

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

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **Вплив змін клімату на урожайність кукурудзи в
Лісостепових областях України**

Виконала студентка 2 курсу групи МНЗ-61а
спеціальності 103 «Науки про Землю»,
(шифр і назва)

Освітня програма Агрометеорологія
(назва)

Борщевська Дар'я Олександрівна
(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 агrometeorологія та агrometeorологічних прогнозів
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма Агrometeorологія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри агrometeorології
та агrometeorологічних прогнозів**

Польовий А.М.

“ 26 ” березня 2018 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Борщевській Дар'ї Олександрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вплив змін клімату на урожайність кукурудзи в
Лісостепових областях України

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

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

2. Строк подання студентом роботи 01 червня 2018 року

3. Вихідні дані до роботи Матеріали середньобагаторічних
агrometeorологічних, метеорологічних та фенологічних спостережень за
кукурудзою мережі агromетстанцій Вінницької області за період 1986-
2005 рр.. Дані про щорічну середньообласну урожайність кукурудзи по
лісостеповим областям України за період 1999-2015 рр.. Метеорологічні дані за
сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 зміни клімату за період 2021-2050
рр.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вивчити фізико-географічні та агрокліматичні особливості
території Лісостепу; ознайомитись з методологією динамічного
моделювання продукційного процесу; вивчити біологічні особливості
кукурудзи; провести аналіз динаміки урожайності кукурудзи по лісостеповим
областям; оцінити зміни агрокліматичних умов вирощування кукурудзи у
Вінницькій області у зв'язку зі зміною клімату; визначити вплив змін
клімату на фотосинтетичну продуктивність та урожайність кукурудзи в
Вінницькій області за умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5. Надати
імовірнісну характеристику очікуваних урожаїв.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) динаміка урожайності кукурудзи та лінії тренду по лісостеповим областям, графіки відхилень від лінії тренду, графік динаміки площі листя та динаміки загальної біомаси рослин, ймовірнісна крива очікуваних за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 урожаїв зерна кукурудзи.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 26 березня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання, формування бази даних для виконання проекту. Написання теоретичної частини проекту.	26.03.2018 р. - 6.04.2018 р.	90	5(відмінно)
2	Аналіз динаміки урожайності за методом гармонійних зважувань.	7.04.2018 р. – 17.04.2018 р.	90	5(відмінно)
3	Розрахунки основних агрокліматичних показників вегетаційного періоду кукурудзи.	18.04.2018 р. - 29.04.2018 р.	90	5(відмінно)
4	Рубіжна атестація	30.04.2018 р. - 6.05.2018 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.	7.05.2018 р. - 17.05.2018 р.	95	5(відмінно)
6	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.	18.05.2018 р. - 27.05.2018 р.	95	5(відмінно)
7	Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи і презентаційного матеріалу до публічного захисту	28.05.2018 р. - 1.06.2018 р.	95	5(відмінно)
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		92,5	

Студентка _____ Борщевська Д.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Борщевська Д. О. Вплив змін клімату на урожайність кукурудзи в Лісостепових областях України.

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 Лісостеповій зоні України на прикладі Вінницької області.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- оцінити просторово-часову мінливість урожайності кукурудзи;
- розрахувати основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду кукурудзи в Лісостепу 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 Вінницькій 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 Вінницькій 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 Лісостепу.

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків та переліку посилань. Повний обсяг роботи становить 82 сторінки, 21 рисунок, 6 таблиць. Список використаних літературних джерел містить 32 найменування.

Ключові слова: кукурудза, модель продуктивності, зміна клімату, агрокліматичні умови, урожай зерна.

SUMMARY

Borshchevska D. O. Influence of climate change on productivity of corn in Lisostep regions of Ukraine.

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 Lisostep zone of Ukraine on the example of Vinnitsa 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 Lisostep 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 Vinnitsa 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 Vinnitsa 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 Lisostep.

The work consists of an introduction, four chapters, conclusions, list of references. Full work is 82 pages, 21 graphics, 6 tables. The list of used literary sources contains 30 items.

Key words: maize, productivity model, climate change, agro-climatic conditions, crop grain.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ЛІСОСТЕПУ ТА ЇЇ АГРОКЛІМАТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ	10
2 МОРФОЛОГІЧНІ ТА БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КУКУРУДЗИ ..	18
2.1 Морфологічні особливості культури.....	18
2.2 Вимоги кукурудзи до факторів навколишнього середовищ.....	20
2.2.1 Вимоги кукурудзи до тепла.....	20
2.2.2 Вимоги кукурудзи до вологи.....	22
2.2.3 Вимоги кукурудзи до світла.....	24
2.2.4 Вимоги кукурудзи до ґрунтів та мінерального живлення.....	26
2.2.5 Сучасні гібриди і сорти кукурудзи.....	28
3 АНАЛІЗ ДИНАМІКИ УРОЖАЙНОСТІ КУКУРУДЗИ В ЛІСОСТЕПОВИХ ОБЛАСТЯХ УКРАЇНИ	30
3.1 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Вінницькій області.....	30
3.2 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Чернівецькій області...	32
3.3 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Черкаській області.....	33
3.4 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Київській області.....	35
3.5 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Полтавській області...	36
3.6 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Сумській області.....	38
3.7 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Тернопільській області	39
3.8 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Харківській області.....	41
3.9 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Хмельницькій області..	42
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ КУКУРУДЗИ ТА ПОКАЗНИКИ ФОТОСИНТЕТИЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ЙОГО ПОСІВІВ У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ	45
4.1 Сучасний стан досліджень проблеми зміни клімату.....	45
4.2 Сучасний стан моделювання продуктивності кукурудзи в Україні	47

4.3 Алгоритм динамічної моделі продукційного процесу кукурудзи...	49
4.3.1 Підблоки фотосинтезу, дихання та приросту рослинної маси..	52
4.3.2 Підблок динаміки біомаси органів рослини.....	54
4.3.3 Підблок радіаційного та водно-теплого режимів посівів.....	55
4.4 Вплив змін клімату на агрокліматичні умови вегетаційного періоду кукурудзи у Вінницькій області.....	56
4.5 Оцінка впливу змін клімату на показники фотосинтетичної продуктивності посівів та урожайність кукурудзи в зв'язку зі зміною клімату.....	63
4.6 Коливання урожайності кукурудзи в зв'язку з можливими змінами клімату.....	68
ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	75

ВСТУП

Кукурудза є основною фуражною культурою у світі. Упродовж останніх десяти років обсяги її виробництва постійно зростали (за винятком сезонів 2012–2013 та 2015–2016 років), адже кукурудза вважається одним із кращих видів зерна для виробництва концентрованих кормів у тваринництві та незамінною сировиною для виробництва біоетанолу [1]. Кукурудзу на зерно вирощують загалом в теплих регіонах світу. Однак завдяки селекції ранньостиглих гібридів її можливо вирощувати і в більш північних регіонах Європи.

США є світовим лідером із валового збору та врожайності кукурудзи на зерно. У 2015 р. у цій країні зібрали 361 млн. т (36,4% загальносвітового урожаю цієї культури), отримавши у середньому 107,3 ц/га. Також багато кукурудзи на зерно виробляється у Китаї – близько 216 млн. т у 2015 р., в Бразилії – 85 млн. т, в ЄС – 76 млн. т, і замикає п'ятірку лідерів Україна – 28,5 млн. т [2].

У країнах світу для продовольчих потреб використовується приблизно 20 % зерна кукурудзи, для технічних 15 - 20 %, на корм худобі 60 - 65 % [3]

У нашій країні кукурудза є найважливішою кормовою культурою. За її рахунок тваринництво забезпечується концентрованими кормами, силосом і зеленою масою.

Найбільш цінний корм - зерно кукурудзи, яке містить 9 - 12 % білків, 65 - 70 % вуглеводів, 4 - 8 % олії, 1,5 % мінеральних речовин. У вигляді кормового борошна, висівок воно добре перетравлюється і засвоюється організмом тварин, тому є незамінним компонентом комбикормів. Використовують зерно на корм також силосуванням качанів у фазі молочно-воскової стиглості, яке за поживністю мало поступається зерну повної стиглості. Із подрібненого зерна вологістю близько 25 % разом з подрібненими стрижнями качанів виготовляють зерно-стрижневу кормову масу, а тільки з

подрібненого зерна з такою самою вологістю - такий новий вид корму, як корнаж.

Кукурудза на зерно за середньої врожайності 60 ц/га разом з побічною продукцією (стеблами, листками) забезпечує вихід з 1 га понад 6,5 тис. кг корм. од. і до 400 кг перетравного протеїну (що дорівнює 75 тис. МДж обмінної енергії). Це значно більше порівняно з іншими зерновими культурами [4].

Проте кукурудза містить недостатню кількість перетравного протеїну - від 60 - 65 г у силосі до 75 - 78 г у зерні на 1 корм. од. при нормі 110 - 120 г. Щоб збалансувати раціон за протеїном, тваринам згодують кукурудзу у суміші з бобовими кормовими культурами, в яких на 1 корм. од. припадає 130 - 250 г перетравного протеїну з достатньою кількістю незамінних амінокислот.

Завдяки інноваціям вітчизняні аграрії досягають успіху в отриманні високих показників вирощування кукурудзи. Потреба в кукурудзі і сфери її застосування не обмежуються лише харчовими цілями. Кукурудза стала однією з основних зернових культур, чії продукти переробки активно використовуються у промисловості, тваринництві та медицині.

Україна досягла максимальних масштабів розвитку галузі. Більш придатними для її вирощування є природно-кліматичні умови Лісостепу. Вирощування кукурудзи в Степовій зоні доцільне при застосуванні зрошення. Подальше підвищення виробництва можливе за рахунок удосконалення технологій вирощування, які дозволять підвищити врожайність на вже чинних площах [1].

Метою даного дипломного проекту є визначення впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування та фотосинтетичну продуктивність кукурудзи у Вінницькій області. Для виконання роботи було використано метеорологічні та фенологічні дані середньобогаторічних спостережень за кукурудзою (1986-2005 рр.) та дані за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 змін клімату на період 2021-2050 рр.

1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ЛІСОСТЕПУ ТА ЇЇ АГРОКЛІМАТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ

Територія Лісостепу займає понад 1 тис. км від Карпат до східних кордонів України. Загальна площа її становить понад 20,1 млн. га. До неї входять Полтавська, Черкаська, Тернопільська, Вінницька, більша частина Хмельницької й Сумської, східні райони Львівської, Чернівецької й Івано-Франківської, південні райони Волинської, Житомирської, Рівненської, Київської та Чернігівської, північні райони Кіровоградської, Одеської, Миколаївської та Харківської областей. Помірно вологе й тепле літо та родючі ґрунти, порівняно м'яка зима створюють найсприятливіші в Україні умови для одержання високих і сталих урожаїв майже всіх тепло- і вологолюбних культур [5].

У Лісостепу сконцентровано 34,2 % від загальної площі посівів під озимою пшеницею, 41 - під ярим ячменем, 27,4 - під кукурудзою, 81 – під цукровими буряками, 35,5% - під овочевими культурами.

Для Лісостепової зони характерне чергування лісової та степової рослинності. Це природна зона помірного поясу. Ґрунти формуються за умов несталої зволоження, за яких підзолистий процес ґрунтоутворення поєднується з дерновим. Найбільш розповсюдженими ґрунтами в зоні є чорноземи та сірі опідзолені. Маючи високу природну родючість, вони є основною одиницею сільськогосподарського використання. Ґрунти інших типів (болотні, солонцюваті і підзолисті) займають набагато менші площі. Чорноземи характеризуються диференціацією профілю, сприятливою для розвитку рослин, слабкокислою або нейтральною реакцією ґрунтового розчину, високим вмістом поживних речовин, добрими фізичними властивостями [5].

Чорноземні ґрунти поділяють на малогумусні (3-5%) і середньогумусні (більше 6%). У південній частині Лісостепу переважають серед інших ґрунтів чорноземи типові. Вміст гумусу залежить від ваги

гранулометричного складу ґрунту. Нагромадження великої кількості стійких гумусових сполук є характерною ознакою чорноземних ґрунтів. У метровому шарі ґрунту міститься 400-600 т/га гумусових сполук. Вміст валового азоту в чорноземах становить 0,2-0,5%, P_2O_5 - 0,15-0,30 і K_2O - близько 2,0-2,5%. Глибокий гумусовий горизонт із зернисто-грудкуватою структурою зумовлює сприятливі водно-повітряні властивості чорноземних ґрунтів: високу вологоємність і аерацію, добру водопроникність. Ці ґрунти мають, крім того, високу вбирну здатність - 30-40 мг.-екв/100 г ґрунту [5].

Чорноземи типові мало- і середньогумусні насичені кальцієм і магнієм, реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної (рН 6,0-6,7), в карбонатних рН 6,8-7,0. У вилугованих відмінах кислотність водної витяжки вища, але не набагато.

За гранулометричним складом чорноземи поділяють на супіщані, легко-, середньо- і важкосуглинкові. Залежно від характеру ґрунтоутворювальних порід їх поділяють на чорноземи на лесах і на лесовидних суглинках. У північному Лісостепу гранулометричний склад чорноземів, що залягають, легший. За ступенем окультурення вони бувають слабко-, середньо- і добреокультурені. На підставі агрохімічних, фізичних та фізико-хімічних властивостей здійснено умовний поділ окультурення.

Чорноземи типові поділяють на мало- і середньогумусні. Реакція ґрунтового розчину нейтральна або слабокисла. Гумусовий шар досягає 85-100 см. Чорноземи вилуговані є малоструктурними і за гранулометричним складом переважно є крупнопилувато-легкосуглинковими. У зв'язку з їх заляганням на знижених елементах рельєфу, де сильніше промиваються і вилуговуються, погіршуються їхні фізичні та біологічні властивості, що перешкоджає нормальному розвитку рослин. У чорноземах вилугованих зменшується вміст гумусу, зростає кислотність ґрунтового розчину через вимивання карбонатів і зміну іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} на іони H^+ .

Чорноземи є основною ґрунтовою відміною Лівобережного Лісостепу України, а в Правобережному більші площі займають сірі лісові ґрунти з

кислою реакцією. Серед сірих лісових ґрунтів поширені світло-сірі, темно-сірі і чорноземи опідзолені [5].

На Поліссі і в Лісостепу поширені сірі опідзолені ґрунти. За ступенем опідзолення їх поділяють на слабо- середньо- і сильноопідзолені. Через низьку структурність і несприятливі водно-повітряні властивості при оранці утворюються брили. Вони швидко осідають після обробітку і легко запливають. Глибина гумусового горизонту становить 25-30 см. Нижче розміщені ущільнений ілювіальний горизонт і ґрунтоутворювальна порода. Глибина залягання карбонатів становить 80-170 см. За гранулометричним складом ці ґрунти суглинкові. Вміст гумусу в середньому становить 1,2-2,4%, рН, , гідролітична кислотність 1,7-2,8 мг.-екв/100 г ґрунту, сольової витяжки близько 5,5, ступінь насиченості основами 70-88%, , сума увібраних основ 4,0-17,3 мг.-екв/100 г ґрунту.

У цих сірих лісових ґрунтах невисокий вміст поживних речовин. Кількість азоту залежить від вмісту гумусу, тому його тут недостатньо. Середній ступінь забезпеченості ґрунтів фосфором і калієм.

У темно-сірих опідзолених ґрунтах гумусо-ілювіальний горизонт становить 5060 см, карбонати залягають на глибині 110-150 см. За гранулометричним складом вони легко- і середньосуглинкові. Вміст гумусу становить 2,3-3,5%, , ступінь насиченості основами 75-90%, сума увібраних основ 10-25 мг.-екв/100 г ґрунту, реакція ґрунтового розчину слабокисла (рН 5,5-6,5). Середній ступінь забезпеченості ґрунтів поживними речовинами.

В Лісостепу поширені реградовані темно-сірі опідзолені ґрунти, чорноземи опідзолені. Серед них найбільш поширені легко- і середньосуглинкові. В цих ґрунтах підвищилась лінія залягання карбонатів, пухкішим став ілювіальний горизонт, збільшився вміст гумусу, підвищилося насичення основами порівняно з темно-сірими та опідзоленими чорноземами - внаслідок процесу реградації [5].

Лучні ґрунти. Вони поширені переважно в зниженнях з високим рівнем підґрунтових вод. Середньо- і легкосуглинкові ґрунти, найбільш поширені за

гранулометричним складом. Реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної або слаболужної. Забезпечення лучних ґрунтів азотом та калієм добре і помірно, фосфором – помірно.

На всіх ґрунтах Лісостепу значно підвищує врожайність сільськогосподарських культур застосування органічних добрив. На чорноземах опідзолених і сірих лісових ґрунтах з підвищеною кислотністю внесення добрив слід поєднувати з вапнуванням, а на солончаках, солонцях і солонцюватих ґрунтах - із гіпсуванням. Максимальне використання запасів потенційної родючості чорноземних ґрунтів є важливим завданням сільськогосподарського виробництва. Основні шляхи його вирішення - нагромадження і правильне використання вологи, раціональні способи обробітку, використання високоврожайних культур, поліпшення структури, внесення добрив.

Внаслідок погіршення умов зволоження, ефективність гною знижується від чорноземів Лісостепу до південних чорноземів Степу. Тому в чорноземній зоні з вираженим дефіцитом вологи (звичайні і південні чорноземи) для підвищення дії функцій органічних добрив їх використовують у добре розкладеному стані [5].

Активізація мікробіологічних процесів, ефективний обробіток ґрунту в поєднанні із заходами поліпшення водного режиму – це все потрібно для раціонального використання родючості чорноземних ґрунтів.

Температурні умови. Абсолютний мінімум температури перебуває в межах -33 -38°C і бувають не частіше як один раз на 50-60 років. Мінімальна температура -20°C і нижча буває щороку. У найхолоднішому місяці - січні середня температура повітря коливається від -7 $+ -8^{\circ}\text{C}$ на сході зони до -4°C на заході. Середня температура в лютому така сама, як і в січні.

Зима характеризується тривалими й інтенсивними відлигами. В окремі роки, іноді, підвищується температура $12-14^{\circ}\text{C}$. При термічному режимі взимку є порівняно невеликі зміни температури з місяця в місяць. Найбільше підвищення температури по всій зоні спостерігається в періоди березень-

квітень та квітень-травень. Далі підвищення температури протікає значно повільніше.

Високими й сталими температурами без значних змін по території зони, відзначається літній період. Найінтенсивніші зниження температури відбуваються протягом жовтня-листопада. В найтеплішому місяці - липні середня температура становить 20°C на сході зони, знижуючись до 18°C на заході. Температура серпня відрізняється від температури липня на 1-2°C. Абсолютні максимуми досягають 39-40°C.

Перехід до середніх плюсових температур спостерігається в центральних районах у кінці другої і в східних у третій декаді березня, в західних районах у першій або на початку другої декади березня. Перехід до середніх мінусових температур восени на заході відбувається в кінці, а на сході - в середині листопада. Теплий період у Лісостепу триває 230-265 днів.

На третю декаду квітня припадає початок без морозного періоду. Тільки в крайніх східних районах Сумської та Харківської областей останні весняні заморозки ,в повітрі, в середньому припадають на початок травня, а в південних районах Вінницької області останні заморозки припадають на другу декаду квітня. У повітрі перші осінні заморозки бувають у середньому в першій декаді жовтня, і тільки в південно-західних районах зони Лісостепу вони припадають на другу декаду жовтня. Іноді в окремі роки в Лісостепу останні весняні заморозки в повітрі можуть бути навіть у другій половині травня, а перші осінні заморозки можуть спостерігатись у вересні.

На поверхні ґрунту заморозки навесні закінчуються пізніше, а восени починаються на 10-20 днів раніше, ніж у повітрі. Мікрорельєф впливає на розподіл мінімальних температур по території. Заморозки навесні можуть закінчуватися пізніше на знижених ділянках, а восени , порівняно з підвищеними формами рельєфу, починатись раніше [5].

В третій декаді квітня майже одночасно з безморозним періодом у повітрі починається період активної вегетації. Закінчення цього періоду теж майже збігається з початком перших осінніх заморозків у повітрі, тобто в

першій декаді жовтня. Таким чином, тривалість усього періоду в межах зони, залежно від місцевих умов, коливається в межах 155-170 днів.

В зоні Лісостепу, у період активної вегетації, заморозків у повітрі майже не буває. Але на поверхні ґрунту в цей період вони можуть бути. Тривалість періоду від дати переходу середньодобової температури через 10°C до закінчення заморозків на поверхні ґрунту визначає ступінь небезпеки останніх. При більшій тривалості цього періоду заморозки закінчуються пізніше і можуть завдати шкоди рослинам. Тривалість морозонебезпечного періоду навесні становить 11-20 днів, для більшості районів.

Початок періоду найінтенсивнішої вегетації з середньою добовою температурою вище 15°C , настає в південних та південно-східних районах зони всередині, а в західних - наприкінці травня. Найдовше цей період триває в південних та південно-східних районах (115-120 днів); у західних тривалість його становить близько 100 днів.

Сумою активних температур визначається теплозабезпеченість сільськогосподарських культур, тобто сумами середніх добових температур, вищих за 10°C . Середні багаторічні суми активних температур у західному Лісостепу перебувають у межах $2300-2500^{\circ}\text{C}$, центральному - $2500-2700^{\circ}\text{C}$ і східному - $2600-2900^{\circ}\text{C}$. На всій території зони Лісостепу тепла цілком вистачає для досягання не лише озимих та ярих зернових культур, а й овочів, картоплі, цукрових буряків, соняшнику та інших культур які тут вирощують [5].

Посушливі явища та забезпеченість опадами. У Лісостепу розподіл опадів характеризуються великою нерівномірністю, як за окремими районами зони, так і за часом випадання їх. Найкраще забезпечена ними західна частина: середня річна кількість опадів тут становить 600-650 мм і може бути більше. На крайньому сході зони їх випадає не більше ніж 500 мм. Кількість опадів в окремі роки може помітно змінюватися. Так, на крайньому заході Лісостепу іноді випадає більше 1000 мм, а на сході - до 750 мм. Найменша річна кількість опадів становила до 300 мм на заході і близько 250

мм на решті території. На протязі зими опадів буває небагато: в західних районах 173-200, у центральних та східних 150-175 мм. Кількість опадів збільшується від весни до літа.

Для сільського господарства мають особливе значення опади теплового періоду (квітень-жовтень). Кількість опадів у середньому становить 350-400 мм, а на крайньому заході зони їх понад 500 мм. Літні опади часто випадають у вигляді сильних злив, які завдають великої шкоди сільському господарству. У середньому за рік кількість днів з опадами становить на півночі зони 160-135 днів, а з опадами не менше 5 мм 30-40 днів.

По всій зоні майже щорічно спостерігаються бездощові періоди у період вегетації. Тривалість окремих бездощових періодів у західних районах досягає 18-20, а в південних та східних - 25 днів. Протягом вегетаційного періоду загальна кількість посушливих днів дуже нестійка. Залежно від характеру переважаючих циркуляційних процесів вона змінюється з року в рік [5].

Суховії спостерігаються майже по всій території Лісостепу. Особливо часто, причому досить тривалі (понад 15 днів), вони бувають у східних та південних районах, у західній частині зони із суховіями в середньому буває близько 4 днів. Суховії загалом спостерігаються при тривалому бездощів'ї, коли відносна вологість повітря знижується до 30% і нижче, температура його підвищується до 25°C і більше, а швидкість вітру становить не менше ніж 5 м/с. Інтенсивністю та станом розвитку рослин визначається ступінь шкідливості суховіїв. В окремі роки, у центральних та східних районах зони, спостерігаються пилові бурі тривалістю в середньому до 5 днів.

Вологозабезпеченість рослин в основному визначається відношенням кількості вологи, яка є в ґрунті, до тієї кількості, яка потрібна для нормального розвитку рослин. Запаси продуктивної вологи незалежно від ґрунтово-кліматичних умов до 5 мм в орному шарі ґрунту під час сівби не дають сходів, при запасах 10 мм сходи з'являються, проте вони починають частково засихати і стають дуже зрідженими. При запасах 11-20 мм умови

для появи сходів задовільні, а при запасах понад 20 мм завжди з'являються дружні сходи.

В метровому шарі ґрунту можливість запасів продуктивної вологи в кількості 90-150 мм у західному Лісостепу становить 90-100%, у центральному та східному - 65-80%. Виняток становлять південно-східні райони Лісостепу, де імовірність воло-гозапасів становить менше 50%.

Агрометеорологічна характеристика весняних польових робіт. При настанні спілості ґрунту починаються основні весняні польові роботи, що в середньому припадає в південній частині зони на 1-5 квітня, а в північній - на 5-10 квітня. Супіщані ґрунти підсихають на 5-10 днів раніше, ніж середньосуглинкові, а важкосуглинкові, навпаки, на 5 днів пізніше. В західних та східних районах строки настання спілості ґрунту мало відрізняються, лише в південній частині Сумської області і північних районах Харківської вони затягуються до початку другої декади квітня[5].

Стан вологості ґрунту та його температурний режим допомагають при визначенні строків сівби. Можна помітити, що в північній частині зони перехід температури через 5°C настає на 2-4 дні пізніше від спілості ґрунту, при якому умови для польових робіт помітно погіршуються, а сходи затримуються, це відбувається при порівнянні середніх дат сталого прогрівання ґрунту на 5, 10 і 15°C на глибині 10 см з датами настання фізичної спілості ґрунту, У зв'язку з цим при сівбі теплолюбних культур не завжди доцільно чекати встановлення оптимальних температур, щоб не втратити вологу з ґрунту.

Загалом Лісостепова зона України забезпечена ресурсами тепла і вологи яких більш достатньо для вирощування культур, що є одним з важливих аспектів повного використання агрокліматичних факторів на даній території.

2 МОРФОЛОГІЧНІ ТА БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КУКУРУДЗИ

2.1 Морфологічні особливості культури

Кукурудза (*Zea mays*) належить до родини злакових (Gramineae). За своїми морфологічними та біологічними особливостями вона значно відрізняється від зернових культур першої групи (пшениці, жита та інш.).

Рослина закріплена в ґрунті мичкуватим і опірним корінням, яке поглинає вологу та поживні речовини. Основна маса коріння розміщується в орному шарі ґрунту, однак деякі корені заглиблюються в ґрунт на глибину до 2,5-3,0 м. Мичкувата коренева система поширюється в діаметрі на відстань 1 м навколо стебла [6, 7].

Стебло кукурудзи - вузлувата соломина, висотою до 2-3 м (існують форми до 9 м) і діаметром 2,0-4,5 см. В основі кожного міжвузля знаходяться бруньки, спроможні формувати бічні пагони, на кінці яких можуть розвиватися качани.

Із зовнішньої частини соломини розміщені судинно-волокнисті провідні пучки, із середини вона виповнена губчастою серцевиною. Ріст стебла припиняється в період закінчення цвітіння. Залежно від сортових особливостей і умов вирощування на стеблі кукурудзи утворюються від 10 до 40 вузлів і міжвузлів.

Листок кукурудзи до 80 см завдовжки і до 10 см завширшки. Він складається з листової пластинки, піхви та схожої на комір лігули (листового язичка). Пластинки стають тоншими в напрямку від центральної жилки до країв і звужуються від основи до верхівки. Кінці пластинки охоплюють стебло двома вушками. Верхня сторона листка опушена [6].

Від положення листків на рослині залежить взаємне затемнення і інтенсивність фотосинтезу. Оскільки качан забезпечується асимілятами

насамперед від листків, які перебувають безпосередньо під ним, дуже важливо, щоб відбувалася повна інсоляція його поверхні. З цією метою селекціонерами створені «геліотропні» форми кукурудзи [7].

Сорти кукурудзи, що мають різну тривалість вегетаційного періоду, розрізняються і по кількості листя. Зазвичай, чим скоростигліші сорти, тим менше формується вузлів, отже, тим менше і кількість листя. Так, скоростиглі сорти мають по 8 - 10 листків, сорти центральної та лісостепової зон - 13-15, степової зони - 16-20, пізньостиглі сорти - по 30 - 40 і більше листя [8].

Кукурудза - однодомний вид, тобто чоловічі та жіночі квітки утворюються на одній рослині. Чоловічі квітки зібрані в суцвіття - волоть - на верхівці стебла; у волоті п'ять або більше гілок, кожна з яких містить сотні колосків. Колосок складається з двох квіткових лусок і трьох тичинок [6]. У волоті формується 4-10 млн. зерен пилку [7].

Жіночі суцвіття зібрані в колосоподібні суцвіття - качани - на кінцях бічних пагонів, які виходять з пазух листків. Кожен качан вкритий листям обгортки, у якої зверху звішуються довгі пусті стовбці маточок, які називають «шовком». Ці стовбці ведуть до зав'язі квіток, заглиблених у м'язисту вегетативну вісь суцвіття.

На одній рослині, як правило, розвиваються один-два, рідше три качани. Середня маса стиглого качана - 250-300 г. Жіночі колоски в качані розміщуються вертикальними рядами, їх кількість варіює в межах від 200 до 800 шт. на одне суцвіття. Кількість рядів зерен завжди парна, здебільшого становить 10-16 рядів. Кожен колосок містить дві квітки, із яких розвивається одна. Маса 1000 зерен у середньому становить 250-350 г. Форма зерна залежить від сорту й щільності розміщення рядів. Зернівки бувають жовтого, білого або помаранчевого кольору. Вихід зерна становить 75-85 % від маси качана [6].

Зерна перебувають на качанах у попарно розташованих рядах по 25 - 30 на стрижні. Власне, разом вони і утворюють качан, що огортається

обгортками. Діаметр стрижня і його частка в сухій масі качана значно коливаються залежно від сорту (гібриду). Стигле зерно кукурудзи складається із трьох основних частин: насінної шкірки - перикарпу (близько 6%), ендосперму (близько 84%) і зародка (близько 10%). За формою зерна розрізняються такі групи: зубовидна, кремениста, дрібнонасінна, цукрова, крохмалиста, восковидна і плівчаста. Сучасні гібриди кукурудзи - це переважно гібриди зубовидної і кременистої форм, які набули найважливішого значення в усьому світі [7].

Кукурудза зубоподібна відрізняється від інших заглибленням на верхівці зрілої зернівки. За формою зернівка нагадує зуб. Її ендосперм містить приблизно порівну склоподібного і борошнистого крохмалю. Склоподібний ендосперм розміщується по боках, борошнистий - у центральній частині та верхівці зернівки. Під час висихання борошнистий ендосперм зменшується, «усихає», через що на верхівці зернівки утворюється заглиблення. Цей підвид є основним, найбільш поширеним у кукурудзяному поясі США. Це також найпоширеніший підвид в Україні.

У кременистої кукурудзи заглиблення на верхівці зерна відсутнє, її ендосперм майже повністю складається з твердого (склоподібного) крохмалю. Цей підвид відрізняється скоростиглістю і найвищим умістом білка в зерні. За посівними площами в Україні займає друге місце після зубоподібної кукурудзи. Форма зерна залежить в основному від стану ендосперму, тобто розподілу рогоподібної і борошнистої консистенцій. Розмір зерен коливається по формах від 2,8 мм у дрібнонасінної кукурудзи до 25 мм у крохмалистої. Відповідно відрізняється й маса тисячі зерен (від 50 до 1200 г) [7].

2.2 Вимоги кукурудзи до факторів навколишнього середовища

2.2.1 Вимоги кукурудзи до тепла

Агрокліматичні умови території України неоднорідні, тому виділяють

чотири зони для кукурудзосіяння: Степ, Лісостеп, Полісся, гірські райони Карпат та степний Крим. Кожна зона має ґрунтові особливості, умови зволоження і температурний режим, які суттєво впливають на врожай. Період, коли кукурудза може активно розвиватися та накопичувати органічну речовину, обмежений датою стійкого переходу середньодобової температури повітря через 10°C. Важливою особливістю теплового режиму кукурудзи є його тривалість у поєднанні із доброю вологозабезпеченістю.

Насіння кукурудзи починає проростати при температурі близько 8°C. Однак при такій температурі проростання йде дуже повільно, проростки загнивають і посіви зріджуються. Ю.І. Чирковим встановлено, що при запасах продуктивної вологи більше 15 мм у шарі ґрунту 0 – 10 см і температурі 11 – 12°C сходи кукурудзи з'являються через 20 – 25 днів, а при 18 – 22°C – через 6 – 8 днів [8].

Біологічним мінімумом для кукурудзи вважається температура 10 °C, нижче якої процеси зростання і розвитку рослин практично припиняються. Кількість листя, що утворюється на головній стебліні, є сортовою ознакою, пов'язаною з швидкістю сорту. Між кількістю листя що утворюється на головній стебліні, і сумою ефективних температур (вище 10 °C), що накопичується за цей період, існує стійкий зв'язок. Середня сума ефективних температур, що доводиться на один міжлистовий період, складає 30 ± 2 °C [8].

Високі температури (+25...+30°C) кукурудза до цвітіння витримує добре, але, якщо вони в період викидання волотей і появи стовпчиків качанів перевищують 30-35°C, різко порушується нормальний перебіг цвітіння і запліднення [9].

Оскільки зрілий пилок кукурудзи на противагу іншим рослинам не в змозі утворювати протеїни, що захищають його від високих температур, висока температура і низька відносна вологість повітря в період цвітіння негативно впливають на запліднення.

Негативний вплив високих температур на запліднення спостерігається в період до 24 годин після випускання пилку. Цей вплив тим вищий, чим нижчою є відносна вологість повітря. Температури вище 40°C негативно діють на пилки [7].

Максимальна температура, за якої припиняється ріст кукурудзи, становить +45-47°C. Сума біологічно активних температур, необхідних для дозрівання скоростиглих гібридів, становить 1800-2000°C, середньоранніх і середньостиглих – 2300-2600°C, пізньостиглих – 3000-3200°C [9].

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 [7].

2.2.2 Вимоги кукурудзи до вологи

За відношенням до вологи кукурудза порівняно посухостійка культура. На утворення 1 кг сухої речовини, вона витрачає 174-406 кг води. Потреба рослин у воді змінюється протягом вегетаційного періоду. Кукурудза добре переносить посуху до початку появи волотей, але якщо за 10 днів до їх появи і протягом 20 днів після появи спостерігається посуха, то врожайність значно знижується. Вона є досить посухостійкою культурою, за рахунок сильно розвиненої кореневої системи, яка з ґрунту вбирає багато вологи [9].

Важливо й те, що кукурудза в період найбільшої потреби у волозі утворює потужну кореневу систему, що проникає в глибокі шари ґрунту. Ця культура може поглинати вологу й через листки рослин. Незважаючи на великий об'єм борошністої частини зерна (зерно кукурудзи поглинає 32-40% вологи від своєї сухої маси), вологість ґрунту навесні звичайно є достатньою для набрякання й проростання насіння. Якщо ж верхній шар ґрунту сухий, то насіння висівають трохи глибше [7].

Нестача води на будь-якій стадії розвитку рослини кукурудзи може призвести до зменшення врожайності.

Після утворення на рослинах 8 - 9 листків і особливо з появою волоті потреби кукурудзи у волозі різко зростають. Найбільша потреба кукурудзи у волозі спостерігається в період інтенсивного росту і накопичення сухої речовини, який триває близько 30 днів, починаючи за 10-14 днів до викидання волоті й до настання молочної стиглості зерна. Нестача вологи в цей критичний період, що часто супроводжується ще й повітряною посухою, призводить до в'янення рослин, висихання листків, зниження активності фотосинтезу й життєздатності пилку. У результаті знижується запліднення, що, у свою чергу, призводить до череззерниці й зменшення врожайності.

Нестача у фазі молочної стиглості є причиною передчасного наливу зерна, формування мілкового зерна у верхній частині качана і, як наслідок – до зниження урожаю [10].

У надмірно зволоженому ґрунті через поганий доступ повітря дуже повільно проростає насіння, що призводить до його загнивання; слабо розвивається коренева система; рослини погано засвоюють фосфор і погіршується їх білковий обмін; вони жовкнуть і дають низький урожай. Оптимальна для неї вологість ґрунту становить 70-80%НВ, що забезпечується випаданням улітку до 300 мм опадів.

Разом з тим надлишок вологи, зокрема близьке залягання ґрунтових вод, негативно впливає на розвиток кукурудзи. У надмірно зволоженому ґрунті через поганий доступ повітря дуже повільно проростає насіння, що призводить до його загнивання; слабо розвивається коренева система; рослини погано засвоюють фосфор і погіршується їх білковий обмін; вони жовкнуть і дають низький врожай. За надмірних опадів у період досягання та збирання врожаю качани ушкоджуються грибними хворобами, що призводить до зниження врожаю зерна і погіршення його якості [4].

Незважаючи на те, рослини кукурудзи ефективно використовують воду, вважається, що вона більш потерпає від вологісного стресу, ніж інші

культури. Частково це зумовлено незвичайною структурою квіток, з окремими чоловічими та жіночими статевими органами, а частково тим, що всі суцвіття на одній рослині розвиваються в один і той же час. Якщо вологісний стрес відбувається під час їх розвитку, всі наступні фізіологічні процеси будуть порушені [11].

Кукурудза дуже чутлива до зрошення. Якщо вологість ґрунту під час росту і розвитку кукурудзи підтримується на рівні 70-80% найменшої вологоємності, то урожай зерна в степовій зоні збільшується в 3-3,5 рази у порівнянні з посівами, що знаходяться в умовах природного зволоження [12].

При вирощуванні кукурудзи на зрошенні поливи починають у фазі 8–11 листків і продовжують протягом 1,5–2 місяців, підтримуючи вологість ґрунту на рівні 70–75 % НВ. Поливна норма 400–500 м³ води на 1 га. У Степу в сухий рік поливають кукурудзу 3–4, в Лісостепу 2–3 рази. Після кожного поливу підсохлий ґрунт у міжряддях обов'язково розпушують [4].

2.2.3 Вимоги кукурудзи до світла

Навіть серед рослин, що засвоюють велику кількість світлової енергії, кукурудзі належить одне з перших місць. Цьому сприяє потужний розвиток асиміляційного листового апарату, що нерідко перевищує площу посіву в 3 – 5 разів, а в умовах поливного землеробства навіть більше.

Висока продуктивність кукурудзи обумовлена фізіологією фотосинтезу, великою площею листя, а також високою щільністю провідних пучків в них. Кукурудза належить до групи культур (в основному тропічного походження), які здійснюють асиміляцію вуглекислоти в процесі фотосинтезу за ефективною з енергетичної точки зору С₄ схемою. Це дає їй ряд істотних переваг у формуванні врожаю [11].

За даними Б.І. Гуляєва кукурудза має підвищений ККД ФАР (0,4-1,1% в порівнянні з 0,2-0,5% у пшениці). Приріст біомаси у кукурудзи становить 50-54 г / м² на добу, в той час як у рослин групи С₃ лише 34-39 г / м². Високий

коефіцієнт поглинання енергії сонячної радіації забезпечується ще й тим, що листя рослин кукурудзи містять значно більшу в порівнянні з іншими культурами кількість хлорофілу. Це сприяє створенню за короткі терміни високого врожаю, що обумовлює вимогливість кукурудзи до умов освітленості. Оптимум становить 27-32 люкс при тривалості світлового дня близько 12-14 годин.

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.

Один і той же гібрид утворює у північних районах більшу кількість міжвузлів і листків, ніж у південних [7].

Існує оптимальне співвідношення між розвитком листкової поверхні рослин, світловим режимом і продуктивністю рослин у посівах. Численні спостереження за кукурудзою дозволяють зробити висновок про те, що за сприятливих умов водопостачання та ґрунтового живлення оптимальною є площа листя 30-35 тис. м²/га [12].

За умов найбільш сприятливого світлового режиму відмічається й найбільш висока продуктивність рослин. При подальшому збільшенні листкової поверхні або згущенні посівів (а ці показники, як правило, взаємопов'язані) значно погіршується світловий режим, особливо середніх і нижніх листків; це знижує їх продуктивність, а в кінцевому рахунку і врожай.

За даними В.С. Цикова [13], оптимальна густина стояння рослин для ранньостиглих гібридів зернового напрямку становить у зоні Лісостепу 60-65 тис./га, середньоранніх – 55-60 тис./га, середньостиглих – 45-50 тис./га, середньопізніх – 30-35 тис./га. За даними урожайності зеленої маси, оптимальною для ранньостиглих гібридів є густина стояння рослин 120 тис. шт./га, для середньоранніх – 110-120 тис. шт./га, для середньостиглих –

90-100 тис. шт./га, а для середньопізніх – 90 тис. шт./га [14].

Значення світла, як найважливішого екологічного чинника не обмежується тільки його участю у фотосинтезі і тим самим у створенні врожаю рослин. Від світлового режиму залежить процес розвитку кукурудзи, що має істотне значення для селекційної практики та створення сортів, найбільш адаптованих до конкретних умов середовища.

2.2.4 Вимоги кукурудзи до ґрунтів та мінерального живлення

Вимоги кукурудзи до ґрунтів перебувають у взаємозв'язку із кліматичними умовами. При обмеженій вологості суглинкові ґрунти, як більш вологоємні, краще підходять для кукурудзи, ніж піщані. У північних регіонах за нестачі тепла й за підвищеної вологості для вирощування кукурудзи більш придатні добре окультурені легкі суглинкові, супіщані й піщані ґрунти, які навесні швидше прогріваються.

Найкращі умови для росту й розвитку створюються на чорноземах. У північних регіонах вирощування кукурудзи перевагу варто віддавати полям, захищеним від вітру й розташованим на південних схилах, але для запобігання водній ерозії кут ухилу поверхні ґрунту не повинен перевищувати 5°. Непридатними для вирощування кукурудзи є холодні й перезволожені ґрунти, особливо в північних регіонах. У північних регіонах через небезпеку заморозків не можна вирощувати кукурудзу й на болотистих ґрунтах.

Вимоги кукурудзи вищі до рівня культури землеробства, ніж до типу ґрунту. Кукурудза росте на будь-яких ґрунтах при рівні їх рН не нижче 5,6 і не вище 7,2 (слабо кислі, ближчі до нейтральних ґрунти). При високій кислотності ґрунту врожайність зменшується і при рН < 5,0 це зменшення може складати 30%.

Важкі за гранулометричним складом ґрунти, та ті, що легко ущільнюються ґрунти, так само, як засолені і перезволожені у зв'язку з

близьким заляганням ґрунтових вод, і ґрунти з підвищеною кислотністю менш придатні для обробітку кукурудзи. Щоб отримувати на таких ґрунтах високі стійкі врожаї зерна і зеленої маси, необхідна систематична робота з покращення цих ґрунтів [7].

Кукурудза погано переносить засолені ґрунти, особливо в посушливі роки, коли концентрація ґрунтового розчину значно підвищується [10]. Слід уникати солонців, однак вміле гіпсування може зробити їх придатними для вирощування кукурудзи. Перевагу слід віддавати солонцюватим ґрунтам з більш глибоким орним шаром (не менше 18 – 20 см).

Кукурудза досить вимоглива до підвищеного мінерального живлення і, як культура тривалого вегетаційного періоду, здатна засвоювати поживні речовини впродовж всього життєвого циклу. На створення 1 т зерна з відповідною кількістю листостеблової маси кукурудза споживає із ґрунту та добрив, в середньому, 24-30 кг азоту, 10-12 кг фосфору та 25-30 кг калію. Для формування урожаю зерна на рівні 4,5-5,0 т/га кукурудза виносить з ґрунту, в середньому, 110-150 кг азоту, 45-60 кг фосфору та 115-150 кг калію [4].

Таку кількість поживних речовин в доступних рослинам формах, навіть при високому рівні родючості, ґрунт не в змозі забезпечити. Тому добрива лишаються одним із найвпливовіших факторів підвищення врожайності культури. Дози внесення мінеральних добрив під посіви кукурудзи застосовують з урахуванням забезпеченості орного шару ґрунту рухомими елементами живлення та середнього виносу макроелементів з урожаєм основної і побічної продукції [15].

Рослини кукурудзи найбільш чутливі до нестачі азоту в період від цвітіння до утворення зерна. За недостатньої кількості азоту в цей період послаблюється ріст рослин, порушуються процеси формування генеративних органів. Нестача фосфору призводить до уповільнення росту рослин, деформування качанів, листки набувають фіолетового відтінку.

Дефіцит калію гальмує транспорт вуглеводів, негативно позначається на розвитку кореневої системи, уповільнює синтетичну діяльність листя [6].

Орієнтовні норми внесення мінеральних добрив наступні: у Степу – $N_{60-90}P_{60}K_{35-40}$, Лісостепу – $N_{120}P_{90}K_{90}$, Поліссі і західних областях – $N_{130}P_{100}K_{100}$. Крім цього вносять органічні добрива, зокрема, гній в Лісостепу та Поліссі в нормативному обсязі 30-40 т/га, в Степу – 20-30 т/га [16].

2.2.5 Сучасні гібриди і сорти кукурудзи

За врожайністю гібридне насіння кукурудзи значно перевищують насіння сортів. Найбільшу прибавку врожаю дає гібридне насіння першого покоління. За способом отримання гібриди можуть бути міжсортіві (від схрещування двох різних сортів), сортолінійні (від схрещування сорту із самоzapильною лінією) та міжлінійні (від схрещування самоzapильних ліній).

Міжлінійні гібриди бувають прості (від схрещування двох самоzapильних ліній), подвійні (від схрещування двох простих міжлінійних гібридів), трілінійні (від схрещування простого міжлінійного гібрида з лінією) та п'ятилінійні (від схрещування трілінійного та простого міжлінійного гібридів).

За тривалістю вегетаційного періоду гібриди і сорти кукурудзи поділяють на ранньостиглі (період вегетації - 90-100 днів), середньоранні (105-115), середньостиглі (115-120), середньопізні (120-130) та пізньостиглі (135-140 днів).

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.

До найпоширеніших і перспективних гібридів і сортів належать:

- у Степу: Гарантія, Кипарис, Окато, Русич, Свितязь, Серпанок та ін.
- середньоранні: Бенефіс, Дніпро, Манакор, Моноліт та ін.
- середньостиглі: Атлас, Софія, Галактик та ін.
- середньопізні;

- у Лісостепу: Вимпел МВ, Вікторія, Легенда, Пам'ять Чупікова, Рушник СВ, Символ МВ, Слобожанський МВ, Харківський 291 МВ та ін. - середньоранні; Богдан, Візир, ДН Галетея, Донар МВ, Злагода МВ, Командос, Мрія, Харківський 329 МВ та ін. - середньостиглі;

- на Поліссі: Аврора, Борей, Депутат МВ, Етюд, Лада, Немирів, Подих МВ, Чумак - ранньостиглі; Артуро, Афіна, Аякс, Богатир, Борець МВ, Гамлет, ДН Орлик, ДН Рубін, Елегія МВ, Еней 220 СВ, Жайвір 198 МВ, Капітал МВ, Кардинал, Кремінь 200 СВ, Лелека МВ, Світанок МВ та ін. - середньоранні.

Для досягнення стійкого виробництва і надійного визрівання зерна, а також для скорочення витрат енергії та палива на збирання врожаю необхідно дотримуватись орієнтованого співвідношення різних біотипів кукурудзи в агрокліматичних зонах:

- у лісостеповій: ранньостиглих - 25-35 %; середньоранніх - 55-65 %; середньостиглих - 5-15 %;

- у степовій південній: ранньостиглих-5-10 %; середньоранніх- 25-35 %; середньостиглих - 55-65 %;

- у степовій східній: ранньостиглих - 10-20 %; середньоранніх - 30-40%; середньостиглих - 45-55 % [6].

3 АНАЛІЗ ДИНАМІКИ УРОЖАЙНОСТІ КУКУРУДЗИ В ЛІСОСТЕПОВИХ ОБЛАСТЯХ УКРАЇНИ

Для аналізу динаміки урожайності кукурудзи використовувалися щорічні середньо обласні дані по урожайності культури на території дослідження за період з 1999 по 2015 роки, за даними обласного управління статистики. Розрахунок трендів здійснювався за методом гармонійних вагів, який в агрометеорології вперше запропонував А.М. Польовий [17].

3.1 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Вінницькій області

Як видно з рис. 3.1, з 1999 до 2014 року відбувалось поступове прямолінійне збільшення трендової компоненти, що свідчить про підвищення рівня культури землеробства за цей період. Так, на початку періоду дослідження урожайність за трендом складала 33,8 ц/га, а до 2014 року зросла до 75,9 ц/га, тобто більш ніж на 40%.

Середня за роки досліджень урожайність склала 52,7 ц/га. Тенденція урожайності, визначена за допомогою методу гармонійних вагів, додатна і складає 2,2 ц/га.

Протягом зазначеного періоду спостерігалися значні коливання фактичної урожайності кукурудзи на території дослідження. Наприклад, протягом перших десяти років дослідження (1999-2008 рр.) вона не піднімалась вище 50 ц/га. У 1999, 2000 та 2007 рр. було зібрано найменші урожаї – 26, 36 та 35,5 ц/га відповідно. У 2011, 2013 та 2014 рр. спостерігалися найвищі урожаї – 74,9, 80,7 та 82,6 ц/га відповідно.

Для виявлення в чистому виді впливу погодних умов окремих років на формування врожаю кукурудзи в Вінницькій області, розглянемо відхилення фактичних урожаїв від лінії тренду (рис. 3.2). Найбільш несприятливими для вирощування кукурудзи були 2007, 2012 та

2015 рр., саме у ці роки спостерігалися найбільші від'ємні відхилення від лінії тренду $-14,3$; $10,1$ та $24,9$ ц/га відповідно. Це свідчить про несприятливі погодні умови, що склалися протягом цих років.

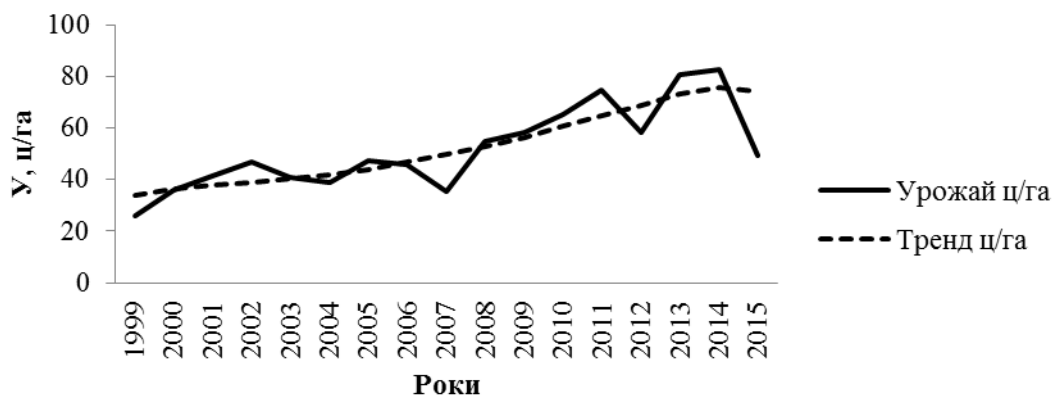


Рисунок 3.1 – Динаміка урожайності зерна кукурудзи та лінія тренду в Вінницькій області

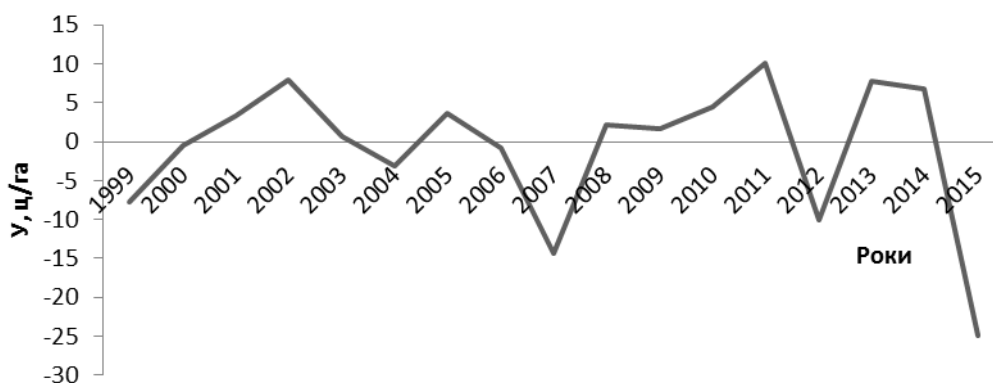


Рисунок 3.2 – Відхилення урожайності зерна кукурудзи від лінії тренду в Вінницькій області

У роки ж зі сприятливими погодними умовами вдавалося отримати збільшення врожаю за їх рахунок і відхилення від лінії тренду мали додатні значення. Найбільш сприятливими для вирощування кукурудзи були 2011 та 2002 рр., коли додатне відхилення від лінії тренду склало 10 та 8 ц/га відповідно. Як можна бачити з рисунка, також невеликі прирости урожаю за

рахунок сприятливих погодних умов було отримано у 2013 р. – 7,7 ц/га та у 2014 – 6,7 ц/га.

3.2 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Чернівецькій області

На рис. 3.3 видно, що з 1999 до 2015 року відбувалось поступове прямолінійне збільшення трендової компоненти, завдяки підвищенню рівня культури землеробства за цей період. На початку періоду дослідження урожайність за трендом складала 36,6 ц/га, а до 2014 року зросла до 59,5 ц/га, тобто більш ніж на 20%.

Середня за роки досліджень урожайність склала 48,6 ц/га. Протягом зазначеного періоду спостерігалися незначні коливання фактичної урожайності кукурудзи на території дослідження. З 2011 по 2015 роки спостерігається підвищення фактичної урожайності. У 1999 році було зібрано найменше урожаю – 32 ц/га. У 2013 та 2014 рр. спостерігалися найвищі урожаї – 60,8 та 63,4 ц/га відповідно.

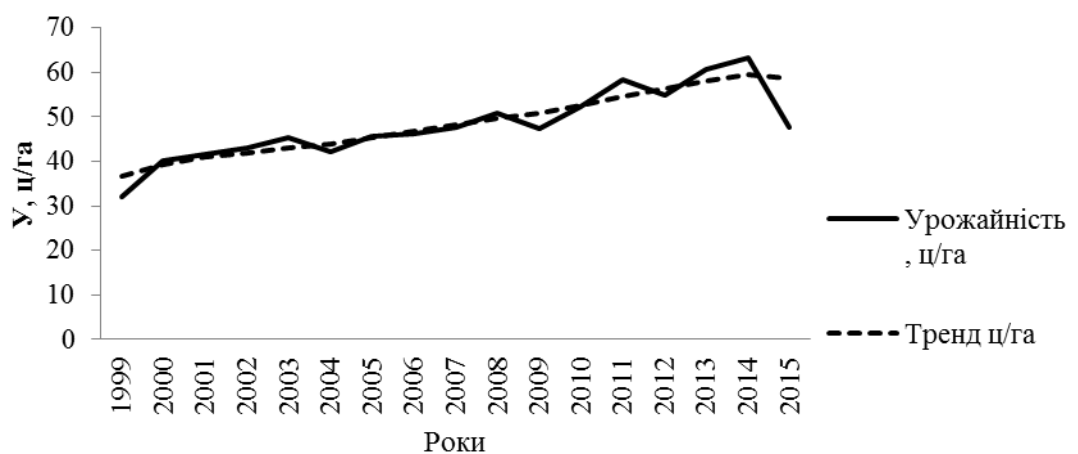


Рисунок 3.3 – Динаміка урожайності зерна кукурудзи та лінія тренду в Чернівецькій області

Були розглянуті відхилення фактичних урожаїв від лінії тренду для виявлення в чистому виді погодних умов окремих років формування врожаю

кукурудзи в Чернівецькій області. Найбільш несприятливими для вирощування кукурудзи були 1999 та 2015 роки, саме у ці роки спостерігалися найбільші відхилення від лінії тренду – 4,6 та 10,8 ц/га відповідно. На протязі цих років спостерігалися несприятливі погодні умови.

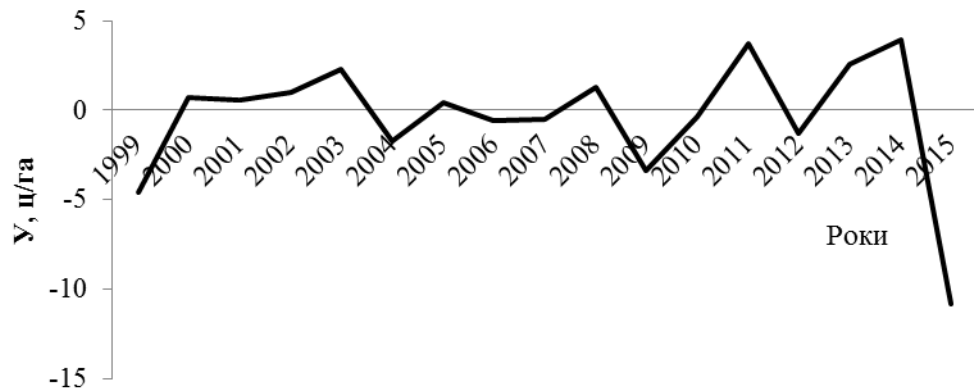


Рисунок 3.4 – Відхилення урожайності зерна кукурудзи від лінії тренду в Чернівецькій області

3.3 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Черкаській області

Як видно з рис. 3.5, з 1999 до 2015 року відбувалось поступове прямолінійне збільшення трендової компоненти, що свідчить про підвищення рівня культури землеробства за цей період. Так, на початку періоду дослідження урожайність за трендом складала 37,4 ц/га, а до 2015 року зросла до 78,3 ц/га, тобто більш ніж на 40%.

Середня за роки досліджень урожайність склала 56,8 ц/га. Протягом зазначеного періоду спостерігалися значні коливання фактичної урожайності кукурудзи на території дослідження. Наприклад, протягом перших десяти років дослідження (1999-2008 рр.) вона не піднімалась вище 60 ц/га. У 2011, 2013, 2014 та 2015 рр. було зібрано найбільші урожаї – 91,1; 78,4; 70,2 та 71,1 ц/га відповідно. Найменше урожаю було зібрано в 1999 році – 29 ц/га.

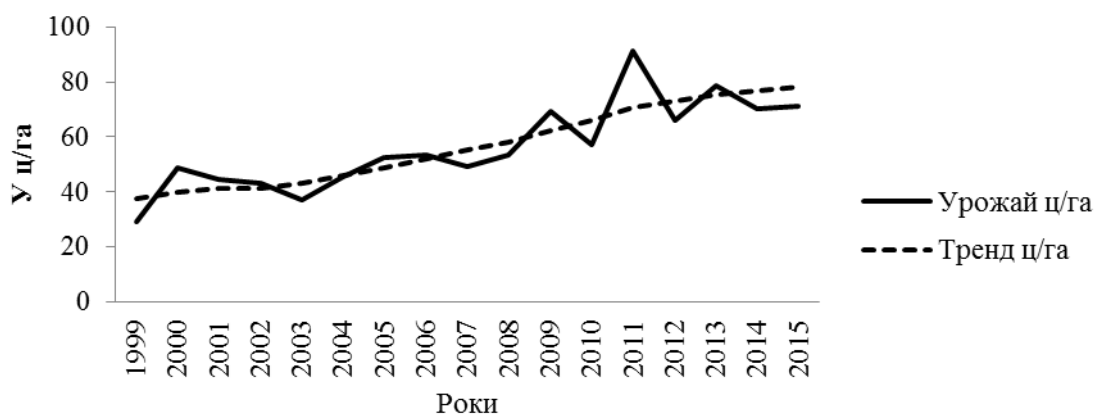


Рисунок 3.5 – Динаміка урожайності зерна кукурудзи та лінія тренду в Черкаській області

Для виявлення в чистому виді впливу погодних умов окремих років на формування врожаю кукурудзи в Черкаській області, розглянемо відхилення фактичних урожаїв від лінії тренду (рис.3.6). Несприятливими для вирощування кукурудзи були 1999 та 2010 рр., саме у ці роки спостерігалися незначні від’ємні відхилення від лінії тренду $-8,4$ та $8,8$ ц/га відповідно. Це свідчить про несприятливі погодні умови, що склалися протягом цих років. Найбільш сприятливим роком був 2011, саме в цьому році відбувся значний стрибок від лінії тренду- $20,6$ ц/га.

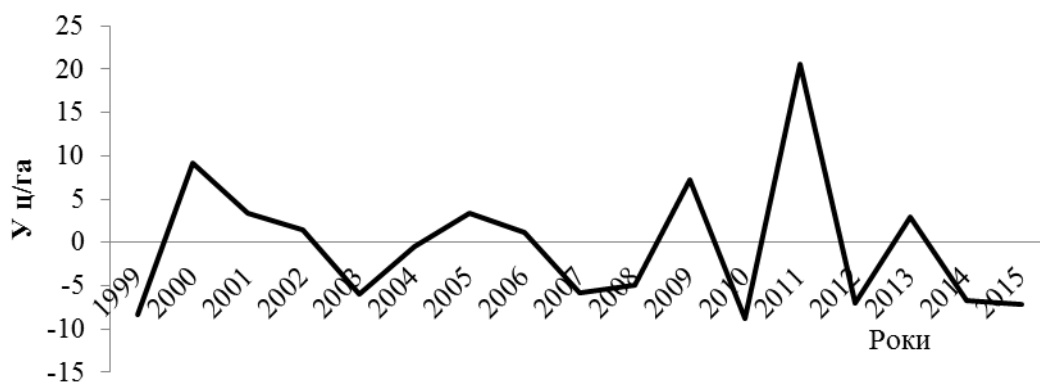


Рисунок 3.6 – Відхилення урожайності зерна кукурудзи від лінії тренду в Черкаській області

3.4 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Київській області

Як видно з рис. 3.7, з 1999 до 2015 року відбувалось поступове прямолінійне збільшення трендової компоненти, що свідчить про підвищення рівня культури землеробства за цей період. Так, на початку періоду дослідження урожайність за трендом складала 37,9 ц/га, а до 2015 року зросла до 74,4 ц/га, тобто більш ніж на 40%.

Середня за роки досліджень урожайність склала 57,9 ц/га. Протягом зазначеного періоду спостерігалися значні коливання фактичної урожайності кукурудзи на території дослідження. За цей період було зібрано найбільше урожаю в 2011 році – 80,4 ц/га, а в 1999 році -найменше урожаю - 32 ц/га.

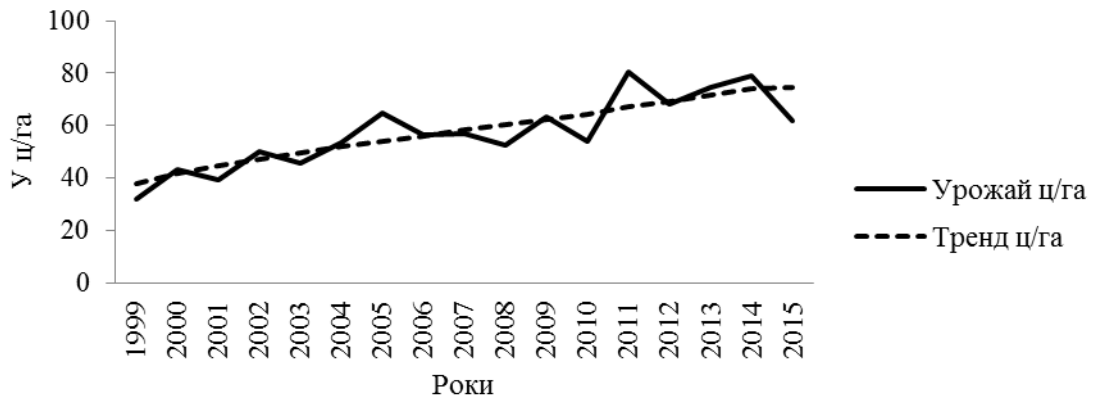


Рисунок 3.7 – Динаміка урожайності зерна кукурудзи та лінія тренду в Київській області

Для виявлення в чистому виді впливу погодних умов окремих років на формування врожаю кукурудзи в Київській області, розглянемо відхилення фактичних урожаїв від лінії тренду (рис.3.8). Несприятливими для вирощування кукурудзи були 2010 та 2015 рр., саме у ці роки спостерігалися від’ємні відхилення від лінії тренду –10,3 та 12,5 ц/га відповідно. Це свідчить про несприятливі погодні умови, що склалися протягом цих років.

У роки ж зі сприятливими погодними умовами вдавалося отримати збільшення врожаю за їх рахунок і відхилення від лінії тренду мали додатні

значення. Найбільш сприятливими роками були 2005 та 2011, коли додатне відхилення від лінії тренду склало 10,7 та 13,1 ц/га відповідно.

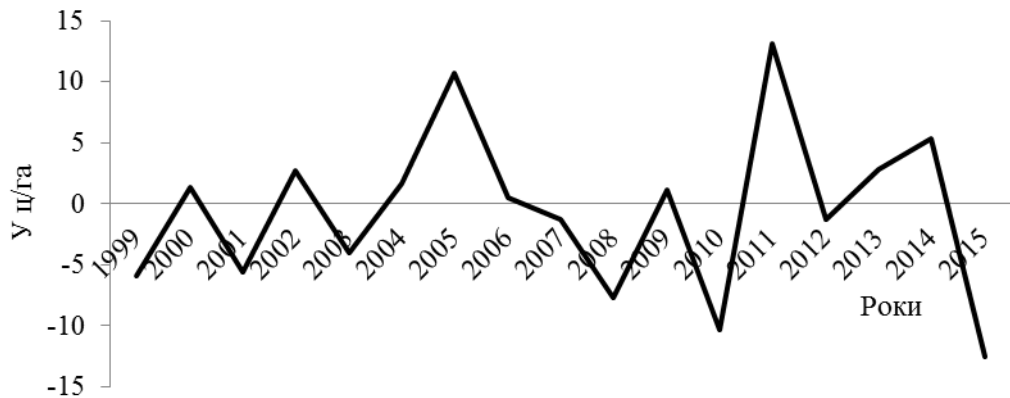


Рисунок 3.8 – Відхилення урожайності зерна кукурудзи від лінії тренду в Київській області

3.5 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Полтавській області

Як видно з рис. 3.9, з 1999 до 2015 року відбувалось поступове прямулінійне збільшення трендової компоненти, що свідчить про підвищення рівня культури землеробства за цей період. Так, на початку періоду дослідження урожайність за трендом складала 26,4 ц/га, а до 2015 року зросла до 69 ц/га, тобто більш ніж на 40%.

Середня за роки досліджень урожайність склала 48,3 ц/га. Протягом зазначеного періоду спостерігалися значні коливання фактичної урожайності кукурудзи на території дослідження. Наприклад, протягом перших дванадцяти років дослідження (1999-2010 рр.) вона не піднімалась вище 60 ц/га. У 1999, 2000, 2001 та 2002 рр. було зібрано найменші урожаї – 27, 33, 28,1 та 34 ц/га відповідно. У 2011, 2013, 2014 та 2015 рр. спостерігалися найвищі урожаї – 78,9, 68,9, 58,1 та 73 ц/га відповідно.



Рисунок 3.9 – Динаміка урожайності зерна кукурудзи та лінія тренду в Полтавській області

Для виявлення в чистому виді впливу погодних умов окремих років на формування врожаю кукурудзи в Полтавській області, розглянемо відхилення фактичних урожаїв від лінії тренду (рис. 3.10). Найбільш несприятливими для вирощування кукурудзи були 2010, 2012 та 2014 рр., саме у ці роки спостерігалися найбільші від’ємні відхилення від лінії тренду – 13,0, 13,9 та 7,2 ц/га відповідно. Це свідчить про несприятливі погодні умови, що склалися протягом цього року.

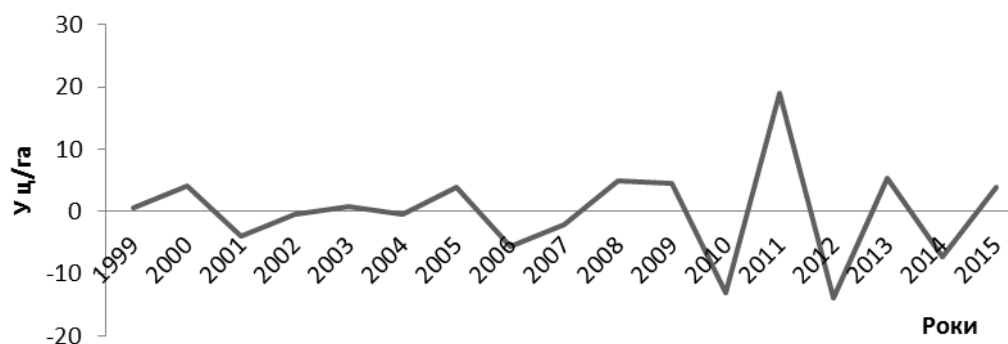


Рисунок 3.10 – Відхилення урожайності зерна кукурудзи від лінії тренду в Полтавській області

Найбільш сприятливими для вирощування кукурудзи був 2011 рік, коли додатне відхилення від лінії тренду склало 19,1 ц/га.

3.6 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Сумській області

Як видно з рис. 3.11, з 1999 до 2015 року відбувалось поступове пряmolінійне збільшення трендової компоненти, що свідчить про підвищення рівня культури землеробства за цей період. Так, на початку періоду дослідження урожайність за трендом складала 23,2 ц/га, а до 2015 року зросла до 80 ц/га, тобто більш ніж на 60%.

Середня за роки досліджень урожайність склала 45,6 ц/га. Протягом зазначеного періоду спостерігалися незначні коливання фактичної урожайності кукурудзи на території дослідження. Наприклад, лише в 2013, 2014 та 2015 урожайність піднялась вище 70 ц/га. У 1999, 2001 рр. було зібрано найменші урожаї – 22 та 24 ц/га відповідно. У 2013, 2014 та 2015 рр. спостерігалися найвищі урожаї – 75,9, 82,1 та 76,6 ц/га відповідно.

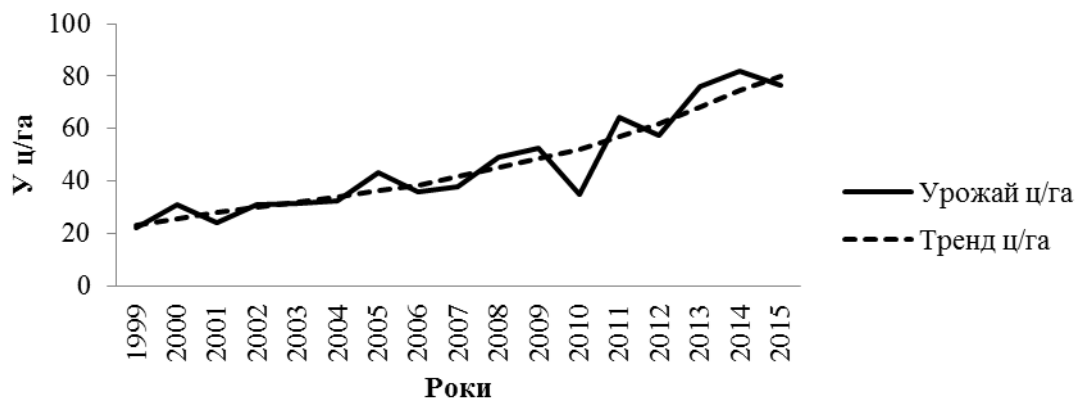


Рисунок 3.11 – Динаміка урожайності зерна кукурудзи та лінія тренду в Сумській області

Для виявлення в чистому виді впливу погодних умов окремих років на формування врожаю кукурудзи в Сумській області, розглянемо відхилення фактичних урожаїв від лінії тренду (рис. 3.12). Найбільш несприятливими для вирощування кукурудзи був 2010 рік, саме у цей рік спостерігалось найбільш від'ємне відхилення від лінії тренду –17,2ц/га. Це свідчить про несприятливі погодні умови, що склалися протягом цього року.

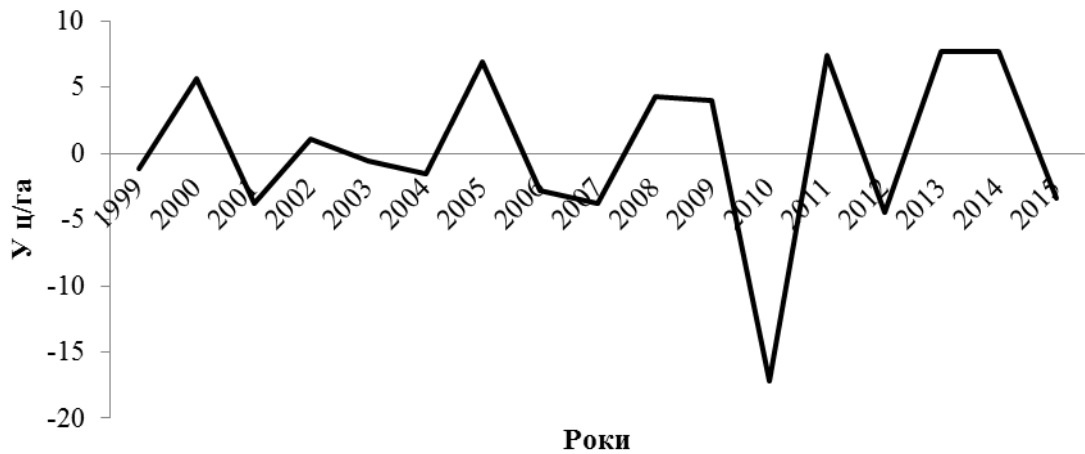


Рисунок 3.12 – Відхилення урожайності зерна кукурудзи від лінії тренду в Сумській області

У роки ж зі сприятливими погодними умовами вдавалося отримати збільшення врожаю за їх рахунок і відхилення від лінії тренду мали додатні значення. Найбільш сприятливими для вирощування кукурудзи були 2005, 2013 та 2014 рр., коли додатне відхилення від лінії тренду склало 6,9, 7,7 та 7,7 ц/га відповідно.

3.7 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Тернопільській області

На рис. 3.13 видно що з 1999 до 2015 року відбувалось поступове прямолінійне збільшення трендової компоненти, завдяки підвищенню рівня культури землеробства за цей період. На початку періоду дослідження урожайність за трендом складала 26,2 ц/га, а до 2015 року зросла до 76,4 ц/га, тобто більш ніж на 50%.

Середня за роки досліджень урожайність склала 49,0 ц/га. Протягом зазначеного періоду спостерігалися незначні коливання фактичної урожайності кукурудзи на території дослідження. Наприклад, протягом перших дванадцяти років дослідження (1999-2010 рр.) вона не піднімалась вище 60 ц/га. У 1999, 2000 рр. було зібрано найменші урожаї – 23 та 29 ц/га

відповідно. У 2012, 2013 та 2014 рр. спостерігалися найвищі урожаї – 71,4, 75,5 та 77,5 ц/га відповідно.



Рисунок 3.13 – Динаміка урожайності зерна кукурудзи та лінія тренду в Тернопільській області

Для виявлення в чистому виді впливу погодних умов окремих років на формування врожаю кукурудзи в Тернопільській області, розглянемо відхилення фактичних урожаїв від лінії тренду (рис. 3.14). Найбільш несприятливими для вирощування кукурудзи був 2015 рік, саме у цей рік спостерігалось найбільш від’ємне відхилення від лінії тренду – 12,9ц/га. Це свідчить про несприятливі погодні умови, що склалися протягом цього року.

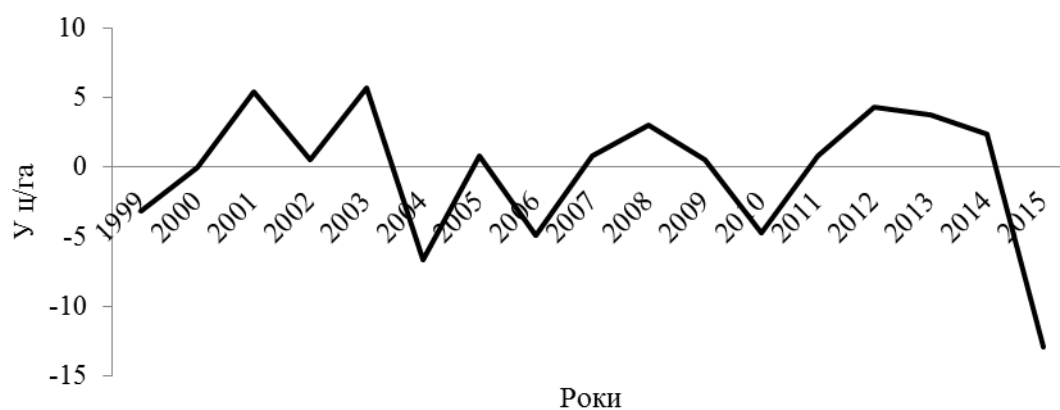


Рисунок 3.14 – Відхилення урожайності зерна кукурудзи від лінії тренду в Тернопільській області

У роки ж зі сприятливими погодними умовами вдавалося отримати збільшення врожаю за їх рахунок і відхилення від лінії тренду мали додатні значення. Найбільш сприятливими для вирощування кукурудзи були 2001, 2003 та 2012 рр., коли додатне відхилення від лінії тренду склало 5,4, 5,7 та 4,3 ц/га відповідно.

3.8 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Харківській області

На рис. 3.15 видно що з 1999 до 2015 року відбувалось поступове прямолінійне збільшення трендової компоненти, завдяки підвищенню рівня культури землеробства за цей період. На початку періоду дослідження урожайність за трендом складала 22,1 ц/га, а до 2015 року зросла до 53,4 ц/га, тобто більш ніж на 20%.

Середня за роки досліджень урожайність склала 36,1 ц/га. Протягом зазначеного періоду спостерігалися незначні коливання фактичної урожайності кукурудзи на території дослідження. У 1999, 2000, 2002 та 2010 рр. було зібрано найменші урожаї – 14,26, 29 та 26 ц/га відповідно. У 2011 та 2015 рр. спостерігалися найвищі урожаї – 56,5 та 54,1 ц/га відповідно.

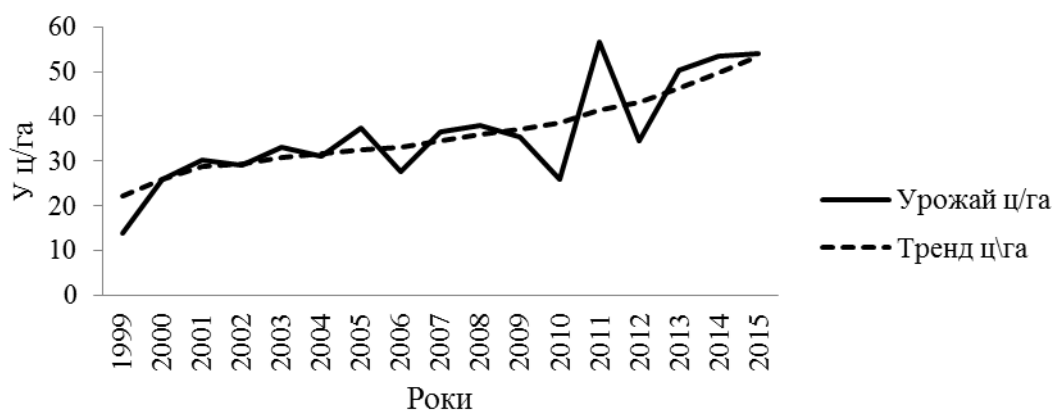


Рисунок 3.15 – Динаміка урожайності зерна кукурудзи та лінія тренду в Харківській області

Для виявлення в чистому виді впливу погодних умов окремих років на формування врожаю кукурудзи в Харківській області, розглянемо відхилення фактичних урожаїв від лінії тренду (рис. 3.16). Найбільш несприятливими для вирощування кукурудзи були 1999, 2010 та 2012 рр., саме у ці роки спостерігалися найбільші від'ємні відхилення від лінії тренду $-8,1, 12,6$ та $8,7$ ц/га відповідно. Це свідчить про несприятливі погодні умови, що склалися протягом цього року.

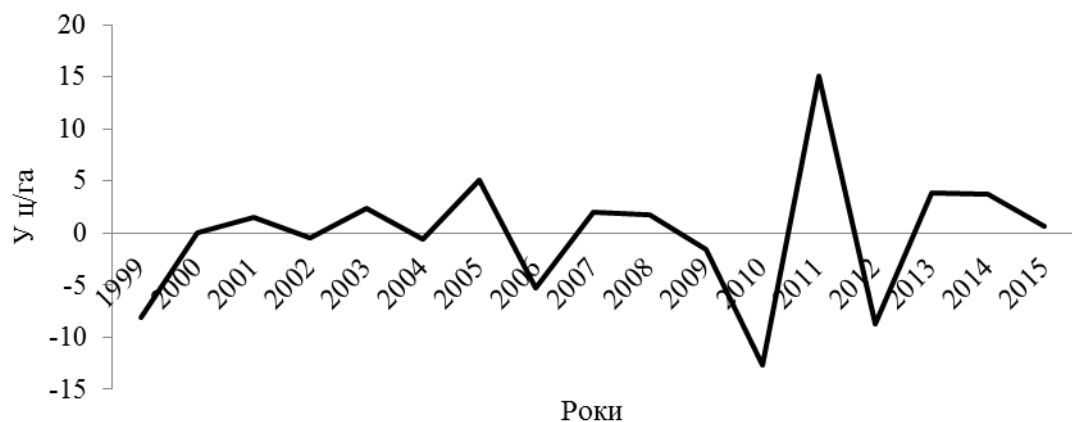


Рисунок 3.16 – Відхилення урожайності зерна кукурудзи від лінії тренду в Харківській області

У роки ж зі сприятливими погодними умовами вдавалося отримати збільшення врожаю за їх рахунок і відхилення від лінії тренду мали додатні значення. Найбільш сприятливим для вирощування кукурудзи був 2011 рік, коли додатне відхилення від лінії тренду склало $15,1$ ц/га.

3.9 Аналіз динаміки урожайності кукурудзи в Хмельницькій області

На рис. 3.17 видно що з 2006 до 2015 року відбувалось поступове пряmolінійне збільшення трендової компоненти, завдяки підвищенню рівня культури землеробства за цей період. На початку періоду дослідження

урожайність за трендом складала 39,9 ц/га, а до 2015 року зросла до 75,3 ц/га, тобто більш ніж на 30%.

Середня за роки досліджень урожайність склала 53,4 ц/га. Протягом зазначеного періоду спостерігалися незначні коливання фактичної урожайності кукурудзи на території дослідження. У 1999 році було зібрано найменший урожай – 32 ц/га. У 2013 та 2014 рр. спостерігалися найвищі урожаї – 72,6 та 82,4 ц/га відповідно.

Для виявлення в чистому виді впливу погодних умов окремих років на формування врожаю кукурудзи в Хмельницькій області, розглянемо відхилення фактичних урожаїв від лінії тренду (рис.3.18). Найбільш несприятливими для вирощування кукурудзи був 2015 рік, саме у цей рік спостерігалось найбільш від’ємне відхилення від лінії тренду –15,1ц/га. Це свідчить про несприятливі погодні умови, що склалися протягом цього року.

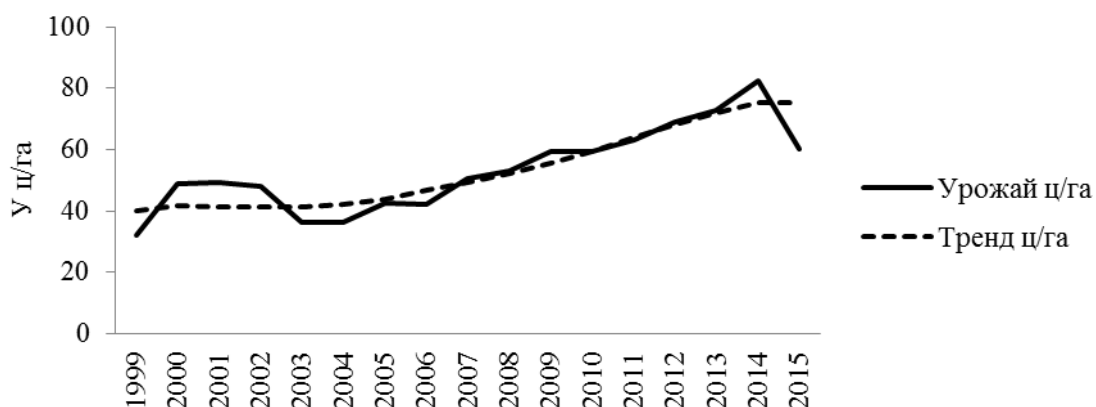


Рисунок 3.17 – Динаміка урожайності зерна кукурудзи та лінія тренду в Харківській області

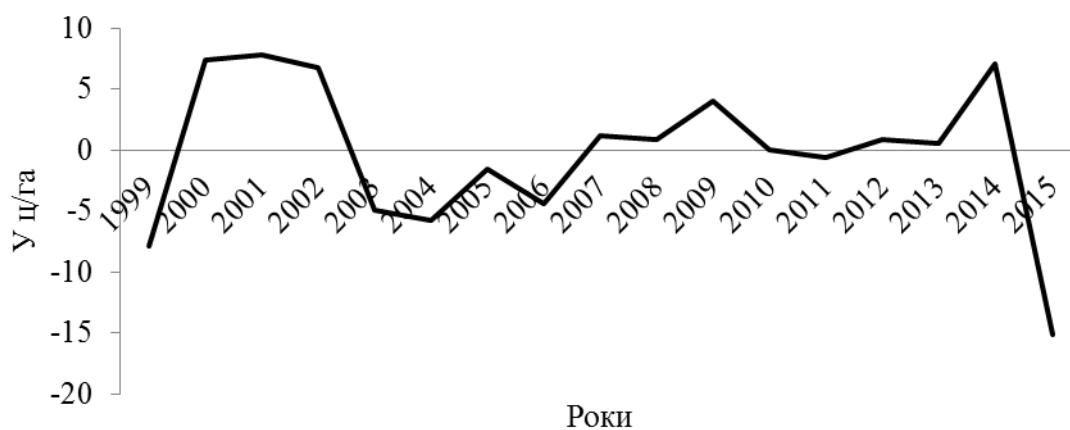


Рисунок 3.18 – Відхилення урожайності зерна кукурудзи від лінії тренду в Харківській області

У роки ж зі сприятливими погодними умовами вдавалося отримати збільшення врожаю за їх рахунок і відхилення від лінії тренду мали додатні значення. Найбільш сприятливим для вирощування кукурудзи був 2001 рік, коли додатне відхилення від лінії тренду склало 7,8 ц/га.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ КУКУРУДЗИ ТА ПОКАЗНИКИ ФОТОСИНТЕТИЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ЙОГО ПОСІВІВ У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

4.1 Сучасний стан досліджень проблеми зміни клімату

Зміна клімату внаслідок глобального потепління є однією із проблем XXI століття. Вона характеризується різними проявами, серед яких провідними є зміна частоти та інтенсивності кліматичних аномалій та екстремальних (небезпечних) погодних явищ. За прогнозами провідних вчених та спеціалістів в найближчі десятиріччя зміни клімату за своїми розмірами та інтенсивністю будуть переважати ті тенденції, які спостерігались в останнє десятиріччя [18].

При зміні клімату відбувається зміна природних ресурсів. Сучасне потепління викликає вже зараз значну зміну агрокліматичних умов росту, розвитку та формування продуктивності сільськогосподарських культур. Воно супроводжується істотним підвищенням температури повітря у зимові місяці, збільшенням кількості тривалих відлиг, часового зрушення розвитку природних процесів, змінами тривалості сезонів року, подовженням беззаморозкового періоду та тривалості вегетаційного періоду сільськогосподарських культур, збільшенням теплозабезпеченості вегетаційного періоду.

Можливе зростання частоти екстремальних погодних явищ, загальне зниження вологості ґрунтів та зменшення їхньої родючості, виснаження ресурсів прісної води у південних регіонах країни, деградація ґрунтів. Разом з тим, основною особливістю потепління стала нерівномірність випадіння опадів за окремі періоди року, що призвело до збільшення посушливих явищ. Посухи нерідко співпадають з суховіями, спричиняючи пошкодження рослин

у різних фазах розвитку та зменшують їхню продуктивність. У зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря у Північній півкулі продовольча безпека України в значній мірі буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату.

Врахуванню кліматично зумовлених природних ресурсів завжди надавалось велике значення, особливо в галузі сільськогосподарського виробництва через те, що зміна клімату спричиняє зміну кліматичних ресурсів.

Кліматичні зміни на майбутнє розраховуються з використанням кліматичних моделей. Глобальні кліматичні моделі є основними інструментами, що використовуються для проектування тривалості та інтенсивності змін клімату в майбутньому. Ці моделі розраховують майбутні кліматичні режими на основі низки сценаріїв зміни антропогенних факторів.

В даний час найбільш актуальні модельні дані з високим просторовим дозволом надає проект EURO-CORDEX. На підставі цих даних був виконаний детальний аналіз майбутніх змін клімату в Європі [19]. Згідно з проведеними дослідженнями, до кінця 21 століття очікується статистично значуще збільшення температури повітря і осадків на території Європи, і в тому числі України.

У даному дипломному проекті для кліматичних розрахунків використовується набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP). Репрезентативні траєкторії концентрацій – сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів [20].

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) [20, 21].

Дослідження, що проводяться в Одеському державному екологічному університеті, стосуються питання майбутньої кліматичної мінливості за допомогою регіональних моделей [22, 18] і охоплюють територію України. Ці дослідження не мають аналогів в Україні та знаходяться на рівні сучасних світових аналогів.

Аналогічні дослідження сезонних та річних значень температури повітря та опадів, проведені в Білорусі [23] добре узгоджуються з результатами дослідників ОДЕКУ та свідчать про те, що величина мінливості температури повітря та опадів у більшості випадків залежить від сценарію концентрації парникових газів. Найменші величини змін характерні для найбільш сприятливого сценарію з найменшою концентрацією парникових газів до 2100 р. – RCP2.6, найбільші зміни – для найбільш агресивного сценарію RCP8.5.

4.2 Сучасний стан моделювання продуктивності кукурудзи в Україні

Ріст, розвиток рослин та формування врожаю - це складна сукупність цілого ряду фізіологічних процесів, інтенсивність та спрямованість яких визначається генотипом та факторами зовнішнього середовища, з яких вирішальний вплив має клімат. Саме від особливостей клімату району вирощування залежить кількість та якість урожаїв.

На даному етапі розвитку наукових знань особливо важливим є застосування методів математичного моделювання для оцінки впливу кліматичних змін на продукційний процес сільськогосподарських культур. Математичні моделі дають змогу найбільш повно врахувати причинно-наслідковий зв'язок між погодними умовами (кліматичними змінами) та продуктивністю сільськогосподарських культур.

У залежності від підходів до розв'язання проблеми виділяються три напрямки в розвитку моделей і методів прогнозів врожайності:

- статистичний, коли ведеться розробка моделей, заснованих на статистичних закономірностях процесів впливу агрометеорологічних умов на формування продуктивності сільськогосподарських культур;

- фізико-статистичний, при якому ведеться більш повний, ніж в статистичних моделях, облік апріорної інформації про фізичні механізми процесів формування урожаю;

- динамічний, заснований на динамічних моделях формування врожайності, враховуючих вплив чинників зовнішнього середовища на основні процеси життєдіяльності рослин.

У статистичних моделях здійснюється пошук зв'язків між урожаєм і осередненими за фіксовані інтервали часу (календарні або міжфазні періоди) значеннями агрометеорологічних елементів або ж показників, що характеризують стан посівів в певний момент часу. При цьому звертається увага на виявлення чинників, які не тільки містять істотну інформацію про вплив умов, що склалися, на формування урожаю, але і характеризуються у певній мірі інерційністю.

Як математичний апарат звичайно використовується кореляційний і регресійний аналізи, що дозволяють отримувати кількісну залежність урожаю від перерахованих чинників.

Фізико-статистичні моделі формування урожаїв істотно відрізняються одна від одної. Загальною для них є тенденція до більш повного, ніж в статистичних моделях, врахування апріорної інформації про фізичні механізми процесів формування урожаю.

На підставі універсальної моделі В.П. Дмитренка [24], у якій враховується вплив на урожайність різних факторів у динаміці по періодах вегетації, а головним елементом є розрахунок показників продуктивності гідрометеорологічних елементів, свого часу були побудовані схеми

розрахунку урожайності озимої пшениці, ярого ячменю, кукурудзи, озимого жита, картоплі, цукрового буряку і соняшнику.

Але широке застосування цієї моделі ускладнюється наступними обставинами. По-перше, вона містить велику кількість емпіричних коефіцієнтів, які необхідно розрахувати для кожної природно-кліматичної зони. По-друге, часовий крок моделі – місяць або два місяці – дуже великий, таке осереднення не дозволяє досить добре оцінити вплив умов протягом більш коротких часових відрізків (декада). По-третє, модель реалізується за допомогою номограм і таблиць, що ускладнює її оперативне практичне застосування.

Динамічні моделі продукційного процесу рослин орієнтуються на їх використання в агрометеорологічних розрахунках та прогнозах, описують процеси фотосинтезу, дихання та росту. У цьому напрямку найбільш детальними, відомими та перспективними є динамічні моделі продуктивності сільськогосподарських культур, запропоновані професором А.М. Польовим [17, 25].

4.3 Алгоритм динамічної моделі продукційного процесу кукурудзи

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

- модель формування продуктивності агроєкосистеми[26];
- результати розробки моделі фотосинтезу зеленого листа рослин при зміні концентрації CO₂ в атмосфері [27].

Базова модель оцінки умов формування врожаю цукрового буряку 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 три підблоки: радіаційного та водно-теплого режиму посівів, функцій впливу температури повітря та вологозабезпеченості посівів на фотосинтез, комплекс оцінок умов міжфазних періодів, зниження врожайності за рахунок несприятливих умов в період росту качанів.

Біологічний блок включає в себе чотири підблоки: онтогенетичних кривих фотосинтезу; фотосинтезу та приросту рослинної маси; дихання та старіння рослин; мінерального живлення.

Блок росту включає себе чотири підблоки: маси листя; маси стебел; маси коріння; маси качанів та площі листкової поверхні.

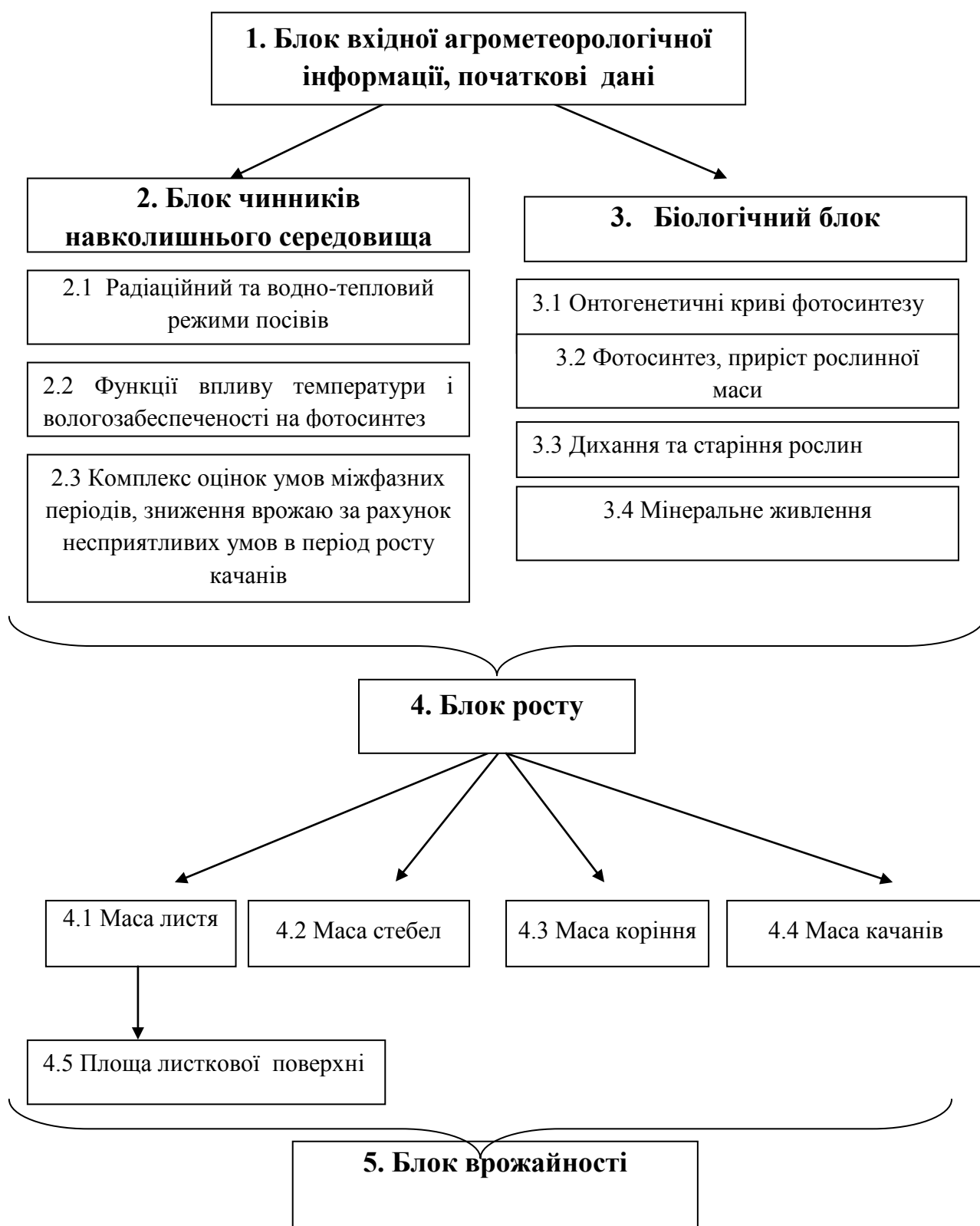


Рисунок 4.1 – Блок-схема динамічної моделі формування врожайності кукурудзи

4.3.1 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 $\text{CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$;

Φ_{\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 [28,29].

Для кількісного опису залежності фотосинтезу не тільки від щільності потоку ФАР, але і від вмісту CO_2 в атмосфері розглядають величину Φ_{\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 [30].

У онтогенезі фотосинтетична активність листя визначається його фізіологічним віком і напруженістю водно-теплового 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 листкової 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.

Приріст біомаси [17,25] посіву визначається різницею між сумарним фотосинтезом посіву і витратами на дихання:

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

4.3.2 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 коренеплодів:

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

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/м².

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

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

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

4.3.3 Підблок радіаційного та водно-теплого режимів посівів

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

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

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

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

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

Випаровуваність з посівів визначимо за рівнянням:

$$E_{\text{пот}} = 16,7(a_{\text{хар.}} Q_o - n_{\text{дек.}} b_{\text{хар.}}), \quad (4.12)$$

де $E_{\text{пот}}$ - випаровуваність посівів; $a_{\text{хар.}}$ і $b_{\text{хар.}}$ - параметри рівняння Харченко.

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

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

де E_{act} - сумарне випаровування посівів; $P_{зр.}$ - норма вегетаційного поливу; W_{HB} - найменша вологоємність в метровому шарі ґрунту; $\beta_{хар.}$ - параметр, який відображає особливості часового ходу випаровування в залежності від фази розвитку та біологічних особливостей культури; W - запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту [28,29].

4.4 Вплив змін клімату на агрокліматичні умови вегетаційного періоду кукурудзи у Вінницькій 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 + збільшення CO_2 в атмосфері з 380 до 437 ppm (сценарій RCP4.5) та до 455 ppm (сценарій RCP8.5).

Ідентифікація моделі формування урожайності сільськогосподарських культур виконана на основі середньобагаторічних матеріалів агрометеорологічних спостережень по Вінницькій 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.

Агрокліматичні показники температурного режиму вегетаційного періоду кукурудзи представлені наступними даними:

- дати сівби та основних фаз розвитку 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 випаровування та випаровуваність за вегетаційний період;
- вологозабезпеченість за період вегетації.

Результати розрахунків за базовими та кліматичними даними представлені у табл. 4.1. За даними 1986-2005 рр. (базовими), сівба кукурудзи у Вінницькій області відбувається 30 квітня.

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	Повна стиглість
1986-2005 рр,	30,04	16,05	16,07	15,09
<i>RCP4,5</i>	28,04	16,05	14,07	15,09
Різниця	-2	0	-2	0
<i>RCP8,5</i>	24,04	2,05	2,07	11,09
Різниця	-6	-14	-14	-4

Появлення сходів кукурудзи спостерігається у Вінницькій області 16 травня. За умов реалізації першого сценарію зміни клімату *RCP4.5* терміни

сівби кукурудзи змістяться на два дні раніше. На території Вінницької області сіяти культуру будуть 28 квітня, що на 2 дні раніше у порівнянні з базовим періодом 1986-2005 рр. Строки появи сходів не змінилися.

Аналізуючи результати досліджень за другим сценарієм *RCP8.5*, можна зробити наступні висновки. На території Вінницької області буде спостерігатися зміщення строків посіву в сторону більш ранніх термінів. Так, сівба тут буде проводитись 24 квітня, що на 6 днів раніше за базовий строк. У більш ранні строки будуть спостерігатися й сходи - 2 травня (на 14 днів раніше за базові значення).

Настання фази викидання волоті кукурудзи за базових умов у Вінницькій області спостерігається 16 липня. Повна стаглість кукурудзи спостерігається 15 вересня.

За умов реалізації першого сценарію зміни клімату *RCP4.5* терміни викидання волоті кукурудзи майже не змістяться. На території Вінницької області викидання волоті очікується 14 липня, що на 2 дні раніше у порівнянні з базовим періодом 1986-2005 рр. Строки настання повної стиглості кукурудзи не змінилися.

За умов реалізації другого сценарію зміни клімату *RCP8.5* фаза викидання волоті в умовах вінницької області очікується на 14 днів раніше, у порівнянні з базовим строком, а саме 2 липня. Настання повної стиглості очікується 11 вересня, тобто на 4 дні раніше за базових умов.

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

Характерною особливістю кукурудзи є те, що вони дуже вимогливі до тепла і світла. Від тривалості та інтенсивності сонячного освітлення та високих температур залежить ріст і розвиток рослин і особливо урожайність.

Тому при розрахунках приймалося, що за умов реалізації обох сценаріїв зміни клімату тривалість вегетаційного періоду кукурудзи суттєво

не зміниться, і згідно з біологічними особливостями культури, буде складати не менше 11 декад, починаючи з дати сходів.

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 – повна стиглість			Вегетаційний період			Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Вологозабезпеченість, %
	тривалість, дні	середня температура, °C	сума опадів, мм	тривалість, дні	середня температура, °C	сума опадів, мм	сума активних температур, °C	сума опадів, мм	у % від кліматичної норми			
1986–2005 рр,	62	17,4	186	62	17,7	182	1934	281	100			
<i>RCP4,5</i>	60	18	158	60	18,3	110	1855	222	96			
Різниця	-2	+0,6	-28	-2	+0,6	-72	-79	-59	-4			
Різниця, %	-3	3	-15	-3	3	-40	-4	-21	-4			
<i>RCP8,5</i>	61	17,7	176	71	15,5	137	1842	249	95			
Різниця	-1	+0,3	-10	+9	-2,2	-45	-92	-22	-5			
Різниця, %	-2	2	-5	15	-12	-25	-5	-11	-5			

Середньобагаторічна (базова) тривалість періоду сходи – викидання волоті становить 60 днів. У порівнянні з базовим варіантом у Вінницькій області тривалість періоду сходи – викидання волоті за умов реалізації обох сценаріїв зміни клімату незначно збільшиться (на один-два дні) до 62 днів (сценарій *RCP4.5*) та до 61 дня (сценарій *RCP8.5*). Середня температура за цей період становить за базовим варіантом 17,4 °С, за сценарними варіантами вона зміниться несуттєво. Так, період сходи – викидання волоті буде проходити при підвищених температурах: на 0,6°С за умов реалізації сценарію *RCP4.5* та на 0,3°С за умов реалізації сценарію *RCP8.5* (табл. 4.2).

Тривалість періоду викидання волоті – повна стиглість буде дещо коливатись. Якщо за базовим варіантом у Вінницькій області вона становить 62 дні, то за умов реалізації першого сценарію вона зменшиться до 60 днів (тобто на 2 дні), а за умов реалізації другого сценарію тривалість цього періоду зросте на дев'ять днів – до 71 дня.

У Вінницькій області середня температура за період викидання волоті – повна стиглість становить за базовим варіантом 17,7 °С. Коливаються і сценарні температури цього періоду (на 0,6 °С за умов реалізації сценарію *RCP4.5* і на -2,2 °С за умов реалізації сценарію *RCP8.5*).

Сума температур за вегетаційний період кукурудзи у Вінницькій області становить за базовим варіантом 1934°С. За умов реалізації сценарію *RCP4.5* вона зменшиться до 1855°С, тобто на 79°С. За умов реалізації сценарію *RCP8.5* це зменшення не буде більш суттєвим ніж в сценарії *RCP4.5* - до 1842°С, тобто на 92°С.

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 Вінницькій області становить 186 мм. Кількість опадів у період сходи – викидання волоті зменшиться за умов реалізації першого сценарію (становитиме 158 мм), а

для умов реалізації другого сценарію майже наздожене базовий варіант – 176 мм (- 5%).

За базовим варіантом кількість опадів за період викидання волоті – повна стиглість становить 182 мм. Зменшення опадів за цей період у Вінницькій області буде за умов реалізації обох сценаріїв досить суттєвим. За сценарієм *RCP4.5* сума опадів зменшиться до 110 мм (на 72 %). Кількість опадів за період викидання волоті – повна стиглість за умов реалізації сценарію *RCP8.5* становитиме 137 мм, тобто зменшиться на 45 %.

Сума опадів за вегетаційний період кукурудзи у Лісостепу за базовим варіантом становить 281 мм. За умов реалізації першого сценарію вона зменшиться до 222 мм, а за умов реалізації другого сценарію – до 249 мм. Таким чином кількість опадів за весь вегетаційний період кукурудзи при зміні клімату зменшиться на 59 % та на 22 % відповідно.

Зменшення кількості опадів за вегетаційний період призведе до зменшення сумарного випаровування в порівнянні з базовим (355 мм) до 328 мм за умов реалізації сценарію *RCP4.5* і до 343 мм за умов реалізації сценарію *RCP8.5*. У відсотковому співвідношенні ці зміни складають 8% та 3% відповідно, тобто сценарне зменшення сумарного випаровування не є дуже суттєвим.

Завдяки зниженню температурного режиму в Поліссі та зменшенню величини дефіциту вологості повітря за умов реалізації обох сценаріїв дещо зменшиться і величина випаровуваності. При базовому значенні 428 мм, випаровуваність за першим сценарієм зменшиться до 390 мм, а за другим сценарієм до 400 мм.

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 цукрового буряку в Житомирській області за умов реалізації сценарію *RCP4.5* протягом 2021-

2050 рр. майже не зміняться, про що свідчить значення 84%, тоді як базове значення вологозабезпеченості складає 83%. За умов реалізації сценарію *RCP8.5* умови вологозабезпеченості у порівнянні з базовим значенням покращаться більш суттєво і значення вологозабезпеченості складатиме 86%.

4.5 Оцінка впливу змін клімату на показники фотосинтетичної продуктивності посівів та урожайність кукурудзи в зв'язку зі зміною клімату

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 Вінницької 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.

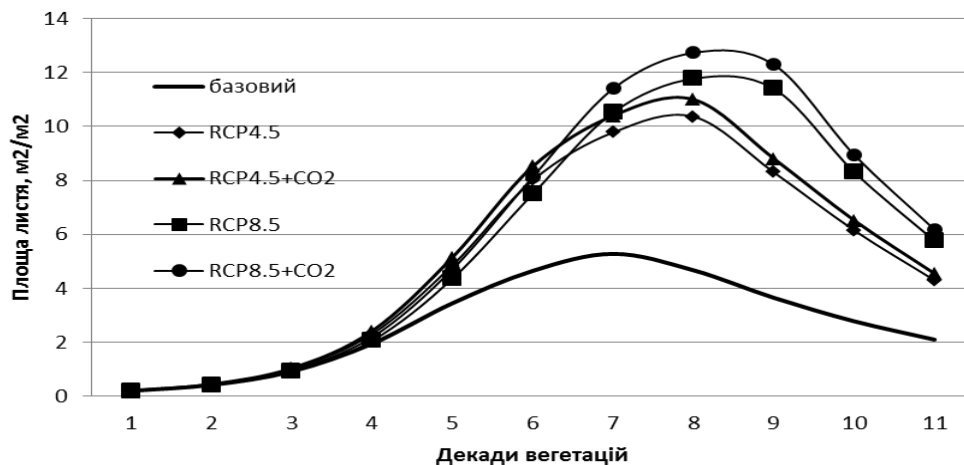


Рисунок 4.2 - Динаміка накопичення відносної площі листя посіву кукурудзи за сценаріями *RCP4.5* та *RCP8.5* у порівнянні з базовим періодом

На рисунку 4.2 представлена динаміка накопичення відносної площі листя кукурудзи в умовах зміни клімату за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) для умов Вінницької області.

Можна бачити, що ріст відносної площі листя посіву кукурудзи найбільш інтенсивно проходить у шосту - сьому декади вегетації, а у 8 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 Вінницькій області відбудеться підвищення максимальної відносної площі листя до $10,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (проти $5,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$ у базовий період). За умов збільшення CO_2 максимальна відносна площа листя збільшиться до $11,0 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Як видно з даних таблиці 4.3, зміна кліматичних умов та збільшення вмісту CO_2 в умовах реалізації цього сценарію призведе до підвищення відносної площі листя в декаду з її максимальними значеннями на 5.1 та 5.7 $\text{м}^2/\text{м}^2$, що становить 96-108 % відповідно.

За рахунок зміни кліматичних умов за сценарієм RCP8.5 періоду у Вінницькій області відбудеться підвищення максимальної відносної площі листя до $11,8 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (проти $5,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$ у базовий період). За умов збільшення CO_2 максимальна відносна площа листя збільшиться до $12,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Як видно з даних таблиці 4.3, зміна кліматичних умов та збільшення вмісту CO_2 в умовах реалізації цього сценарію також призведе до підвищення відносної площі листя в декаду з її максимальними значеннями на 6,5 та 7,4 $\text{м}^2/\text{м}^2$, що становить 123-140 % відповідно.

Таблиця 4.3 – Показники фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи за базовий період (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Варіант	Період максимального росту		Фотосинтетичний потенціал посівів, м ² /м ² за вегетаційний період	Загальна суха біомаса, г/м ²	Урожай зерна, ц/га
	площа листкової поверхні, м ² /м ²	приріст загальної сухої біомаси, г/м ² за день			
1986–2005 рр,	5,3	31,1	300	1435	71
<i>RCP4,5</i>	10,4	48,1	557	2153	84
<i>RCP4,5 + CO₂</i>	11,0	51,1	588	2283	89
Різниця*	5.1-5.7	17-20	257-288	718-848	13-18
Різниця у %*	96-108	55-64	86-96	50-59	18-25
<i>RCP8,5</i>	11,8	52,5	632	2347	97
<i>RCP8,5 + CO₂</i>	12,7	56,3	682	2528	105
Різниця*	6.5-7.4	21.4-25.2	332-382	912-1093	26-34
Різниця у %*	123-140	69-81	111-127	64-76	37-48

* перше число - різниця між базовим та кліматичним періодами, друге число – різниця між базовим та кліматичним періодами з врахуванням зміни CO₂

На рисунку 4.3 представлена динаміка накопичення сухої загальної маси посівів в умовах зміни клімату за обома сценаріями в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) для умов Вінницької області.

Можна бачити, що накопичення загальної сухої біомаси до дев'ятої декади вегетації проходить досить швидкими темпами. Найбільш високі прирости загальної біомаси спостерігаються в 10 – 11 декадах вегетації. За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP4.5 приріст сухої загальної біомаси у період максимального росту у Вінницькій області збільшиться з

31.1 до 48.1 г/м² за день. З врахуванням зміни вмісту CO₂ в атмосфері це значення буде ще більшим - до 51.1 г/м² за день. Тобто зростання становить відповідно 17 та 20 г/м², або 55-64%.

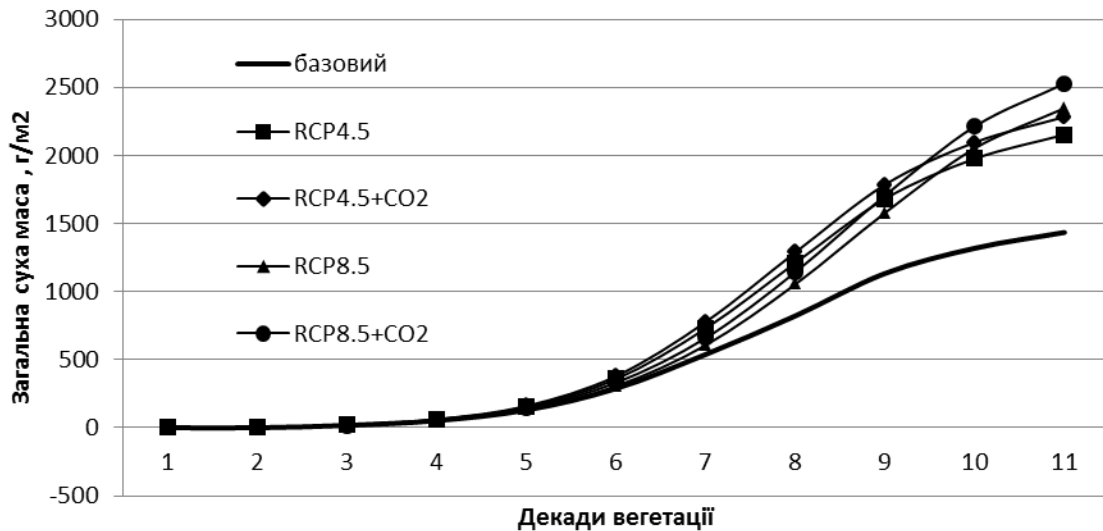


Рисунок 4.3 - Динаміка накопичення сухої загальної маси посіву кукурудзи за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP8.5 приріст сухої загальної біомаси у період максимального росту збільшиться з 31,1 до 52,5 г/м² за день. З врахуванням зміни вмісту CO₂ в атмосфері це значення буде ще більшим - до 56,3 г/м² за день. Тобто у цьому випадку збільшення становить відповідно 21,4 та 25,2 г/м², або 69-81%.

Як видно з даних табл. 4.3, за базових умов загальна суха біомаса посіву кукурудзи на кінець вегетаційного періоду становить 1435 г/м². За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP4.5 суха загальна біомаса на кінець вегетації збільшиться до 2153 г/м². З врахуванням зміни вмісту CO₂ в атмосфері це збільшення буде ще суттєвішим - до 2283 г/м². Тобто збільшення становить відповідно 718 та 848 г/м², або 50-59%.

За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP8.5 суха загальна біомаса посіву на кінець вегетації у Вінницькій області збільшиться до

2347 г/м². З врахуванням зміни вмісту CO₂ в атмосфері це збільшення також буде ще суттєвішим - до 2528 г/м². Тобто збільшення становить відповідно 912 та 1093 г/м², або 64-76%.

Зростання рівня показників фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи у Вінницькій області в умовах зміни клімату за рахунок підвищення рівня інтенсивності фотосинтезу та більшої величини фотосинтетичного потенціалу посівів обумовить і збільшення сухої маси зерна, а також кінцевого урожаю зерна при стандартній вологості (рис. 4.4, табл. 4.3).

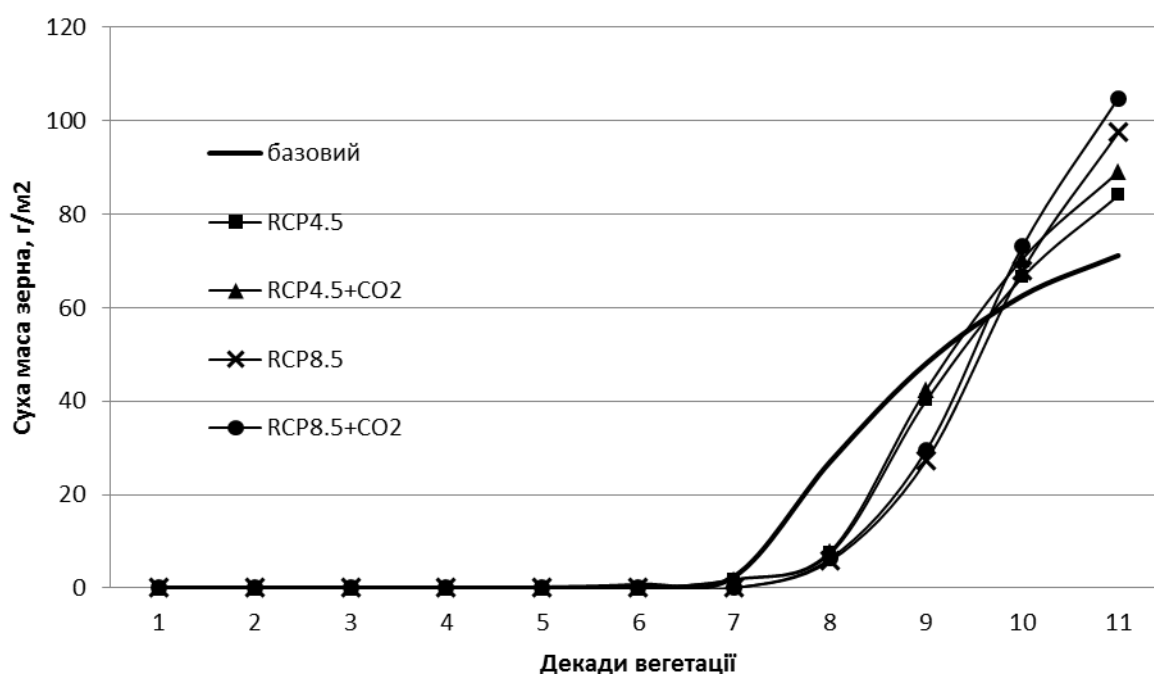


Рисунок 4.4 - Динаміка накопичення сухої маси коренеплоду цукрового буряку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

Можна бачити, що ріст маси зерна найбільш інтенсивно проходить протягом 9-10 декад вегетації. Така ж ситуація спостерігається для всіх варіантів.

За умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 урожай зерна кукурудзи у Вінницькій області зросте порівняно з базовим періодом з 71 до 84 ц/га (на 13

ц/га або 18%). Підвищення концентрації CO₂ в атмосфері обумовить відповідне зростання рівня урожаю зерна кукурудзи до 89 ц/га (на 18 ц/га або 25%).

За умов зміни клімату за сценарієм RCP8.5 у 2021-2050 рр. урожай зерна кукурудзи у Вінницькій області зросте порівняно з базовим періодом з 71 до 97 ц/га (на 26 ц/га або 37%). Підвищення концентрації CO₂ в атмосфері обумовить відповідне зростання рівня урожаю зерна кукурудзи до 105 ц/га (на 37 ц/га або 48%).

У цілому можна зробити висновок, що для території Вінницької області за умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 утворюються умови, вельми сприятливі для вирощування кукурудзи та підвищення його урожайності. Таким чином слід очікувати підвищення врожаїв кукурудзи протягом періоду до 2050 рр.

4.6 Коливання урожайності кукурудзи в зв'язку з можливими змінами клімату

Значні зміни агрокліматичних умов вирощування кукурудзи в Україні у зв'язку з очікуваними змінами глобального та регіонального клімату за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 призведуть до зміни, в першу чергу, умов тепло- та вологозабезпеченості, а також світового режиму протягом вегетаційного періоду. Такі умови вирощування викличуть значну зміну показників фотосинтетичної діяльності посівів кукурудзи: різко зміниться динаміка формування площі листової поверхні та величини фотосинтетичного потенціалу, чистої продуктивності фотосинтезу та приростів біомаси посівів. Зміна цих складових формування урожаю призведе до значної зміни рівнів очікуваних за сценарієм урожаїв кукурудзи по відношенню до сучасного рівня урожайності.

В агрокліматології для виявлення просторово-часової мінливості агрокліматичних показників широко використовується графо-аналітичний

метод Алексєєва [30]. Виходячи з теоретичних та практичних міркувань, Г.А. Алексєєв запропонував для побудови емпіричної кривої забезпеченості користуватися формулою виду:

$$P_{(x_m)} = \frac{m - 0,25}{n + 0,50} \cdot 100\% \quad (4.14)$$

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

У таблиці 5.1 представлені результати розрахунків. Графічно результати представлені на рисунках 5.1 та 5.2.

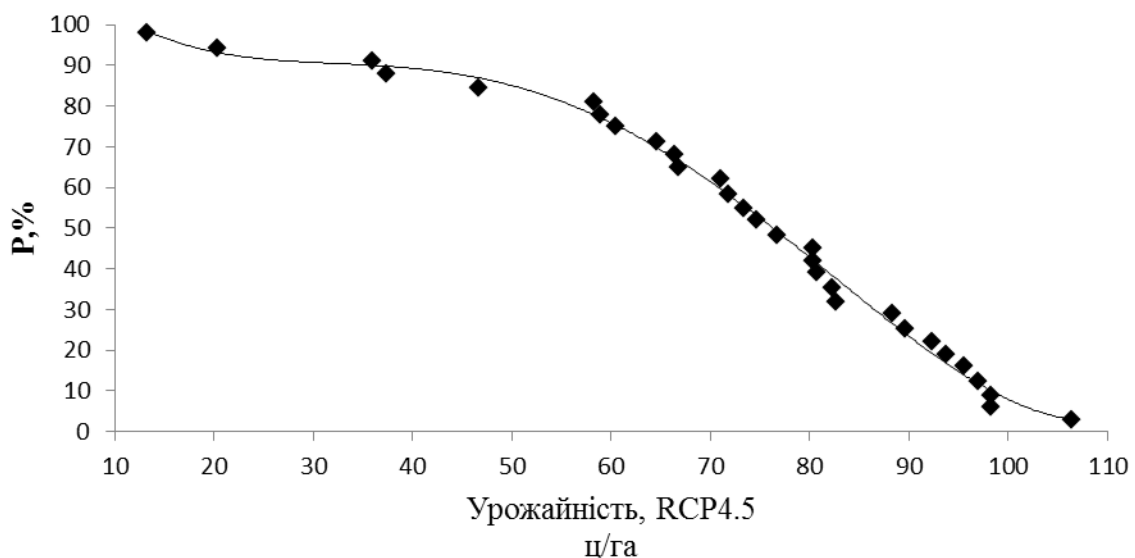


Рисунок 4.5 – Крива сумарної імовірності урожайності кукурудзи за сценарними даними RCP4.5 у Вінницькій області

Таблиця 4.4 – Розрахунок ймовірнісних характеристик урожайності кукурудзи за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у Вінницькій області

Роки	У, RCP4.5, ц/га	У, RCP4.5 убув.	У, RCP8.5, ц/га	У, RCP8.5, убув.	N	P_x , %
2021	20,4	106,4	91	104,8	1	3
2022	66,4	98,3	43,8	104,6	2	6
2023	82,3	98,3	100,6	102,3	3	9
2024	64,6	97	49,7	101	4	12
2025	88,4	95,6	101	100,6	5	16
2026	37,4	93,7	16,9	97,4	6	19
2027	76,7	92,4	80,5	94,8	7	22
2028	60,5	89,7	57	93,5	8	25
2029	71,8	88,4	61	92,7	9	29
2030	82,7	82,7	87	91	10	32
2031	89,7	82,3	87,2	91	11	35
2032	80,4	80,8	90,4	90,4	12	39
2033	66,8	80,4	104,6	90	13	42
2034	46,7	80,3	16,7	88,1	14	45
2035	59	76,7	36,9	87,2	15	48
2036	73,4	74,7	94,8	87	16	52
2037	98,3	73,4	92,7	83,6	17	55
2038	80,8	71,8	55,4	80,5	18	58
2039	106,4	71	93,5	76,3	19	62
2040	92,4	66,8	88,1	74,6	20	65
2041	98,3	66,4	70,7	70,7	21	68
2042	36	64,6	104,8	61	22	71
2043	74,7	60,5	102,3	57,7	23	75
2044	80,3	59	57,7	57	24	78
2045	97	58,3	90	55,4	25	81
2046	13,3	46,7	97,4	49,7	26	84
2047	95,6	37,4	83,6	43,8	27	88
2048	58,3	36	91	36,9	28	91
2049	71	20,4	74,6	16,9	29	94
2050	93,7	13,3	76,3	16,7	30	98

Розглядаючи результати розрахунків у Вінницькій області (рис.5.1), можна сказати, що на 50% тут забезпечена урожайність, рівна 76 ц/га. Один раз в двадцять років спостерігається значення урожайності, рівний 92 ц/га; урожайність, приблизно рівний 98 ц/га, спостерігається 1 раз на 10 років, а щорічно тут забезпечення урожаєм становить порядку 106 ц/га.

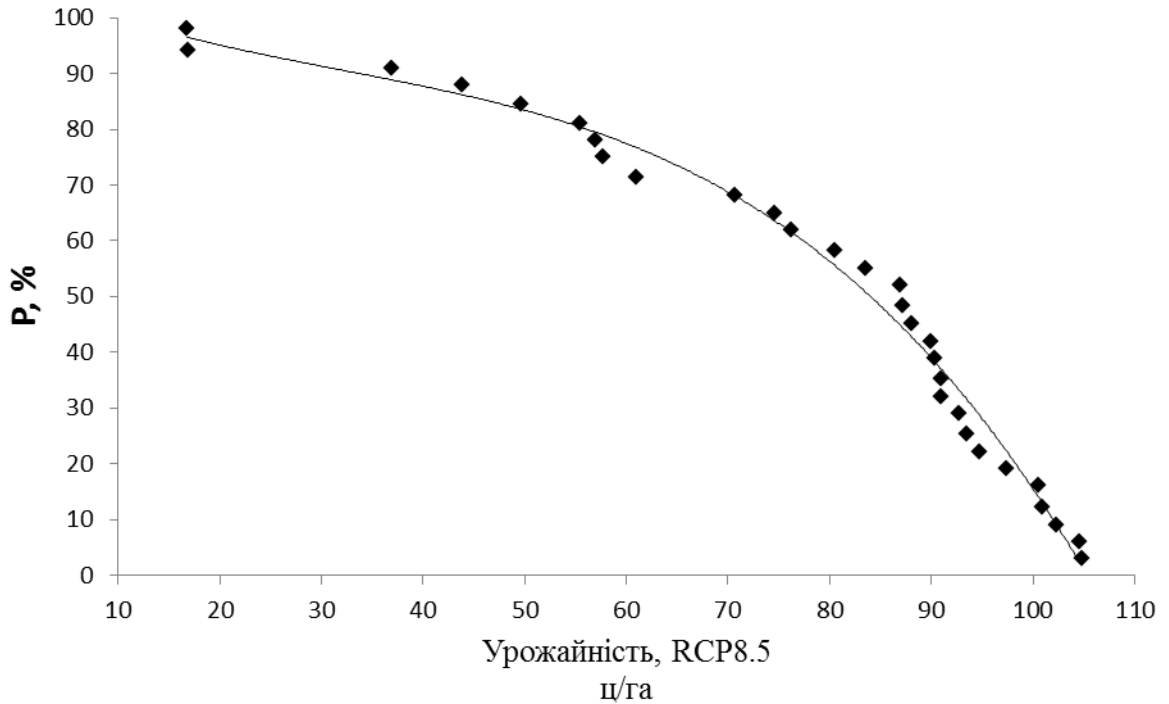


Рисунок 4.6 – Крива сумарної імовірності урожайності кукурудзи за сценарними даними RCP8.5 у Вінницькій області

Розглядаючи результати розрахунків у Вінницькій області за сценарними даними RCP8.5 (рис.5.2), можна сказати, що на 50% тут забезпечена урожайність, рівна 84 ц/га. Один раз в двадцять років спостерігається значення урожайності, рівний 98 ц/га; урожайність, приблизно рівний 102 ц/га, спостерігається 1 раз на 10 років, а щорічно тут забезпечення урожаєм становить порядку 105 ц/га.

Вказаний метод був застосований нами для визначення міжрічної мінливості очікуваних урожаїв кукурудзи на території Вінницької області. Використовувалися щорічні дані по урожайності за періоди з 2011 по 2050 роки, отримані в результаті розрахунків по моделі. Результати розрахунків за умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 представлені в таблиці 5.2.

За сценарними розрахованими даними були побудовані криві сумарної імовірності можливих урожаїв кукурудзи для кожного сценарію. Потім з кривих сумарної імовірності знімалася забезпеченість кукурудзи з кроком 5, 10, 20 ..., 90, 95%.

Таблиця 4.5 - Забезпеченість можливих урожаїв кукурудзи (ц/га) за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	Забезпеченість, %										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Сценарій RCP4.5											
2021-2050	102	98	92	86	81	76	71	64	56	34	17
Сценарій RCP8.5											
2021-2050	104	102	98	94	89	84	76	68	56	32	20

Очікувані значення урожаїв кукурудзи змінюються по сценаріям. Так, за умов реалізації сценарію RCP4.5 при середній очікуваній врожайності, що складає 76 ц/га (для періоду 2021-2050 рр.), 9 раз у 10 років (90 % забезпеченість) можна буде отримувати урожаї не нижче 34 ц/га, але тільки 1 раз у 10 років (10% забезпеченість) можна буде отримувати високі урожаї зерна порядку 98 ц/га. Враховуючи, що за базових умов урожайність кукурудзи складає 71 ц/га, можна сказати, що в цілому умови, що складатимуться за умов реалізації сценарію RCP4.5 будуть вельми сприятливими для вирощування культури у Вінницькій області.

За умов реалізації сценарію RCP8.5 при середній очікуваній врожайності, що складає 84 ц/га (для періоду 2021-2050 рр.), 9 раз у 10 років (90 % забезпеченість) можна буде отримувати урожаї не нижче 32 ц/га, але тільки 1 раз у 10 років (10% забезпеченість) можна буде отримувати високі урожаї зерна порядку 102 ц/га. Враховуючи, що за базових умов урожайність кукурудзи складає 71 ц/га, можна сказати, що в цілому умови, що складатимуться за умов реалізації сценарію RCP8.5 будуть вельми сприятливими для вирощування культури.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломного проекту можна зробити наступні висновки:

1. Із застосуванням методу гармонійних вагів було проаналізовано часові ряди урожайності кукурудзи в Лісостепових областях України за період з 1999 по 2015 роки, за даними обласного управління статистики.

Протягом зазначеного періоду спостерігалися значні підвищення фактичної урожайності кукурудзи на території дослідження.

У роки зі сприятливими погодними умовами вдавалося отримати збільшення урожаю за їх рахунок і відхилення від лінії тренду мали додатні значення.

З аналізу урожайності кукурудзи по Лісостепових областях України можна зробити висновок, що спостерігається деяка її часова мінливість. Тому необхідна детальна оцінка агрокліматичних ресурсів у поєднанні з раціональним розміщенням існуючих сортів і науковим обґрунтуванням отримання урожаїв більш високого рівня.

2. У даному дипломному проекті для кліматичних розрахунків використовується набір сценаріїв Representative Concentration Pathways – RCP, а саме RCP4.5 та RCP8.5. Репрезентативні траєкторії концентрацій – сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів. 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. Аналіз дат сівби та настання основних фаз розвитку кукурудзи показав, що за умов реалізації першого сценарію зміни клімату RCP4.5 терміни сівби кукурудзи змістяться на два дні раніше. На території

Вінницької області сіяти культуру будуть 28 квітня, що на 2 дні раніше у порівнянні з базовим періодом 1986-2005 рр.

Аналізуючи результати досліджень за другим сценарієм *RCP8.5*, можна спостерігати зміщення строків посіву в сторону більш ранніх термінів. Так, сівба тут буде проводитись 24 квітня, що на 6 днів раніше за базовий строк.

4. Температурний режим за вегетаційний період кукурудзи у Вінницькій області становить за базовим варіантом 1934°C. За умов реалізації сценарію *RCP4.5* вона зменшиться до 1855°C, тобто на 79°C. За умов реалізації сценарію *RCP8.5* це зменшення не буде більш суттєвим ніж в сценарії *RCP4.5* - до 1842°C, тобто на 92°C.

Опади за вегетаційний період кукурудзи у Лісостепу за базовим варіантом становить 281 мм. За умов реалізації першого сценарію вона зменшиться до 222 мм, а за умов реалізації другого сценарію – до 249 мм. Таким чином кількість опадів за весь вегетаційний період кукурудзи при зміні клімату зменшиться на 59 % та на 22 % відповідно.

Незначне зменшення сум температур спричинить відповідне зменшення випаровуваності, що за умов зменшення фактичного вологоспоживання (сумарного випаровування) призведе до того, що умови вологозабезпеченості вегетаційного періоду при реалізації обох сценарних варіантів дещо покращаться.

5. Для території Вінницької області за умов реалізації сценаріїв *RCP4.5* та *RCP8.5* утворяться умови, вельми сприятливі для вирощування кукурудзи та підвищення його урожайності. Таким чином слід очікувати підвищення врожаїв кукурудзи протягом періоду до 2050 рр.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О. Маслак, канд. економ. наук, керівник Центру стратегічних досліджень АПК Сумського національного аграрного університету - Економічний гектар / Понеділок, 21 листопада 2016 [електронний ресурс] Режим доступу: <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyihektar/item/7945-rynok-kukurudzy-vrozhaiu-2016-roku.html>.
2. Аналітична записка БАУ № 16 (2016). “Можливості заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання в Україні” <http://www.uabio.org/ua/activity/uabio-analytics>.
3. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Вольвач О.В. Основи агрометеорології. Одеса: ТЕС, 2004. – 148с.
4. О. І. Зінченко, В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко Рослинництво: Підручник. - К.: Аграрна освіта, 2001. - 591 с.
5. Гудзь В. П., Примак І. Д., Будьонний Ю. В., Танчик С. П. Землеробство: Підручник. 2-ге вид. перероб. та доп. / За ред. В. П. Гудзя. — К.: Центр учбової літератури, 2010. — 464 с.
6. Рожков А. О. Рослинництво: навч. посібник / А.О. Рожков, Є. М. Огурцов. - Харків: Тім Пабліш Груп, 2017. - 363 с.
7. Кукурудза. Вирощування, збирання, консервування і використання / Під загальною редакцією Д. Шпаара. – К.: Альфа-стевія ЛТД – 2009. – 396 с.
8. Чирков Ю.И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы. – Л.: Гидрометиздат, 1969. – 251 с.
9. Паламарчук В.Д., Поліщук І.С., Каленська С.М., Єрмакова Л.М. Біологія та екологія сільськогосподарських культур. - Вінниця, 2013. – 724 с.
10. Шиндин А.П., Багринцева В.Н., Горбачева А.Г. и др. Кукуруза. Современная технология возделывания. Москва: ВНИИ кукурузы, 2009. - 71с.

11. Procrop maize growth & development. State of New South Wales through NSW Department of Primary Industries, 2009. - 52 p. [електронний ресурс] Режим доступу: http://dpi.nsw.gov.au/data/assets/pdf_file/007...maize.
12. Польовий А. М. Сільськогосподарська метеорологія: підручник / Польовий А.М. – Одеса: ТЕС. - 2012. – 630 с.
13. Циков В.С. Кукуруза: технологія, гібриди, семена. – Днепропетровск: Изд-во Зоря. - 2003. – 296 с.
14. Грабовський М.Б. Продуктивність кукурудзи на силос залежно від густоти стояння рослин / М.Б. Грабовський, Т.О. Грабовська // Агробіологія. – 2015. - № 2. – С. 77-82.
15. Інтенсифікація технологій вирощування кукурудзи на зерно – гарантія стабілізації урожайності на рівні 90-100 ц/га (практичні рекомендації) / Черенков А.В., Циков В.С., Дзюбецький Б.В., Шевченко М.С. та ін. // Дніпропетровськ: ДУ Інститут сільського господарства степової зони НААН України, 2012. – 31 с.
16. Комплексна механізація виробництва зерна: Навчальний посібник / В.Д. Гречкосій, М.Д. Дмитришак, Р.В. Шатров та ін. – К.: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2012. – 288 с.
17. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 175 с.)
18. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України. / За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса. Вид. «ТЕС», 2015. – 520с.
19. Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Christensen O.B., Bouwer L.M., Braun A., Colette A., Déqué M. et al. EURO-CORDEX: new highresolution climate change projections for European impact research // Regional Environmental Change. – 2014. – Vol. 14, Issue 2. P. 563–578.
20. 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.

21. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату: підручник / С.М. Степаненко. – Одеса: Екологія, 2013. – 204 с.
22. Степаненко С.М., Польовий А.М. та ін.. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України: [монографія] / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса: Екологія, 2011. - 696 с.
23. Партасенок И.С., Б. Гайер, Мельник В.И. Исследования возможных сценариев изменений климата Беларуси на базе ансамблевого подхода // Труды Гидрометцентра России. – 2015. – Вып. 358. – С. 99–111.
24. Дмитренко В.П. Метод расчета урожайности озимой пшеницы на территории УССР. // Труды УкрНИГМИ. - 1975. - Вып.139. - С. 3-14
25. Польовий А.М. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. –Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 319 с.
26. Польовий А.М. Моделювання продуктивності агроecosистем. //Вісник ОДЕКУ. – 2005. – Вип. 1. – С. 79-86.
27. Полевой А.Н.. Моделирование фотосинтеза зеленого листа у растений типа C_3 и C_4 при изменении концентрации CO_2 в атмосфере. – //В сб.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – М.:ИГКЭ. – 2010. – Том XXIII – С. 297-315.
28. Мищенко З. А. Агроклиматология: ученик / З.А. Мищенко. – К.: КНТ, 2009. – 512 с.
29. Обухов В.М. Урожайность и метеорологические факторы. – М.: Госпланиздат, 1949. – 318 с.
30. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. – Л.: Гидрометеиздат, 1971 – 362 с.