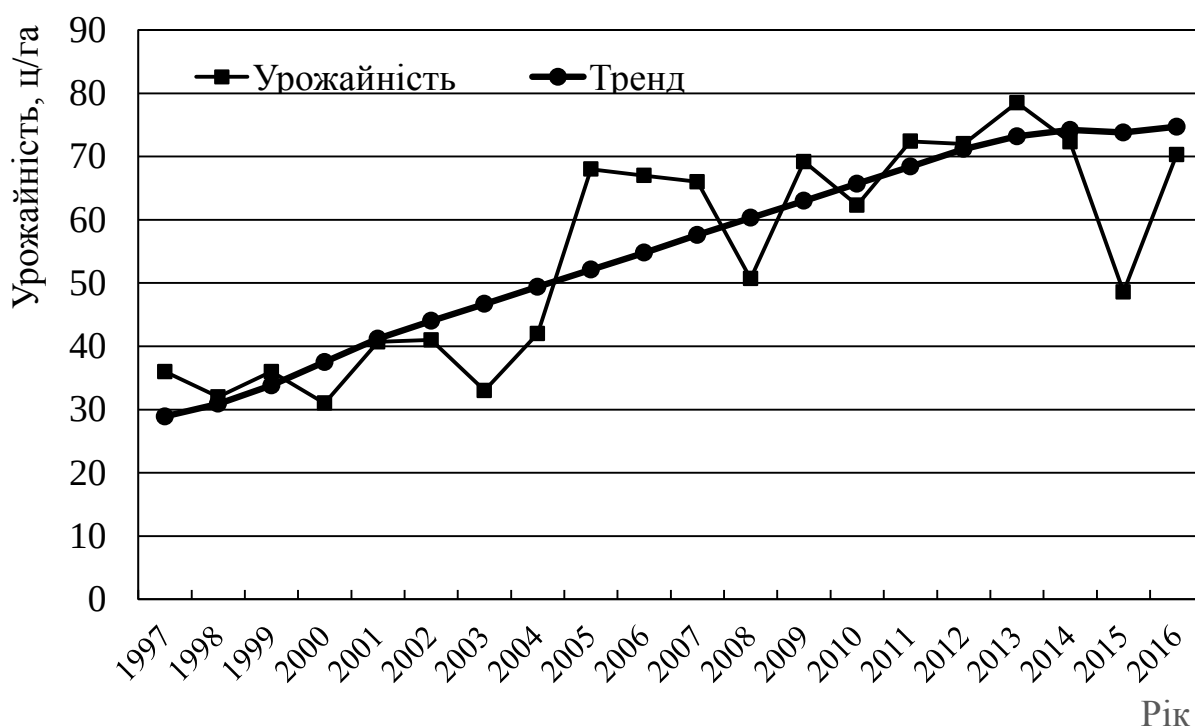


Рисунок 3.1 – Динаміка урожайності кукурудзи та лінія тренду

Середня за роки досліджень урожайність склала 54 ц/га. Тенденція урожайності, визначена за допомогою методу гармонійних вагів, додатна і складає 1,7 ц/га.

Для виявлення в чистому виді впливу погодних умов окремих років на формування врожаю кукурудзи, розглянемо відхилення фактичних урожаїв від лінії тренду (рис. 3.2). За 20 років у 10 випадках спостерігались від'ємні відхилення, які були досить великими і досягали у 2000 р. – 6,5 ц/га, 2003 р. -13,7 ц/га, 2008 р. -9,6 ц/га. Це свідчить про дуже несприятливі погодні умови, що склалися протягом цих років.

Таблиця 3.1 - Розрахунок ступеня сприятливості клімату K_C
по Житомирській області

Рік	Житомирська область			
	U_B , ц/га	U_T , ц/га	ΔU , ц/га	K_C
1997	36	28,9	7,1	1,25
1998	32	30,9	1,1	1,04
1999	36	33,8	2,2	1,07
2000	31	37,5	-6,5	0,83
2001	40,7	41,2	-0,5	0,99
2002	41	44	-3	0,93
2003	33	46,7	-13,7	0,71
2004	42	49,4	-7,4	0,85
2005	68	52,1	15,9	1,31
2006	67	54,8	12,2	1,22
2007	66	57,6	8,4	1,15
2008	50,7	60,3	-9,6	0,84
2009	69,2	63	6,2	1,10
2010	62,3	65,7	-3,4	0,95
2011	72,4	68,4	4	1,06
2012	72	71,2	0,8	1,01
2013	78,5	73,2	5,3	1,07
2014	72,3	74,2	-1,9	0,97
2015	48,6	73,8	-25,2	0,66
2016	70,3	74,7	-4,4	0,94

Найбільш несприятливі умови склалися для вирощування кукурудзи в 2015 р., коли спостерігалися втрати врожаю, що склали 25,2 ц/га.

У роки ж з додатними відхиленнями від лінії тренду збільшення врожаю отримувалося за рахунок сприятливих погодних умов. Найбільш сприятливим для вирощування кукурудзи в Житомирській області був 2005 р., коли додатне відхилення від лінії тренду склало 15,9 ц/га. Як можна бачити з рисунка, також

великі прирости врожаю за рахунок сприятливих погодних умов було отримано у 1997 р. – 7,1 ц/га, у 2006 р. – 12,2 ц/га та у 2007 р. – 8,4 ц/га.

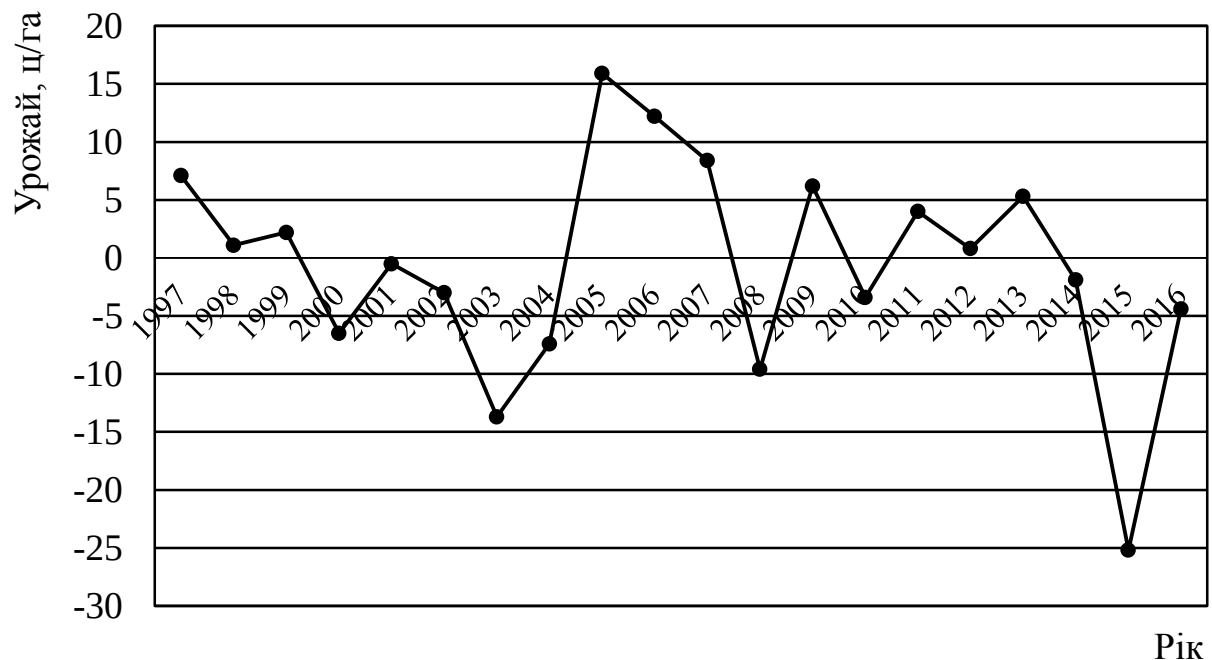


Рисунок 3.2 – Відхилення урожайності кукурудзи від лінії тренду

Цікавою є оцінка ступеня сприятливості клімату за допомогою відповідного коефіцієнта (K_C), який визначається за формулою:

$$K_C = \frac{Y_B}{Y_T}, \quad (3.11)$$

де Y_B - виробничий урожай зерна кукурудзи в конкретному році (ц/га), Y_T - урожай за трендом в тому ж році (ц/га).

Відповідні розрахунки виконані для Житомирської області і отримані наступні результати (табл. 3.1). На території дослідження з 20 років спостережень у 10 роках спостерігалися сприятливі кліматичні умови. Це становить 50% від загальної кількості років. K_c в ці роки коливався від 1,01 до 1,31. Несприятливих років було також 10 (50%) і коефіцієнт сприятливості коливався від 0,66 до 0,99.

Таким чином, можна зробити висновок, що залежність урожаю кукурудзи в Житомирській області України від кліматичних умов є значною, хоча за останні 20 років відбувався вельми суттєвий ріст культури землеробства на досліджуваній території.

3.4 Дослідження кліматичної складової урожайності кукурудзи

Згідно з дослідженнями В.М. Пасова, в будь-якому сільськогосподарському районі динаміку врожайності тієї чи іншої культури можна розглядати як наслідок зміни рівня культури землеробства, на фоні якої відбуваються випадкові коливання (іноді вельми суттєві), що пов'язані з особливостями погоди різних років [37].

Зміни культури землеробства у часі формують лінію тренду. За таким підходом загальну дисперсію урожайності σ^2 можна розглядати як добуток двох складових, одна з яких характеризує внесок, що надає динаміка культури землеробства σ_a^2 , а друге – мінливістю погоди σ_m^2 . Тоді

$$\sigma^2 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2, \quad (3.12)$$

$$\sigma_m^2 = \sigma^2 - \sigma_a^2. \quad (3.13)$$

Величина σ_m більш стійка у часі ніж σ , тому що до складу останньої входить величина σ_a , що суттєво змінюється у часі.

Розрахунок σ_m можна проводити за наступних формул:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}, \quad (3.14)$$

$$\sigma_a^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{iT} - \bar{y})^2}{n-1}, \quad (3.15)$$

$$\sigma_m^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^n (y_{iT} - \bar{y})^2}{n-1}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (3.16)$$

де y_i – урожайність конкретного року; $\bar{y}$ – середньобогаторічна урожайність; y_{iT} – динамічна середня величина (урожайність за трендом у конкретному році); n – кількість років дослідження [37].

Для того, щоб вірно оцінити мінливість урожайності, окрім дисперсії необхідно враховувати і рівень врожайності. Є відомим, що урожайність однієї і тієї ж культури в різних кліматичних зонах може відрізнятись на 100% та більше. Тому для оцінки мінливості урожайності краще користуватися коефіцієнтом варіації c_v :

$$c_v = \frac{\sigma}{\bar{y}}. \quad (3.17)$$

Згідно до методики В.М. Пасова [37], оскільки особливий інтерес представляє тільки та частина варіації урожаю, що пов'язана зі змінами погоди, то до формули (3.16) замість σ слід ввести σ_m :

$$c_v = \frac{1}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^n (y_{iT} - \bar{y})^2}{n-1}}. \quad (3.18)$$

За вищевказаною методикою була розрахована кліматична складова мінливості урожаїв кукурудзи в Житомирській області. Тренд побудований

за методом гармонійних зважувань [33, 34]. Хід розрахунків представлено у

n	Рік	y	y_T	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	$y_{iT} - \bar{y}$	$(y_{iT} - \bar{y})^2$
-----	-----	-----	-------	-----------------	---------------------	--------------------	------------------------

таблиці 3.2.

$$c_v = \frac{1}{54,5} \sqrt{\frac{5300 - 4541}{20 - 1}} = \frac{1}{54,5} \sqrt{\frac{759}{19}} = \frac{\sqrt{39,9}}{54,5} = \frac{6,3}{54,5} = 0,12$$

Таблиця 3.2 – Розрахунок кліматичної складової урожайності

1	1997	36	28,9	-18,5	342,25	-25,6	655,36
2	1998	32	30,9	-22,5	506,25	-23,6	556,96
3	1999	36	33,8	-18,5	342,25	-20,7	428,49
4	2000	31	37,5	-23,5	552,25	-17	289
5	2001	40,7	41,2	-13,8	190,44	-13,3	176,89
6	2002	41	44	-13,5	182,25	-10,5	110,25
7	2003	33	46,7	-21,5	462,25	-7,8	60,84
8	2004	42	49,4	-12,5	156,25	-5,1	26,01
9	2005	68	52,1	13,5	182,25	-2,4	5,76
10	2006	67	54,8	12,5	156,25	0,3	0,09
11	2007	66	57,6	11,5	132,25	3,1	9,61
12	2008	50,7	60,3	-3,8	14,44	5,8	33,64
13	2009	69,2	63	14,7	216,09	8,5	72,25
14	2010	62,3	65,7	7,8	60,84	11,2	125,44
15	2011	72,4	68,4	17,9	320,41	13,9	193,21
16	2012	72	71,2	17,5	306,25	16,7	278,89
17	2013	78,5	73,2	24	576	18,7	349,69
18	2014	72,3	74,2	17,8	316,84	19,7	388,09
19	2015	48,6	73,8	-5,9	34,81	19,3	372,49
20	2016	70,3	74,7	15,8	249,64	20,2	408,04
Середнє		54,5					
Сума					5300		4541

В.М. Пасов [37] стосовно кліматичної складової мінливості урожаїв озимої пшениці та озимого жита для характеристики території вирощування культури пропонує такі градації, які можна застосувати й для інших сільськогосподарських культур:

- зона найменшої мінливості урожаїв або стабільних урожаїв ($c_m \leq 0,20$);
- зона помірно стійких урожаїв ($c_m = 0,21 - 0,29$);
- зона нестійких урожаїв ($c_m \geq 0,30$);
- зона дуже нестійких урожаїв ($c_m \geq 0,50$).

Середню квадратичну помилку кліматичної складової мінливості урожаїв можна визначити за формулою

$$\partial_{c_m} = \frac{c_m \sqrt{1+c_m^2}}{\sqrt{2(n-1)}} , \quad (3.19)$$

де n – довжина ряду.

В нашому випадку $n=20$, отже помилка ∂_{C_m} дорівнює

$$\partial_{C_m} = \frac{0,12\sqrt{1+(0,12)^2}}{\sqrt{2(20-1)}} = \frac{0,12\sqrt{1,0144}}{\sqrt{38}} = \frac{0,121}{6,16} = 0,020$$

Таким чином Житомирську область можна віднести до території стабільних урожаїв. Але враховуючи міжрічну мінливість урожаїв, можна зробити висновок, що, незважаючи на підвищення культури землеробства протягом останніх років, залежність урожаю кукурудзи в Житомирській області від погодних умов конкретних років залишається досить значною.

3.5 Ймовірнісна оцінка урожаїв кукурудзи

В агрометеорології для виявлення просторово-часової мінливості гідрологічних і агрокліматичних показників широко використовується графо-аналітичний метод Алексєєва [38]. Виходячи з теоретичних і практичних міркувань він запропонував для побудови емпіричної кривої сумарної імовірності формулу:

$$P_{(x_m)} = \frac{m - 0,25}{n + 0,50} \cdot 100\% \quad (3.20)$$

де $P_{(x_m)}$ - забезпеченість у відсотках, значення якої послідовно зростають, $m = 1, 2, \dots, n$ – порядковий номер членів статистичного ряду, розташованих в порядку зменшення, n – число років або спостережень в ряді.

Вказаний метод був застосований нами для визначення міжрічної мінливості урожаю кукурудзи для Житомирської області. Результати розрахунків представлені в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 - Розрахунок сумарної ймовірності урожаїв кукурудзи

Рік	N	Урожай, ц/га		P _x , %
		виробничий	ранжований	
1997	1	36	78,5	4
1998	2	32	72,4	9
1999	3	36	72,3	13
2000	4	31	72	18
2001	5	40,7	70,3	23
2002	6	41	69,2	28
2003	7	33	68	33
2004	8	42	67	38
2005	9	68	66	43
2006	10	67	62,3	48
2007	11	66	50,7	52
2008	12	50,7	48,6	57
2009	13	69,2	42	62
2010	14	62,3	41	67
2011	15	72,4	40,7	72
2012	16	72	36	77
2013	17	78,5	36	82
2014	18	72,3	33	87
2015	19	48,6	32	91
2016	20	70,3	31	96
Середнє		54,5		

За цими даними було побудовано криву сумарної ймовірності можливих урожаїв кукурудзи щодо середніх багаторічних значень (Додаток Б). При цьому ставилася задача виявити особливості в розподілі можливих урожаїв різної забезпеченості в порівнянні з середньою багаторічною величиною. Потім з кривої сумарної ймовірності знімалися значення урожаю кукурудзи різної забезпеченості з кроком 5, 10, 20, ... 90, 95%. Результати цієї роботи були представлені в табл. 3.4.

В Житомирській області урожаї кукурудзи порядку 80 ц/га отримують з ймовірністю 5 % (тобто раз в двадцять років), в чотирьох роках з десяти

отримують урожай 61 ц/га (ймовірність 40%), в семи роках з десяти отримують урожай 43 ц/га (ймовірність 70%), а щорічно тут забезпечені лише урожаї не більше 30 ц/га.

Таблиця 3.4 - Забезпеченість урожаїв кукурудзи (ц/га)

	Забезпеченість, %									
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
54,5	78	77	72	67	61	55	49	43	36	30

З аналізу матеріалів по характеристиці ймовірності фактичних урожаїв кукурудзи по Житомирській області України можна зробити висновок, що не дивлячись на підвищення урожаїв протягом останніх років, несприятливі погодні умови здатні знизити урожайність майже у два рази у порівнянні з середньобогаторічною урожайністю. Тому при вирощуванні кукурудзи необхідно детально оцінювати агрокліматичні ресурси території.

4 ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ В ЖИТОМИРСЬКІЙ ОБЛАСТІ

4.1 Зміни клімату та їх вплив на сільське господарство

Глобальне потепління клімату, яке розпочалося в 70-ті роки минулого століття, уже в теперішній час впливає на всі галузі народного господарства і, особливо, на землеробство. Тому очевидно, що актуальність цієї проблеми з роками тільки зростатиме.

У зв'язку з тим, що зміни клімату, які пов'язані з господарською діяльністю людини (так звані антропогенні зміни) мають глобальний характер, їхні дослідження проводяться в міжнародному масштабі під егідою Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) при Організації Об'єднаних Націй. Ще наприкінці минулого століття, у 1988 р. була створена Міжурядова група експертів зі зміни клімату (МГЕЗК), фахівці якої встановили безперечний факт потепління середнього глобального клімату. Вчені України також приймають активну участь у вивченні питань зміни клімату.

З кінця XIX століття відбулося підвищення глобальної температури повітря Північної півкулі на $0,7^{\circ}\text{C}$. Клімат України стає менш континентальним і взимку набуває рис клімату західної Європи, що підтверджується зміщенням центрів дії атмосфери, які формують клімат України до сходу приблизно на 10° [39].

В.М. Просунко [40] вважає, що оскільки температура повітря є одним із головних чинників розвитку і росту фітоценозів, підвищення її, унаслідок глобального потепління, приведе до прискорення накопичення кількості ефективного тепла, необхідного для проходження фаз розвитку рослин. Отже, з підвищенням температури тривалість міжфазних періодів скорочуватиметься. Коротшим виявиться тривалість вегетаційного циклу

сільськогосподарських культур, а також сіяних і дикоростучих трав. Тому терміни досягання і збирання польових культур виявляться більш ранніми. Відомо, що продуктивність пізньостиглих культур вища, ніж ранньостиглих. Тому скорочення тривалості періоду вегетації призведе до зниження врожайності зернових культур.

Т.І. Адаменко [41] констатує, що в зоні Степу все частіше спостерігаються нетипові для зони погодні умови - постійна нерівномірність опадів в середині року та в окремі роки, яка призвела до підвищення кількості посушливих явищ. За період 1989-2003 рр. повторюваність посух зросла майже вдвічі.

В останнє десятиріччя в Одеському державному екологічному університеті проводяться активні дослідження впливу змін клімату на сільськогосподарське виробництво. Так, у [42, 43] представлені результати вивчення впливу змін клімату на агрокліматичні умови України в цілому та стосовно вирощування провідних сільськогосподарських культур, надаються відомості щодо змін термінів настання основних фаз розвитку, визначається, як зміниться фотосинтетична продуктивність рослин та майбутні урожаї. Також надаються рекомендації щодо перерозподілу посівних площ в Україні та ризиків вирощування сільськогосподарських культур за умов реалізації різних сценаріїв зміни клімату.

Сценарії змін клімату розробляються на основі математичних моделей, які враховують основні фізичні закони природи. Найбільш складні – глобальні кліматичні моделі – включають як основні компоненти взаємодії одна з одною моделей атмосфери, океану, верхніх шарів суші, кріо- і біосфери [44].

Ці моделі розраховують майбутні кліматичні режими на основі низки сценаріїв зміни антропогенних факторів. Для нових кліматичних розрахунків, виконаних у рамках проекту Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) Всесвітньої програми досліджень клімату (World Climate Research

Programme), використовується сценарій Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP) [45].

Репрезентативні траєкторії концентрацій – сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів [45, 46].

Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: $2,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP2.6; $4,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP4.5; $6,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP6.0 і $8,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ 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) [43]. Для виконання розрахунків у даній магістерській роботі використовувались дані за сценаріями RCP4.5 RCP8.5.

4.2 Алгоритм динамічної моделі продукційного процесу кукурудзи

Розрахунки виконувались з використанням базової динамічної моделі продуктивності, запропонованої А.М. Польовим [33, 47]. Модель продукційного процесу кукурудзи має блочну структуру і містить п'ять блоків (рис. 4.1): блок вхідної інформації, блок чинників навколишнього середовища, біологічний блок, блок росту, блок врожайності.

Блок вхідної агрометеорологічної інформації складається з початкових та щодаєдних даних. Цей блок містить дані стандартних метеорологічних та агрометеорологічних спостережень і включає в себе всі необхідні для виконання розрахунків характеристики. Блок чинників навколишнього середовища містить два підблоки: радіаційного та водно-теплового режиму посівів та функцій впливу температури повітря та вологозабезпеченості посівів на фотосинтез. Біологічний блок включає в себе три підблоки: онтогенетичних кривих фотосинтезу; фотосинтезу та приросту рослинної маси; дихання та старіння рослин. Блок росту включає себе чотири

підблоки: маси листя; маси стебел; маси коріння; маси качанів та площі листової поверхні.

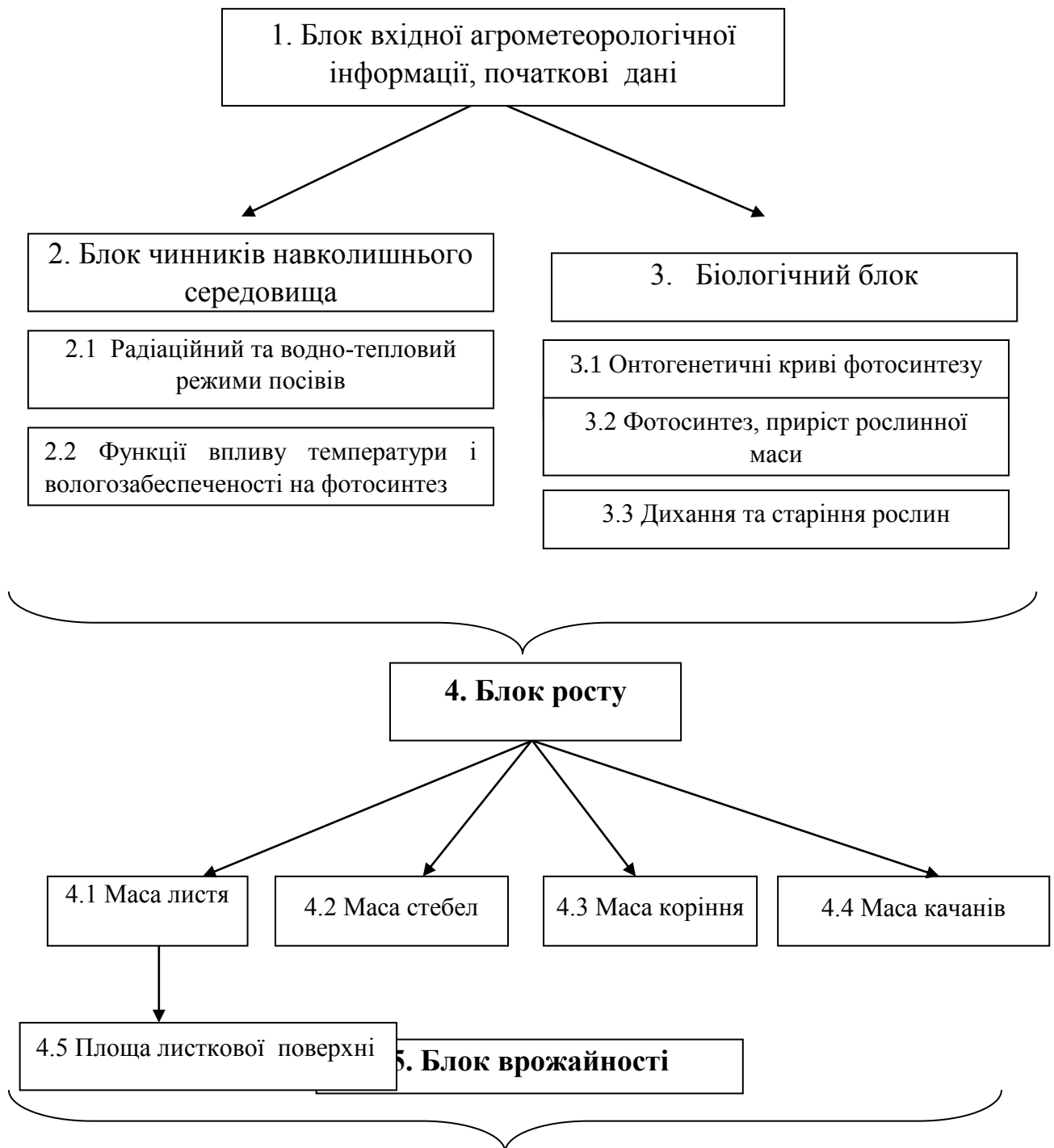


Рисунок 4.1 – Блок-схема динамічної моделі формування врожайності кукурудзи

4.2.1 Підблоки фотосинтезу, дихання та приросту рослинної маси

Інтенсивність фотосинтезу листя описується формулою Монсі і Саекі:

$$\Phi_o^j = (\Phi_{\max} \cdot a_{\phi} \cdot I_{\text{ФАР}}) / (\Phi_{\max} + a_{\phi} \cdot I_{\text{ФАР}}), \quad (4.1)$$

де Φ_o^j – інтенсивність фотосинтезу при оптимальних умовах тепло- і вологозабезпеченості в реальних умовах освітленості, мг $\text{CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$; $\Phi_{\max}$ – інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні і нормальній концентрації CO_2 , мг $\text{CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$; α_{ϕ} – початковий нахил світлової

кривої фотосинтезу, мг $\text{CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год}^{-1})/(\text{кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{хв}^{-1})$; $I_{\text{ФАР}}$ – інтенсивність фотосинтетично активної радіації (ФАР) всередині посіву, кал/ $(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$; j – номер кроку розрахункового періоду [33, 47].

Для кількісного опису залежності фотосинтезу не тільки від щільності потоку ФАР, але і від вмісту CO_2 в атмосфері розглядають величину $\Phi_{\max}$ як функцію концентрації CO_2 :

$$\Phi_{\max} = \tau_c \cdot C_o, \quad (4.2)$$

де τ_c – початковий нахил вуглецевої кривої фотосинтезу; C_o – концентрація CO_2 в атмосфері [48].

У онтогенезі фотосинтетична активність листя визначається його фізіологічним віком і напруженістю водно-теплогового режиму. Для розрахунку фотосинтезу в онтогенезі в польових умовах середовища, відмінних від біологічно оптимальних, використовується вираз:

$$\Phi_{\tau}^j = \alpha_{\phi}^j \Phi_o^j \cdot FTW2, \quad (4.3)$$

де Φ_{τ} – інтенсивність фотосинтезу в реальних умовах середовища, мг $\text{CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{г од})$; α_{ϕ} – онтогенетична крива фотосинтезу; $FTW2$ – узагальнена функція впливу факторів зовнішнього середовища.

Сумарний фотосинтез посіву за світлий час доби розраховується за формулою:

$$\Phi^j = 0,68 \Phi_{\tau}^j \cdot L^j \tau_{\text{дн}} \cdot 0,1, \quad (4.4)$$

де Φ – денний фотосинтез посіву на одиницю площі, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$; L – площа листової поверхні, $\text{м}^2/\text{м}^2$; $\tau_{\text{дн}}$ – тривалість світлого часу доби.

На відміну від процесу фотосинтезу здібністю до дихального газообміну володіють всі органи рослини. Інтенсивність дихання всієї рослини за добу визначається як:

$$R^j = \alpha_R^j (c_m M^j + c_G \Phi^j), \quad (4.5)$$

де R - витрати на дихання рослин; α_R – онтогенетична крива дихання; c_m - коефіцієнт, який характеризує витрати на дихання підтримки життєдіяльних структур органів рослин; c_G - коефіцієнт, який характеризує витрати на дихання, пов'язані з переміщенням речовин, фотосинтезом і створенням нових структурних одиниць [33, 47].

Приріст біомаси [33, 47] посіву визначається різницею між сумарним фотосинтезом посіву і витратами на дихання:

$$\Delta M^j = \Phi^j - R^j. \quad (4.6)$$

4.2.2 Підблок динаміки біомаси органів рослини

Ріст, як і всі інші процеси у рослини, є функцією часу, що зовні виражається в періодичних і ритмічних коливаннях його інтенсивності. Для опису росту окремих органів рослин скористаємося запропонованими Ю.К. Россом ростовими рівняннями в модифікованому вигляді з урахуванням формування качанів:

$$\begin{aligned} m_i^{j+1} &= m_i^j + (\beta_i^j \Delta M^j - \nu_i^j m_i^j) n_{дек}^j, \\ m_p^{j+1} &= m_p^j + (\beta_p^j \Delta M^j - \sum_i^{l,s,r} \nu_i^j m_i^j) n_{дек}^j. \end{aligned} \quad (4.7)$$

де m_i – загальна суха біомаса окремих органів (l – листя; s – стебла; r – коріння; p – качани); β_i – функція перерозподілу «свіжих» асимілятів; ν_i – функція перерозподілу «старих» асимілятів; $n_{дек}$ – кількість днів в розрахунковій декаді.

Ріст площі листя посіву визначається при позитивному прирості біомаси листя за формулою:

$$L^{j+1} = L^j + \Delta m_l \frac{1}{d_L}, \quad (4.8)$$

де d_L – питома поверхнева площа листя, $г/м^2$.

При від'ємному прирості біомаси листя для опису росту асимілюючої поверхні використовується таке співвідношення :

$$L^{j+1} = L^j - \Delta m_l \frac{1}{d_L} \cdot \frac{1}{k_c}, \quad (4.9)$$

де k_c – параметр, що характеризує критичну величину зменшення живої біомаси листя, при якій починається її відмирання [33, 47].

4.2.3 Підблок радіаційного та водно-теплого режимів посівів

Для розрахунку сумарної сонячної радіації, що приходить на верхню межу рослинного покриву, використовується формула С.І. Сівкова [33, 47]

$$Q_o^j = 12,66(SS^j)^{1,31} + 315(A^j + B^j)^{2,1}, \quad (4.10)$$

де Q_o – інтенсивність сумарної сонячної радіації над верхньою межею рослинного покриву; SS – середня за декаду кількість годин сонячного сяйва; j – порядковий номер розрахункової декади.

Розрахунок інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР) виконаємо за співвідношенням

$$I_{\Phi AP} = (a_{\Phi AP} Q_L) / \tau_{\partial H}, \quad (4.11)$$

де $a_{\Phi AP}$ - коефіцієнт переходу від сумарної сонячної радіації до ФАР.

Випаровуваність з посівів визначимо за рівнянням:

$$E_{pot} = 16,7(a_{xap} Q_o - n_{дек} b_{xap}), \quad (4.12)$$

де E_{pot} - випаровуваність посівів; a_{xap} і b_{xap} - параметри рівняння Харченко [33, 47].

Сумарне випаровування посівів кукурудзи визначимо за методом С.І. Харченко:

$$E_{act.} = \frac{2W + P_s + P_{зр.}}{1 + \frac{2W_{HB}}{\beta_{xap} E_{pot}}}, \quad (4.13)$$

де E_{act} - сумарне випаровування посівів; $P_{зр.}$ - норма вегетаційного поливу; W_{HB} - найменша вологоємність в метровому шарі ґрунту; β_{xap} - параметр, який відображає особливості часового ходу випаровування в залежності від фази розвитку та біологічних особливостей культури; W - запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту [33, 47].

4.3 Оцінка зміни агрокліматичних умов вирощування кукурудзи у Житомирській області

Аналіз тенденції зміни клімату виконано шляхом порівняння даних за кліматичними сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 та середніх багаторічних характеристик кліматичних та агрокліматичних показників за два періоди: 1986 – 2005 рр. (базовий період) та 2021 – 2050 рр. (кліматичний або сценарний період).

Для кукурудзи на фоні зміни кліматичних умов нами розглядались такі варіанти: кліматичні умови періоду; кліматичні умови періоду з врахуванням збільшення CO₂ в атмосфері з 380 до 437 ppm (сценарій RCP4.5) та до 455 ppm (сценарій RCP8.5).

Для виконання розрахунків за допомогою динамічної моделі необхідно визначити відповідні параметри для кожної досліджуваної області, тобто провести ідентифікацію параметрів. Для цього використовують матеріали середньобагаторічних середньообласних матеріалів агрометеорологічних спостережень та дані про середньообласну урожайність кукурудзи. Приклад розрахунків для Вінницької області наведено в [49]. Ідентифікація моделі формування урожайності кукурудзи у чинній роботі виконана на основі середньобагаторічних матеріалів агрометеорологічних спостережень по Житомирській області та даних середньої обласної урожайності кукурудзи.

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

Результати розрахунків за базовими та кліматичними даними представлені у табл. 4.1. За даними 1986-2005 рр. (базовими), сівба кукурудзи у Житомирській області відбувається 10 травня. Появлення сходів кукурудзи спостерігається у Житомирській області 26 травня.

За умов реалізації першого та другого сценаріїв зміни клімату терміни сівби кукурудзи очікуються пізніше - 16 травня за сценарієм RCP4.5 та 15 травня за сценарієм RCP8.5. Відповідно й дата сходів зсувається практично на тиждень пізніше – другого та першого червня.

Таблиця 4.1 – Фази розвитку кукурудзи за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату *RCP4.5* та *RCP8.5*

Період	Сівба	Сходи	Викидання волоті	Воскова стиглість
1986-2005 рр.	10.05	26.05	27.07	15.09
<i>RCP4,5</i>	16.05	2.06	3.08	30.09
Різниця	+6	+7	+7	+15
<i>RCP8,5</i>	15.05	1.06	3.08	30.09
Різниця	+5	+6	+7	+15

Настання фази викидання волоті кукурудзи за базових умов у Житомирській області спостерігається 27 липня. Молочна стиглість кукурудзи спостерігається 25 серпня, а воскова – 15 вересня.

За умов реалізації обох сценаріїв зміни клімату терміни викидання волоті кукурудзи також змістяться на тиждень у бік більш пізніх значень. На території Житомирської області викидання волоті очікується 3 серпня, що на 7 днів пізніше у порівнянні з базовим періодом 1986-2005 рр.

Також пізніше за базові строки очікується досягання кукурудзи у сценарних варіантах. На 8 днів пізніше у порівнянні з базовим строком, а саме 2 вересня очікується настання молочної стиглості. На два тижні пізніше за базових умов, а саме 30 вересня очікується воскова стиглість кукурудзи.

У таблиці 4.2 представлені агрокліматичні умови вирощування кукурудзи на досліджуваній території за умов реалізації обох сценаріїв у порівнянні з базовими значеннями.

Агрокліматичні показники температурного режиму вегетаційного періоду кукурудзи представлені наступними даними: тривалість основних міжфазних періодів кукурудзи; середні за міжфазні періоди температури повітря; суми активних температур повітря за період вегетації.

Для характеристики умов зволоження вегетаційного періоду кукурудзи розглядались такі показники: суми опадів за міжфазні періоди; сума опадів за вегетаційний період в мм та у відсотках від кліматичної норми; сумарне

Таблиця 4.2 - Агрокліматичні умови вирощування кукурудзи за середніми багаторічними даними
(1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	Період сходи – викидання волоті			Період викидання волоті – воскова стиглість			Вегетаційний період			Сумарн е випаро- вування , мм	Випаро - вува- ність, мм	Волого- забезпе- ченість, %
	трива- лість, дні	середня темпера- тура, °C	сума опадів , мм	трива- лість, дні	середня темпера- тура, °C	сума опадів , мм	сума активни х темпера- тур, °C	сума опадів, мм	у % від кліматич -ної норми			
1986–2005	62	17,9	175	50	16,8	117	1950	292	100	336	380	88
RCP4,5	62	17,8	144	58	15,5	79	2005	223	76	307	416	74
Різниця	0	-0,1	-31	+8	-1,3	-38	+55	-69	-24	-29	+36	-14
Різниця, %	0	-1	-18	+16	-8	-32	+3	-24	-24	-9	+9	-16
RCP8,5	62	17,2	148	58	15,8	90	1985	238	82	313	390	80
Різниця	0	-0,7	-27	+8	-1,0	-27	+35	-54	-18	-23	+10	-8
Різниця, %	0	-4	-15	+16	-6	-23	+2	-18	-18	-7	+3	-9

випаровування та випаровуваність за вегетаційний період; вологозабезпеченість за період вегетації.

Середньобагаторічна (базова) тривалість періоду сходи – викидання волоті становить 62 дні. У порівнянні з базовим варіантом у Житомирській області тривалість періоду сходи – викидання волоті за умов реалізації обох сценаріїв зміни клімату практично не зміниться і становитиме 62 дні (сценарій RCP4.5) та до 64 дні (сценарій RCP8.5).

Середньодакдадна температура повітря протягом вегетаційного періоду кукурудзи за сценарних умов зміниться незначно (рис. 4.2).

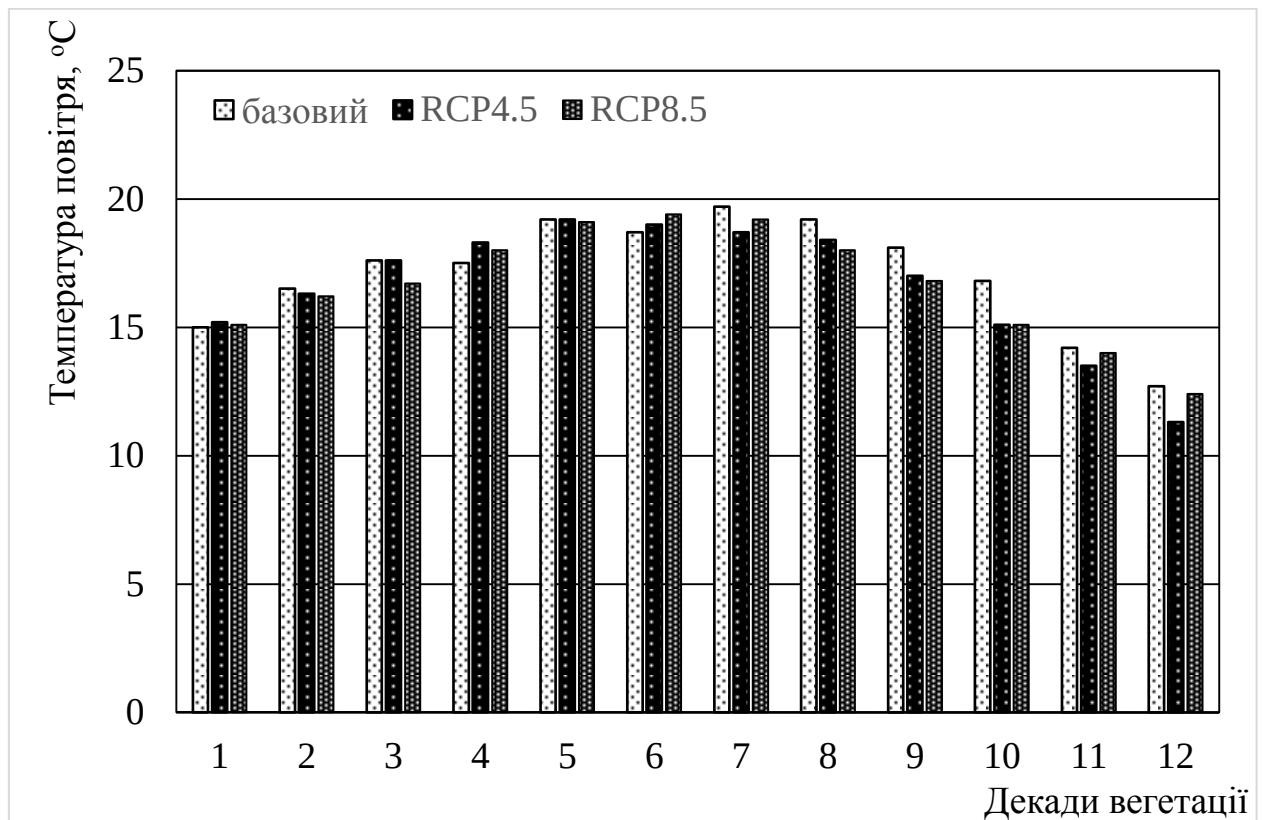


Рисунок 4.2 – Середньодакдадна температура повітря по декадах вегетації за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 (2021-2050 рр.) та за базовий період (1986-2005 рр.)

Середня температура за цей період становить за базовим варіантом $17,9^{\circ}\text{C}$, за сценарними варіантами вона також не зміниться. Так, період сходи – викидання волоті буде проходити при температурі: менше на $0,1^{\circ}\text{C}$ за умов реалізації сценарію RCP4.5 та на $0,7^{\circ}\text{C}$ за умов реалізації сценарію RCP8.5 (табл. 4.2).

Тривалість періоду викидання волоті – воскова стиглість дещо зміниться. Якщо за базовим варіантом у Житомирській області вона становить 50 днів, то за умов реалізації обох сценаріїв вона збільшиться до 58 днів (тобто на 8 днів).

У Житомирській області середня температура за період викидання волоті – воскова стиглість становить за базовим варіантом $16,8^{\circ}\text{C}$. За умов реалізації першого сценарію вона становитиме $15,5^{\circ}\text{C}$, за умов реалізації другого – $15,8^{\circ}\text{C}$. Тобто сценарні температури цього періоду зміняться несуттєво - на $-1,3^{\circ}\text{C}$ за умов реалізації сценарію RCP4.5 і на $-1,0^{\circ}\text{C}$ за умов реалізації сценарію RCP8.5.

Сума температур за вегетаційний період кукурудзи у Житомирській області становить за базовим варіантом 1950°C . За умов реалізації сценарію RCP4.5 вона практично не зміниться (становитиме 2005°C , тобто на 55°C більше). За умов реалізації сценарію RCP8.5 це збільшення буде ще менш суттєвим (становитиме 1985°C , тобто на 35°C більше).

Моделльні розрахунки показують, що у зв'язку із тим, що за обома сценаріями, що розглядалися, не очікується значного підвищення температури повітря, за сценаріями вона залишиться на сучасному рівні та дещо вищою, то ж і теплозабезпечення вегетаційного циклу кукурудзи найімовірніше відповідатиме показникам, які були взяті за основу (1986-2005 рр.) .

Для аналізу зволоження доцільно було розглянуті суми опадів за міжфазні періоди кукурудзи та весь вегетаційний період. За базовим варіантом кількість опадів за період сходи – викидання волоті у

Житомирській області становить 175 мм. Кількість опадів у період сходи – викидання волоті досить суттєво зменшиться: за умов реалізації першого сценарію становитиме 144 мм, тобто на 31 мм менше за базову, а для умов реалізації другого сценарію становитиме 156 мм, тобто на 13 мм менше за базову. У відсотковому плані це зменшення становить відповідно 18 та 15%.

За базовим варіантом кількість опадів за період викидання волоті – воскова стиглість становить 117 мм. Зменшення опадів за цей період у Житомирській області за умов реалізації обох сценаріїв становитиме відповідно 38 та 27 мм. Тобто за сценарієм RCP4.5 сума опадів зменшиться у цей період до 79 мм (на 32 %). Кількість опадів за період викидання волоті – воскова стиглість за умов реалізації сценарію RCP8.5 становитиме 90 мм, тобто зменшиться на 23 %.

Сума опадів за вегетаційний період кукурудзи у Житомирській області за базовим варіантом становить 292 мм. За умов реалізації першого сценарію вона зменшиться до 223 мм (на 69 мм), а за умов реалізації другого сценарію – до 238 мм (на 54 мм). Таким чином кількість опадів за весь вегетаційний період кукурудзи при зміні клімату зменшиться на 24 та на 18 % відповідно (рис. 4.3).

Зменшення кількості опадів за вегетаційний період призведе до зменшення сумарного випаровування в порівнянні з базовим (336 мм) до 307 мм за умов реалізації сценарію RCP4.5 і до 313 мм за умов реалізації сценарію RCP8.5. Тобто це зменшення становитиме 29 та 23 мм відповідно. У відсотковому співвідношенні ці зміни складають 9% та 7% відповідно, тобто сценарне зменшення сумарного випаровування не є дуже суттєвим.

Завдяки незмінності температурного режиму в Житомирській області та збільшенню величини дефіциту вологості повітря за умов реалізації обох сценаріїв дещо зменшиться і величина випаровуваності. При базовому значенні 380 мм, випаровуваність за першим сценарієм збільшиться до 416 мм, а за другим сценарієм до 390 мм. Відповідно це збільшення становитиме 36 мм (або 9%) та 10 мм (3%)

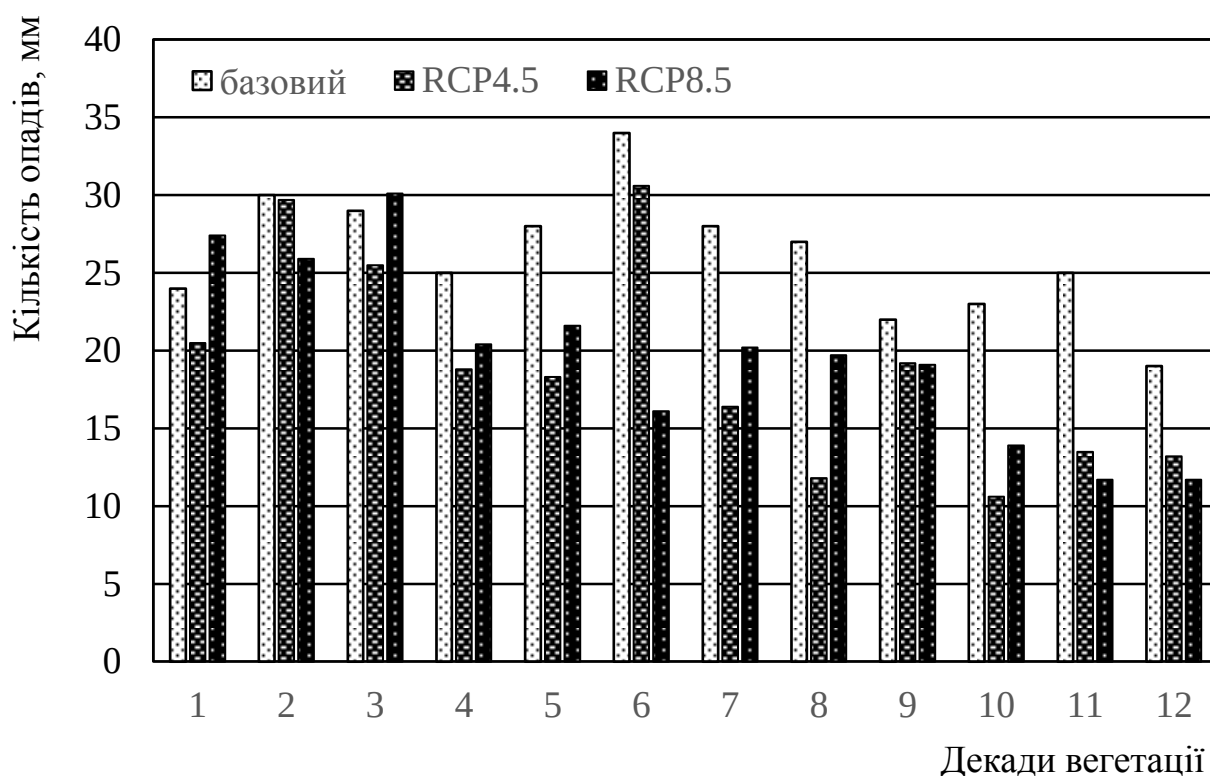


Рисунок 4.3 – Кількість опадів (мм) по декадах вегетації за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 (2021-2050 рр.) та за базовий період (1986-2005 рр.)

Одним з основних показників, що характеризують умови зволоження вегетаційного періоду будь-якої сільськогосподарської культури, є вологозабезпеченість, тобто відношення величини сумарного випаровування до величини випаровуваності.

Умови вологозабезпеченості вегетаційного періоду кукурудзи на території Житомирської області за умов реалізації сценарію RCP4.5 протягом 2021-2050 рр. суттєво зміняться, про що свідчить значення 74%, тоді як базове значення вологозабезпеченості складає 88%. За умов реалізації сценарію RCP8.5 умови вологозабезпеченості у порівнянні з базовим значенням зміняться менш суттєво і значення вологозабезпеченості складатиме 80%. Тобто різниця складатиме відповідно 14 та 8%.

Таким чином, як свідчать результати проведених розрахунків, за сценарними показниками очікується значне зменшення опадів за вегетаційний період, отже вологозабезпечення буде основним лімітуючим фактором для майбутнього рівня урожайності кукурудзи. Суттєве зменшення запасів вологи у другій половині вегетації кукурудзи ймовірно спричинятиме більш ранню витрату вологи метрового шару, порівняно із сучасними умовами (висушування ґрунту), що у свою чергу призводитиме до погіршення умов для завершення формування урожаю кукурудзи, відповідно до зменшення її потенційної урожайності.

4.4 Фотосинтетична продуктивність та коливання урожайності кукурудзи в зв'язку зі зміною клімату

Урожай рослин є функцією фотосинтезу. Суха маса рослин на 90 - 95% складається з органічних сполук, які утворюються у процесі фотосинтезу. Фотосинтез - процес, від якого залежить не тільки кількість, але і якість врожаю, тобто переважання в господарсько цінній частини рослини тих чи інших речовин.

Зв'язок між фотосинтезом і продуктивністю рослин, між фотосинтезом і урожаєм здавна цікавить вчених. Цей зв'язок досить складний. Справа в тому, що загальна кількість накопиченої за певний період часу органічної речовини залежить не тільки від фотосинтезу, а й від протилежно спрямованого процесу дихання.

Загальну фотосинтетичну продуктивність природних рослинних фітоценозів в значній мірі визначає листовий індекс, тобто відношення площі всього листя фітоценозу до площі ґрунту, зайнятого цим фітоценозом. З листовим індексом пов'язані й інші важливі функції рослинного ценозу: розподіл променевої енергії сонця і її утилізація на різні фізіологічні процеси, що відбуваються у рослинах, тепловий та вуглекислотний режим ценозу і т. д.

Згідно теорії фотосинтетичної продуктивності показниками фотосинтетичної продуктивності посівів є розміри фотосинтезуючої площі та фотосинтетичний потенціал посівів, кількісні показники приростів рослинної біомаси, а також суха біомаса як цілих рослин, так і їх окремих частин. Кількісні значення цих показників для території Житомирської області за базових та за сценарних умов представлені у табл. 4.3.

Розглянемо динаміку цих показників протягом вегетації кукурудзи за базовим та кліматичними (сценарними) варіантами.

На рисунку 4.4 представлена динаміка накопичення відносної площі листа кукурудзи в умовах зміни клімату за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) для умов Житомирської області.

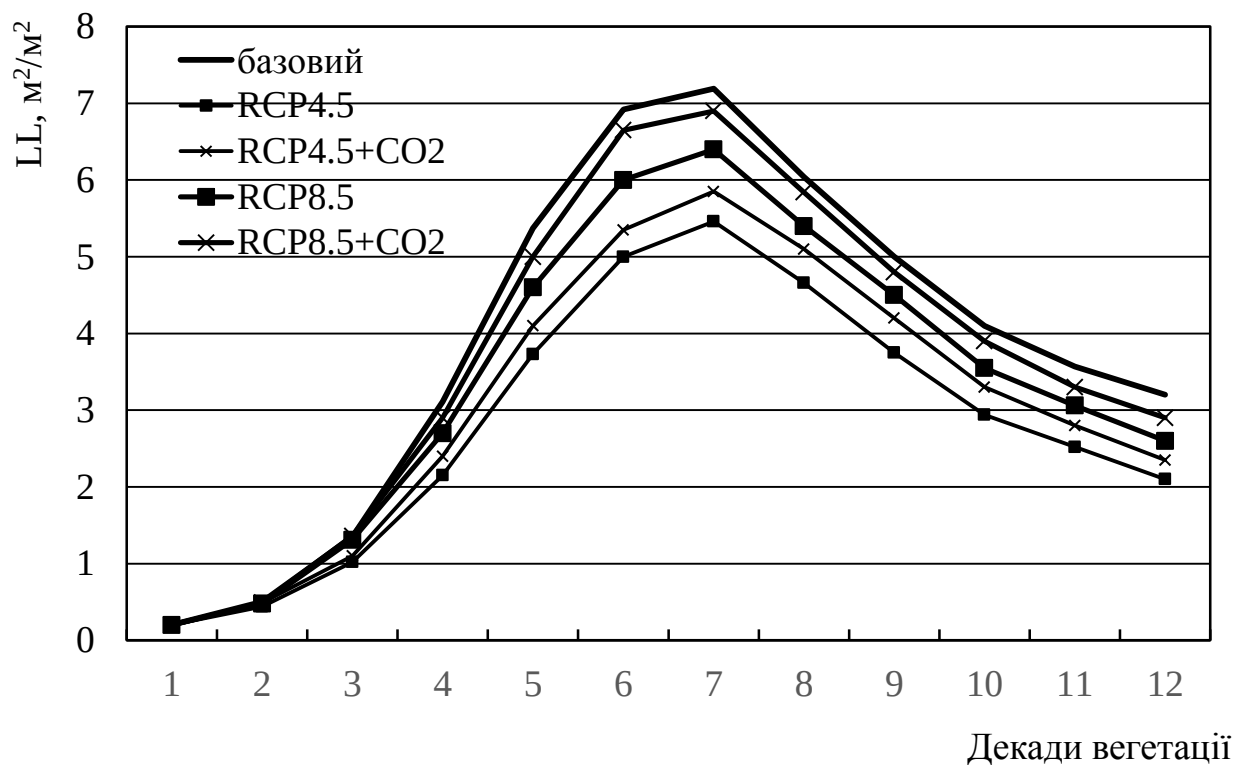


Рисунок 4.4 - Динаміка накопичення відносної площі листа посіву кукурудзи за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

Можна бачити, що ріст відносної площі листя посіву кукурудзи найбільш інтенсивно проходить у четверту-шосту декади вегетації, а у сьому декаду вегетації відносна площа листя досягає свого максимуму, після чого відбувається поступове її зменшення.

Основні показники фотосинтетичної продуктивності посівів за базовими та сценарними умовами суттєво відрізняються (табл. 4.3). За рахунок зміни кліматичних умов за сценарієм RCP4.5 періоду у Житомирській області відбудеться зниження максимальної відносної площі листя до $5,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (проти $7,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$ у базовий період). За умов збільшення CO_2 максимальна відносна площа листя збільшиться до $5,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Як видно з даних таблиці 4.3, зміна кліматичних умов та збільшення вмісту CO_2 в умовах реалізації цього сценарію призведе до зменшення відносної площі листя в декаду з її максимальними значеннями на $1,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$ та $1,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що становить відповідно 24-18 % у порівнянні з базовими значеннями.

За рахунок зміни кліматичних умов за сценарієм RCP8.5 у Житомирській області відбудеться менш суттєве зменшення максимальної відносної площі листя: до $6,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (проти $7,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$ у базовий період). За умов збільшення CO_2 максимальна відносна площа листя зменшиться до $6,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Як видно з даних таблиці 4.3, зміна кліматичних умов в умовах реалізації другого сценарію призведе до зменшення відносної площі листя в декаду з її максимальними значеннями на $0,8 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що становить 11 % від базового значення. У той же час збільшення вмісту CO_2 в умовах реалізації цього сценарію призведе до зменшення відносної площі листя в декаду з її максимальними значеннями на $0,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$, і це зменшення становить 4 % від базового значення.

У відповідності із змінами площі листя буде змінюватись і значення фотосинтетичного потенціалу (ФСП) (табл. 4.3, рис. 4.5). Динаміка наростання ФСП, розрахованого за двома сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 до

четвертої декади вегетації співпадає із базовими величинами в усіх розрахункових варіантах.

Таблиця 4.3 – Показники фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи за базовий період та за сценаріями зміни клімату у Житомирській області

Варіант	Період максимального росту		Фотосинтетичний потенціал посівів, $\text{м}^2/\text{м}^2$ за вегетаційний період	Загальна суха біомаса, $\text{г}/\text{м}^2$	Урожай зерна, ц/га
	площа листкової поверхні, $\text{м}^2/\text{м}^2$	приріст загальної сухої біомаси, $\text{г}/\text{м}^2$ за день			
1986–2005 рр.	7,2	49,6	465	1835	76
<i>RCP4,5</i>	5,5	39,0	340	1470	56
<i>RCP4,5</i> + CO ₂	5,9	40,4	372	1570	60
Різниця*	-1,7...-1,3	-10,6...-9,2	-125...-93	-365...-264	-20...-16
Різниця у %*	-24...-18	-21...-19	-27...-20	-20...-14	-26...-21
<i>RCP8,5</i>	6,4	42,1	408	1650	68
<i>RCP8,5</i> + CO ₂	6,9	44,9	442	1745	70
Різниця*	-0,8...-0,3	-7,5...-4,7	-57...-23	-185...-90	-8...-6
Різниця у %*	-11...-4	-15...-9	-12...-5	-10...-5	-11...-8

* перше число - різниця між базовим та кліматичним періодами,

друге число – різниця між базовим та кліматичним періодами з врахуванням зміни CO₂

Як видно з таблиці 4.3 та рисунка 4.5 за базовий період величина фотосинтетичного потенціалу (ФСП) становила $465 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Розрахунки за першим сценарієм показали, що в період з 2021 по 2050 рр. відбудеться зменшення фотосинтетичного потенціалу до $340 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тобто на $125 \text{ м}^2/\text{м}^2$ або на 27%. За умови збільшення CO_2 зменшення ФСП буде менш суттєвим – до $340 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (тобто на $93 \text{ м}^2/\text{м}^2$ або 20% відповідно).

Зміна кліматичних умов за сценарієм RCP8.5 також спричинить зменшення фотосинтетичного потенціалу посіву кукурудзи до $408 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (тобто на $57 \text{ м}^2/\text{м}^2$ або 12% відповідно). Збільшення вмісту CO_2 призведе до менш суттєвого зменшення фотосинтетичного потенціалу посіву до $442 \text{ м}^2/\text{м}^2$ у порівнянні з базовими значеннями. Тобто різниця складає $23 \text{ м}^2/\text{м}^2$ або 5% відповідно.

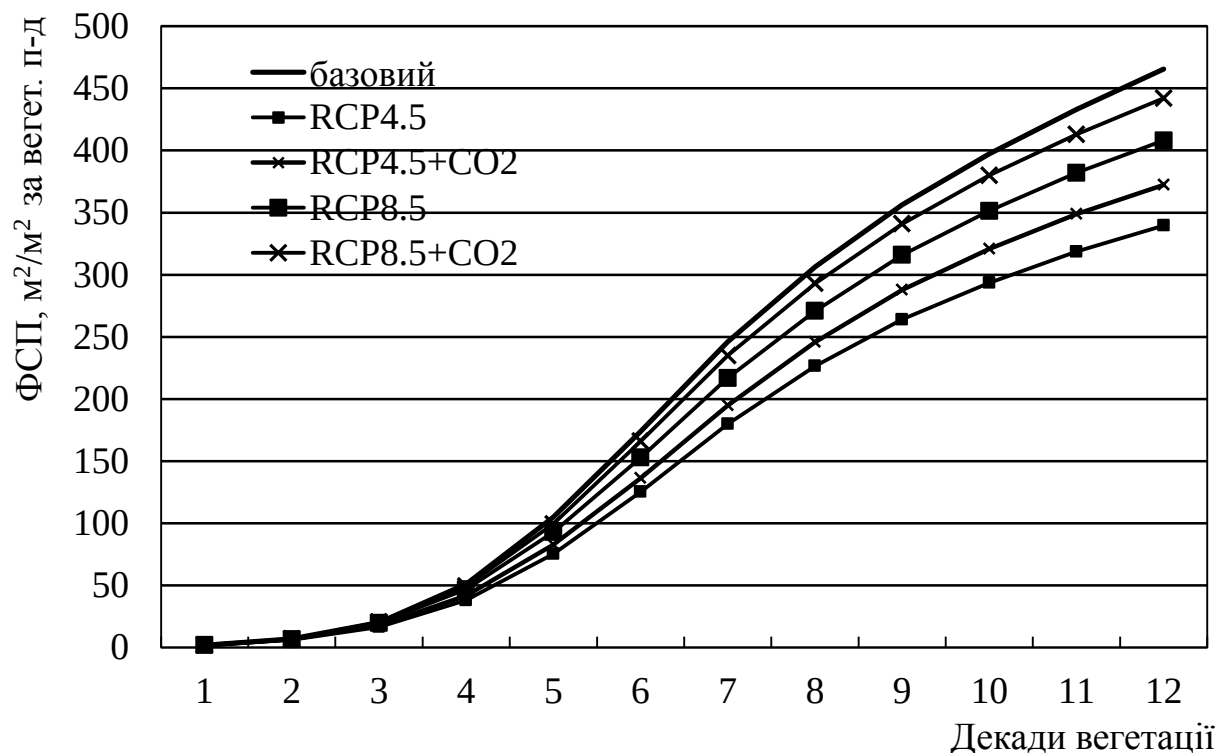


Рисунок 4.5 – Фотосинтетичний потенціал посіву кукурудзи за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

На рисунку 4.6 представлена динаміка накопичення сухої загальної маси посівів кукурудзи в умовах зміни клімату за обома сценаріями в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) для умов Житомирської області.

Можна бачити, що накопичення загальної сухої біомаси до з шостої до дев'ятої декади вегетації проходить досить швидкими темпами. Найбільш високі прирости загальної біомаси спостерігаються в шосту декаду вегетації. Але на величини приростів суттєво впливають агрокліматичні умови вегетаційного періоду кукурудзи.

За базових умов приріст загальної сухої біомаси посіву у період максимального росту становить $49,6 \text{ г/м}^2$. За рахунок змін кліматичних умов за сценарієм RCP4.5 приріст сухої загальної біомаси у період максимального росту у Житомирській області буде дещо менше – $39,0 \text{ г/м}^2$ за день без врахування вмісту CO_2 і $40,4 \text{ г/м}^2$ з врахуванням зміни вмісту CO_2 в атмосфері. Тобто прирости за умов реалізації першого сценарію зменшаться на $10,6$ та $9,2 \text{ г/м}^2$, що становить 21 та 19% відповідно у порівнянні з базовим варіантом.

За умов реалізації сценарію RCP8.5 максимальний приріст загальної сухої біомаси також буде менше, ніж за базових умов і становитиме $42,1 \text{ г/м}^2$. За умов збільшення вмісту CO_2 в атмосфері максимальний приріст за другим сценарієм також буде менше за базове значення – $44,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Таким чином різниця величин складає $7,8$ та $4,7 \text{ г/м}^2$ або 15-9 % відповідно.

Як видно з даних табл. 4.3, за базових умов загальна суха біомаса посіву кукурудзи на кінець вегетаційного періоду становить 1835 г/м^2 . За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP4.5 суха загальна біомаса на кінець вегетації зменшиться до 1470 г/м^2 . З врахуванням зміни вмісту CO_2 в атмосфері це збільшення буде менш суттєвим - до 1570 г/м^2 . Тобто зменшення становить відповідно 365 та 264 г/м^2 , або 20-14%.

За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP8.5 суха загальна біомаса посіву на кінець вегетації у Житомирській області зменшиться менш

суттєво - до 1650 г/м^2 та. Тобто зменшення становить відповідно 95 г/м^2 або 5%.

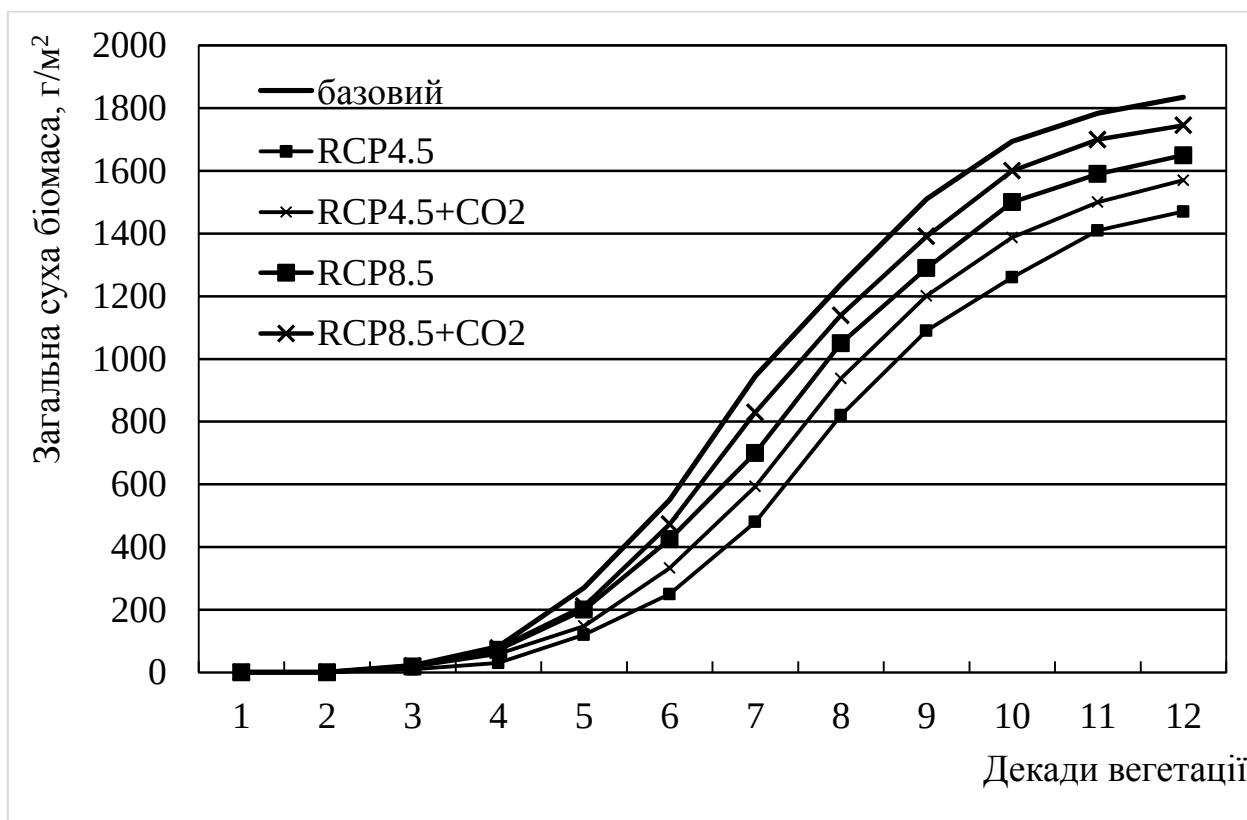


Рисунок 4.6 - Динаміка накопичення сухої загальної маси посіву кукурудзи за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

Лише з врахуванням зміни вмісту CO_2 в атмосфері очікується збільшення сухої загальної біомаси посіву кукурудзи до 1835 г/м^2 . Тобто збільшення становить відповідно 90 г/м^2 або 5%.

Зменшення рівня показників фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи у Житомирській області в умовах зміни клімату обумовить і зменшення сухої маси качанів та зерна, а також кінцевого урожаю зерна при стандартній вологості (табл. 4.3).

За умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 урожай зерна кукурудзи у Житомирській області зменшиться порівняно з базовим періодом з 76 до 56 ц/га (на 20 ц/га або 26%). Підвищення концентрації CO_2 в атмосфері

обумовить дещо більшу величину урожаю зерна кукурудзи - 60 ц/га (зменшення у порівнянні з базовим періодом на 16 ц/га або 21%).

За умов зміни клімату за сценарієм RCP8.5 у 2021-2050 рр. урожай зерна кукурудзи у Житомирській області зменшиться порівняно з базовим періодом з 76 до 70 ц/га (на 6 ц/га або 8%). Підвищення концентрації CO₂ в атмосфері обумовить відповідне зростання рівня урожаю зерна кукурудзи до 82 ц/га (на 6 ц/га або 8%).

У цілому можна зробити висновок, що для території Житомирської області за умов реалізації сценарію RCP4.5 ймовірне найбільше погіршення агрокліматичних умов, а разом із цим і падіння урожайності майже на третину.

Зміни клімату за сценарієм RCP8.5 для посівів кукурудзи будуть менш несприятливими, а за умов збільшення вмісту CO₂ в атмосфері можна очікувати підвищення урожайності культури протягом періоду до 2050 р.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз рядів середньообласної урожайності кукурудзи в Житомирській області за період з 1997 по 2016 роки, отриманих за даними обласного управління статистики, проводився за методом гармонійних вагів.

Протягом періоду досліджень в Житомирській області відбувалося суттєве зростання виробничої урожайності. Середньобагаторічна урожайність становить 54 ц/га, тенденція, визначена за методом гармонійних вагів, становить 1,7 ц/га. Найбільший урожай зібрано у 2013 р. – 78,5 ц/га, найменший – 2000 р. – 31 ц/га. Аналіз трендової компоненти урожайності свідчить про покращення рівня культури землеробства у Житомирській області.

Аналіз відхилень від тренду показав, що за погодними умовами найсприятливішим для вирощування кукурудзи був 2005 р. (додатне відхилення становить 15,9 ц/га), а найнесприятливішим був 2015 р. (від'ємне відхилення складає 25,2 ц/га).

Аналіз мінливості кліматичної складової урожайності свідчить, що Житомирську область можна віднести до зони стабільних урожаїв.

Ймовірнісний аналіз рядів урожайності показав, що лише один-два рази у десять років можна очікувати високих урожаїв порядку 70-75 ц/га.

2. Для кліматичних розрахунків використовується набір сценаріїв Representative Concentration Pathways – RCP, а саме RCP4.5 та RCP8.5. Всі розрахунки було виконано шляхом порівняння середніх багаторічних характеристик метеорологічних та агрометеорологічних показників за три періоди: перший – з 1986 по 2005 рік (базовий період), і два сценарних: за сценарієм RCP4.5 та за сценарієм RCP8.5 на період 2021-2050 рр. Також враховувалось збільшення CO₂ в атмосфері.

3. Модельні розрахунки показують, що дати настання основних фаз розвитку кукурудзи за обома сценарними варіантами зсунуться у бік більш пізніх термінів. Причому зсув у часі буде однаковим для обох сценаріїв і складатиме від 5 до 15 днів.

У зв'язку з тим, що перша половина вегетації кукурудзи пройде при середніх температурах, що майже дорівнюють базовій, тривалість періоду сходи-викидання волоті не зміниться і становитиме у всіх випадках 62 дні. Однак очікувані температури другої половини вегетації дещо нижче за базові, тому тривалість періоду викидання волоті – воскова стиглість подовжиться на тиждень у порівнянні з базовою.

В цілому можна сказати, що за обома сценаріями, що розглядалися, не очікується значного підвищення температури повітря, вона залишиться практично на сучасному рівні, отже теплозабезпечення вегетаційного періоду кукурудзи найімовірніше відповідатиме показникам, які були взяті за основу (1986-2005).

4. Сума опадів за вегетаційний період кукурудзи у Житомирській області за базовим варіантом становить 292 мм. За умов реалізації першого сценарію вона зменшиться до 223 мм, а за умов реалізації другого сценарію – до 238 мм. Таким чином кількість опадів за весь вегетаційний період кукурудзи при зміні клімату зменшиться на 24 % та на 18 % відповідно.

Зменшення сум опадів спричинить відповідне зменшення сумарного випаровування (фактичного вологоспоживання), що за умов деякого збільшення вологопотреби (випаровуваності) призведе до того, що умови вологозабезпеченості вегетаційного періоду при реалізації обох сценарних варіантів дещо погіршаться. Причому, за сценарієм RCP4.5 це погіршення буде більш суттєвим.

5. Середній з найбільших урожаїв кукурудзи за теперішнього часу у Житомирській області складає 76 ц/га. За умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 на території Житомирської області утворяться умови, менш

сприятливі для вирощування кукурудзи. Таким чином слід очікувати зменшення врожаїв кукурудзи протягом періоду до 2050 рр.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шиндин А.П., Багринцева В.Н., Горбачева А.Г. и др. Кукуруза. Современная технология возделывания. Москва: ВНИИ кукурузы, 2009. 71 с.
2. Рожков А.О., Огурцов Є.М. Рослинництво: навч. посібник. Харків: Тім Пабліш Груп, 2017. 363 с.
3. Циков В.С., Матюха Л.А. Интенсивная технология возделывания кукурузы. М.: Агропромиздат, 1989. 247 с.
4. Аналітична записка БАУ № 16 (2016). "Можливості заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання в Україні" / URL: <http://www.uabio.org/ua/activity/uabio-analytics>.
5. Демидов О.А., Рудюк А.Т., Заришяк А.С. та ін. Застосування соломи і пожнивних решток як органічних добрив для поліпшення гумусового стану ґрунту (рекомендації). Харків: КП «Міська друкарня», 2012. 38 с.
6. Тимчук С.М., Тимчук В.М., Цехмейструк М.Г. Аналіз культури кукурудзи як об'єкта трансферу. 2. Стандартизовані сировинні джерела // Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області. 2012. Вип.13. С. 4-20.
7. Адаменко Т.І. Зміна агрокліматичних умов і їх вплив на зернове господарство України // Збірник доповідей міжвідомчої наради-семінару "Погода і зернове господарство України" (Дніпропетровськ, 2004), Український гідрометеорологічний центр. Київ, 2004. С. 3-6.
8. Польовий В., Деркач Н., Шевчук О. Адаптація сільського господарства Рівненської області до змін клімату. // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції "Інтенсифікація технологій – шлях до підвищення ефективності землеробства". Рівне, 2012. С. 19-22.
9. Агрокліматичний довідник по Житомирській області (1986-2005 рр.). За редакцією Чемериса Л.А. та Мяснікової Л.М. Житомир, 2010. 175 с.

10. М'яновська М.Б., Давидова І.В. Екологічний стан основних річок Житомирської області // Таврійський науковий вісник. 2011. № 76. С. 317-329.
11. Андреев С.С., Куперман Ф.М. Физиология кукурузы. М.: Изд-во МГУ, 1959. 270 с.
12. Кукурудза. Вирощування, збирання, консервування і використання / Під загальною редакцією Д. Шпаара. К.: Альфа-стевія ЛТД, 2009. 396 с.
13. Катерло О., Вольвач О. Дослідження змін біологічного мінімуму розвитку кукурудзи впродовж вегетації // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції “Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії”. Переяслав-Хмельницький, 31 травня 2018 р. С. 29-31.
14. Чирков Ю.И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 251 с.
15. Володарский Н.И. Биологические основы возделывания кукурузы. М.: Колос, 1975. 154 с.
16. Козубенко Л.В., Гурьева И.А. Селекция кукурузы на раннеспелость. Харьков, 2000. 240 с.
17. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів: НВФ “Українські технології”, 2006. 730 с.
18. Сатановська І.П. Тривалість вегетаційного періоду різностиглих гібридів кукурудзи залежно від біологічних препаратів та погодних умов // Агропромислове виробництво Полісся. 2013. Вип. 6. С. 148-152.
19. Томашевський Д.Ф. Кукурудза. К.: Урожай, 1970. 364 с.
20. Христенко М.І. Кукурудза: монографія. К.: Голов. спеціаліз. ред. літ. мовами нац. меншин України, 2000. 302 с.

21. Гойса Н.И., Олейник Р.Н., Рогаченко А.Д. Гидрометеорологический режим и продуктивность орошаемой кукурузы. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 230 с.
22. Procrop maize growth & development. State of New South Wales through NSW Department of Primary Industries, 2009. 52 p. URL: http://dpi.nsw.gov.au/data/assets/pdf_file/007...maize.
23. Magashi A., Sarkin Fulani M., Jari S., Sadiq B. Evaluation of different maize varieties (*Zea mays* L.) for drought tolerance in relation to root and yield parameters in Gaya, LGA Sudan Savannah. // International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences (IJCEBS) Volume 3. Issue 1 (2015). Pp. 64-66.
24. Кротінов В.П. Густота рослин кукурудзи в умовах південно-східного Степу України // Бюлетень Інституту зернового господарства УААН. Дніпропетровськ. 1996. №1. С.68 – 71.
25. Циков В.С. Кукуруза: технологія, гібриди, семена. Днепропетровск: Изд-во Зоря, 2003. 296 с.
26. Музафаров Н.М., Чернобай Л.М., Манько К.М. Екологічна пластичність сучасних гібридів кукурудзи залежно від фону живлення. // Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. 2012. Випуск 13. С. 186-194.
27. Гібриди кукурудзи селекції Інституту зрошуваного землеробства НААН URL: <http://izpr.org.ua/index.php/rozrobki/436-gibridi-kukurudzi.html>
28. Каталог сортів та гібридів. Науково-методичні рекомендації. Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення (СГІ – НЦНС). Одеса, 2017. URL: http://www.sgi.in.ua/images/Vidanna_instityty/katalog_sortiv/katalogSGI2017.pdf
29. Каталог сортів і гібридів польових культур Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва. Харків, 2018. URL: <http://help-agro.com.ua/katalog-sortiv-i-gibrydiv-polovyh-kultur-instytutu-roslynnytstva-im-v-ya-yur-yeval>

30. Каталог сортів та гібридів ДУ Інститут зернових культур НААН України. Науково-методичні рекомендації. Дніпро, 2017. URL: http://market.institut-zerna.com/documents/catalog_2017.pdf
31. Мищенко З.А. Агроклиматология. Одесса: «Экология», 2006. 540 с.
32. Обухов В.М. Урожайность и метеорологические факторы. М.: Госпланиздат, 1949. 318 с.
33. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 175 с.
34. Статистична інформація / Офіційний сайт Головного управління статистики у Житомирській області. URL: <http://www.zt.ukrstat.gov.ua>
35. Катерло О.М. Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Київській області // Матеріали конференції молодих вчених ОДЕКУ, травень 2018 р. С. 15-18.
36. Борщевська Д.О., Вольвач О.В. Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Лісостепу України на прикладі Харківської області / Матеріали XVI наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 3-13 травня 2017 р. С. 32-33.
37. Пасов В.М. Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 152 с.
38. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 362 с.
39. Тенденції змін клімату України на початок ХХІ століття / Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні в 2000 році. Міністерство екології та природних ресурсів. К.: Вид-во Раєвського, 2001. С. 92-94.
40. Просунко В.М. Наслідки глобального потепління клімату в землеробстві / Пропозиція. 2004. № 12. С. 45-47.
41. Адаменко Т.І. Використання моделі продуктивності для оцінки умов вирощування та прогнозування середньообласного урожаю кукурудзи // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія. 2004. Вип. 7. С. 160-165.

42. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України: монографія / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: Екологія, 2011. 696 с.
43. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: монографія / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: ТЕС, 2015. 520 с.
44. Польовий А.М. Вплив антропогенних змін клімату на сільське господарство: конспект лекцій. Одеса: "Екологія", 2013. 108 с.
45. Climate Change 2013: The Physical Science Basis / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor [et al.] // Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
46. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату: підручник. Одеса: Екологія, 2013. 204 с.
47. Польовий А.М. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 319 с.
48. Полевой А.Н. Моделирование фотосинтеза зеленого листа у растений типа C_3 и C_4 при изменении концентрации CO_2 в атмосфере. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. М.: ИГКЭ. 2010. Том XXIII. С. 297-315.
49. Катерло О.М., Вольвач О.В. Моделювання продукційного процесу кукурудзи // Тези доповідей III Міжнародної наукової конференції молодих вчених "Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення". Одеса, 2018. С. 48-50.

ДОДАТКИ

Розрахунок тенденції урожаю за методом
гармонійних вагів, кукурудза, Житомирська область

$N = 20$ $K = 16$

N - довжина ряду, K - параметр зглаження

Фактичні значення урожаю по роках, ц/га

36.0 32.0 36.0 31.0 40.7 41.0 33.0 42.0 68.0 67.0 66.0 50.7
69.2 62.3 72.4 72.0 78.5 72.3 48.6 70.3

+++++

Згладжені значення урожаю - тренд, ц/га

28.9 30.9 33.8 37.5 41.2 44.0 46.7 49.4 52.1 54.8 57.6 60.3
63.0 65.7 68.4 71.2 73.2 74.2 73.8 74.7

+++++

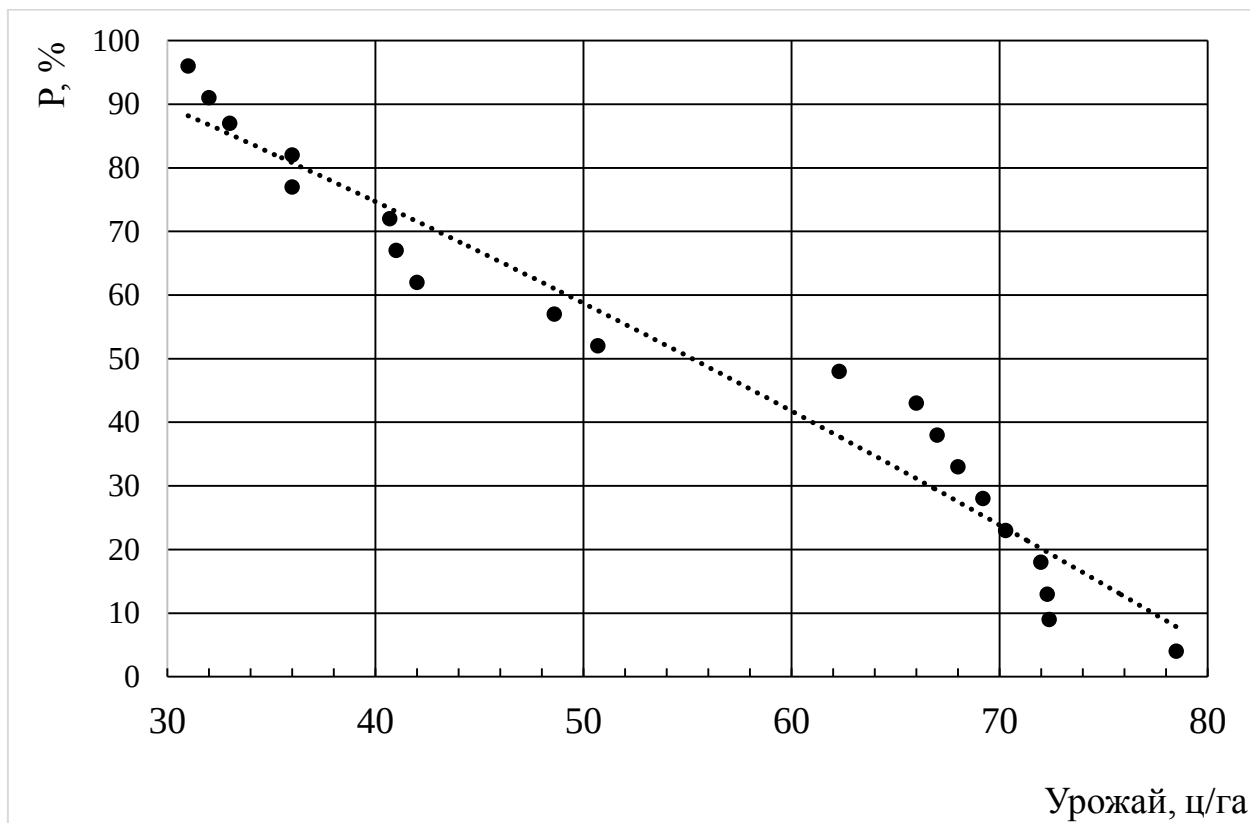
Фактичні значення урожаю мінус тренд, ц/га

7.1 1.1 2.2 -6.5 -0.5 -3.0-13.7 -7.4 15.9 12.2 8.4 -9.6
6.2 -3.4 4.0 0.8 5.3 -1.9-25.2 -4.4

+++++

Прогноз тенденції урожаю на наступний рік

$ws=1.732$ $yr=76.42$
 $sumy1 = 1089.000$ $ysr=54.45$ $disSum = 278.96$
 $disz = 239.10$ $cp = 0.12$



Графік ймовірності урожаїв кукурудзи в Житомирській області