

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

Факультет гідрометеорології і екології

Кафедра агрометеорології та агроекології

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

АГРОКЛІМАТИЧНА ОЦІНКА УМОВ ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ КУКУРУДЗИ В ПІВНІЧНОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ ЗА СУЧАСНИХ ЗМІН КЛІМАТУ AGROCLIMATIC ASSESSMENT OF THE CONDITIONS FOR THE FORMATION OF THE CORN CROP IN THE NORTHERN STEPPE OF UKRAINE UNDER MODERN CLIMATE CHANGES

Виконав: студент 2 курсу денної форми навчання
спеціальності 103 «Науки про Землю»
Освітньо-професійна програма Агрометеорологія

Домбровський Данило Сергійович

(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник к. геогр. н., Данілова Н.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент к. геогр. н., доц. Волинина О.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
агрометеорології та агроекології
№ ____ від ____ . ____ . 2024 р.

Завідувачка кафедри
Оксана ВОЛЬВАЧ
(підпис) (прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК № 3
протокол № ____ від ____ . ____ . 2024 р.

Оцінка ____ / ____ / ____
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК

Віктор СИТОВ
(підпис) (прізвище, ім'я)

Одеса 2024

АНОТАЦІЯ

Домбровський Д.С. Агрокліматична оцінка умов формування врожаю кукурудзи в Північному Степу України за сучасних змін клімату

Кукурудза має основне значення задля забезпечення світової продовольчої безпеки. Зміна клімату створює додаткові фактори стресу для зернових культур, у тому числі і кукурудзи, включаючи підвищення температури, зростання поширеності шкідників та хвороб, похолодання посух та повеней.

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.

Метою даного дослідження є агрокліматична оцінка умов формування врожаю кукурудзи в Північному Степу України за сучасних змін клімату.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні *завдання*:

- розрахувати та оцінити основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду кукурудзи за багаторічними даними з урахуванням змін клімату за 2021-2050 рр.;
- визначити вплив очікуваних змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та врожайність кукурудзи за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP6.0.

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

Предмет дослідження - оцінка впливу агрокліматичних умов на формування врожайності кукурудзи на території дослідження.

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

Вперше встановлені закономірності впливу змін клімату на агрокліматичні умови формування врожаю кукурудзи в умовах Північного Степу України.

Отримані результати можуть бути використані при виконанні комплексної оцінки агрокліматичних ресурсів стосовно формування врожаю кукурудзи та оптимізації розміщення її посівних площ за умов реалізації сценарію RCP6.0 в умовах Північного Степу України.

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків та переліку посилань. Повний обсяг роботи становить 71 сторінок, 13 рисунків, 4 таблиці. Список використаних літературних джерел містить 37 найменувань.

Ключові слова: кукурудза, врожайність, зміна клімату, сценарій.

SUMMARY

Dombrovskiy Danylo. Agroclimatic assessment of the conditions for the formation of the corn crop in the Northern Steppe of Ukraine under modern climate changes

Maize is essential for global food security. Climate change creates additional stressors for grain crops, including corn, including rising temperatures, increased pest and disease prevalence, and increased droughts and floods.

The relevance of the chosen topic is due to the fact that in order to obtain stable and high yields of any agricultural crop, in particular, corn, a detailed study of the agro-climatic conditions of its cultivation in the studied territory is necessary for the purpose of rational use of these conditions and the most optimal placement of crops. Solving this issue is of particular importance in connection with climate change.

The purpose of this study is an agroclimatic assessment of the conditions for the formation of the corn crop in the Northern Steppe of Ukraine under modern climate changes.

To achieve the set goal, it was necessary to solve the following tasks:

- calculate and evaluate the main agroclimatic indicators of the growing season of corn for green fodder based on long-term data and taking into account climate changes for 2021-2050;
- to determine the impact of expected climate changes on the photosynthetic productivity and yield of corn under the conditions of implementation of the RCP6.0 climate change scenario

The object of research is agroclimatic conditions for the formation of corn yield in the conditions of climate change.

The subject of the study is the assessment of the impact of agroclimatic conditions on the formation of corn yield in the study area.

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

For the first time, the regularities of the influence of climate change on the agroclimatic conditions of the formation of the corn crop in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine were established.

The obtained results can be used in the performance of a comprehensive assessment of agroclimatic resources in relation to the formation of the corn crop and the optimization of the placement of its sown areas under the conditions of the implementation of the RCP6.0 scenario in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine.

The work consists of an introduction, 4 chapters, conclusions and a list of references. The full volume of work is 71 pages, 13 figures, 4 tables. The list of used literary sources contains 37 names.

Keywords: corn, yield, climate change, scenario.

ЗМІСТ

ВСТУП		6
1	СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА КУКУРУДЗИ	8
1.1	Народногосподарське значення кукурудзи	8
1.2	Динаміка та перспективи виробництва кукурудзи	10
2	ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ЗА СУСАСНИХ УМОВ ЗМІНИ КЛІМАТУ	14
2.1	Ботанічна характеристика кукурудзи	14
2.2	Агроекологічна характеристика кукурудзи	21
2.3	Особливості вирощування кукурудзи за сучасних кліматичних змін	23
2.3.1	Ресурсозберігаюче землеробство та здоров'я ґрунту	24
2.3.2	Покращення сортів рослин	27
2.3.3	Раціональне водокористування	28
2.3.4	Сучасні методи боротьби зі шкідниками та хворобами	30
2.3.5	Перехід до стійкої інтенсифікації рослинництва: проблеми та переваги	33
3	ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПОСІВІВ КУКУРУДЗИ В УМОВАХ КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ	36
3.1	Адаптація до зміни клімату у сільському господарстві	36
3.2	Загальна характеристика фізико-географічних та агрокліматичних умов району дослідження	39
3.3	Оцінка агрокліматичних умов вирощування кукурудзи в умовах зміни клімату	41
3.4	Оцінка фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи в умовах зміни клімату	46

4	ОЦІНКА МІНЛИВОСТІ ВРОЖАЙНОСТІ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ НА ТЕРИТОРІЇ КІРОВОГРАДСЬКІЙ ОБЛАСТІ		56
	4.1	Методи оцінки мінливості врожайності сільськогосподарських культур	56
	4.2	Просторово-часова оцінка мінливості врожайності зерна кукурудзи в Кіровоградській області	58
ВИСНОВКИ.....			63
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ			66

ВСТУП

Кукурудза має основне значення задля забезпечення світової продовольчої безпеки. Зміна клімату створює додаткові фактори стресу для зернових культур, у тому числі і кукурудзи, включаючи підвищення температури, зростання поширеності шкідників та хвороб, почастищення посух та повеней.

Зміна клімату, деградація навколишнього середовища та відсутність зростання врожайності створюють загрозу для виробництва кукурудзи та глобальної продовольчої безпеки. Збільшення об'ємів виробництва кукурудзи у цьому випадку є одним з рішень проблеми продовольчої безпеки. Також, кукурудза є важливою сировиною для отримання крохмалю, декстринів та спирту. У свіжому і, особливо, у силосованому виді вона у значній частині районів світу є чудовим кормом для тварин. Крім того, культура широко використовується і для інших цілей: харчових, технічних, лікарських. Регіон вирощування визначає цілі її використання, спосіб вирощування, вибір гібриду, технологію вирощування.

Оскільки сільське господарство безпосередньо залежить від стану довкілля, вплив зміни клімату на сільське господарство стає все більш очевидним [1].

Мета: агрокліматична оцінка умов формування врожаю кукурудзи в Північному Степу України за сучасних змін клімату на прикладі Кіровоградської області.

Завдання:

- розрахувати та оцінити основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду кукурудзи за багаторічними даними з урахуванням змін клімату за 2021-2050 рр.;
- визначити вплив очікуваних змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та врожайність кукурудзи за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP6.0.

Для дослідження впливу кліматичних змін на темпи розвитку та формування продуктивності кукурудзи в Північному Степу України нами були розглянуті наступні варіанти - базовий (1991-2020 рр.) та кліматичні умови за сценарієм RCP6.0 (2021-2050 рр.).

Вихідна інформація: дані спостережень на мережі гідрометеорологічних станцій Управління з гідрометеорології Державної служби із надзвичайних ситуацій України [2], дані з державних сортодослідних ділянок. Розрахунки виконувались за моделлю з використанням ПЕОМ.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА КУКУРУДЗИ

1.1 Народногосподарське значення кукурудзи

Батьківщиною кукурудзи вважається Південна та Центральна Америка, де її обробляли кілька тисячоліть поспіль. Маїс у індіанців зводився до рангу божества, вони поклонялися йому як священної рослині. На честь маїсу влаштовувалися пишні урочистості. Про це свідчать фігурки богів і богинь з качанами кукурудзи в руках, виявлені щодо стародавніх стоянок людини, а також малюнки ацтеків та майя.

Вчені вважають, що люди, що живуть у центральній Мексиці, вирощували кукурудзу щонайменше 7000 років тому. Її культивували з дикої трави під назвою теосинт. Теосинте виглядав зовсім інакше, ніж наша сьогодення кукурудза. Зерна були дрібними і не розміщувалися близько одне до одного, як зерна на лущеному колосі сучасної кукурудзи.

Великі географічні відкриття дали Європі кукурудзу З відкриттям у XV столітті Америки увагу європейців приваблює «індійський злак» (Indiancorn) – кукурудза. Опис її з'явився у багатьох «травниках» та ботанічних творах.

Після відкриття Америки кукурудза швидко поширилася до Європи, Азії та Африки, де її також широко вирощують і використовують. З точки зору використання кукурудза, як основний продукт, використовується у багатьох регіонах земної кулі як корм для тварин та як промислова сировина для виробництва біопалива, хімічних сполук, псевдопластика та інших матеріалів [3].

Особливим попитом сьогодні користується екопосуда з кукурудзяного крохмалю, що легко утилізується без шкоди для навколишнього середовища, розпадаючись на органічні сполуки, не виділяючи при цьому шкідливих сполу та токсичних запахів [4].

Кукурудза відноситься до рослин, що не дає жодних відходів. У неї все може бути використане. Навіть вода після намочування зерна кукурудзи

перед його переробкою використовується в промисловості антибіотиків, дріжджової та бродильної як цінне середовище для мікроорганізмів.

Кукурудза є однією з найбільш універсальних сільськогосподарських культур, що має більш широку адаптованість за різних агрокліматичних умов. У всьому світі, кукурудза відома як королева полів, тому що вона має найвищий генетичний потенціал урожайності серед зернових.

Вирощування кукурудзи є традиційним джерелом доходу і поповненням засобів існування для багатьох дрібних фермерів, людей з невисоким достатком, особливо в сільських районах, що не зрошуються. У промислових же масштабах у великих країнах кукурудза є товарною культурою з різнобічним застосуванням, таким як продукти харчування, корми для тварин, а також виробництвом промислових товарів [5].

Цю культуру вирощують майже на 150 мільйонах гектарів у близько 160 країнах, що мають широке розмаїття ґрунтів, клімату, та методів управління, що робить свій внесок 36% (782 тонн) у світове виробництво зерна. Сполучені Штати Америки (США) є найбільшим виробником кукурудзи, що становить майже 35% від загального обсягу виробництва кукурудзи у світі та є рушійною силою американської економіки. США має найвищу продуктивність (9,5 тонн з гектара), показник у два рази вищий, ніж показники виробництва кукурудзи інших країн. З огляду на середню врожайність в Індії становить 2,5 тонни з 1 гектара.

В Індії, кукурудза є третьою, найважливішою продовольчою культурою після рису та пшениці. Майже 80% посівних площ Індії віддається кукурудзі, що сприяє 9% поповненню національного продовольчого кошика у цій країні.

«Сьогодні кукурудза також є основним джерелом сировини для заводів з виробництва біогазу в Європі. Це обумовлено її високою врожайністю і відсутністю значних проблем у вирощуванні. У світі за останні десятиліття кукурудза характеризується найбільш високими темпами зростання

врожайності серед зернових культур. В останні роки намітилася тенденція збільшення площ, відведених під обробіток кукурудзи» [6].

Все сказане свідчить про те, що кукурудза зайняла своє місце в сільськогосподарському виробництві нашої країни завдяки своїм багатьом неоціненним якостям.

1.2 Динаміка та перспективи виробництва кукурудзи

Найважливішими країнами-експортерами зерна кукурудзи є США, Аргентина, Китай, Франція. В Україні станом на сьогодні кукурудза вирощується у всіх господарствах, як приватної так й державної форми власності та на всій території.

За даними Державної служби статистики [7] в останні роки, якщо розглядати в цілому по Україні, намітилася тенденція щодо збільшення площі під кукурудзу на зерно (рис.1.1). З рисунку бачимо, що останнім часом площа під посівами кукурудзи на зерно в Україні становить близько 5500 тис га, що, маже в тричі більш ніж в період 1995-2000 роки. У минулому році під посівами кукурудзи на зерно в Україні було зайнято 17,0 % площі рілля.

Лідерами за обсягом посівних площ, що було зайнято під кукурудзою на зерно стали: Полтавська (478,0 тисяч га) Чернігівська (400,0 тисяч га), Вінницька (348,5 тисяч га) та Черкаська (356,3 тисяч га) області.

Урожайність кукурудзи, як зазначалося вище, залежить від багатьох факторів, тому їй притаманна значна мінливість. Але за останні 20 років в цілому по Україні вона збільшилась маже у двічі. В останні роки врожайність кукурудзи на зерно в Україні коливається у межах 60-80 ц/га. У минулому році врожайність кукурудзи на зерно в країні становила 78,1 ц/га, що на 23% більше ніж у попередньому сезоні (рис. 1.1).

Найбільші врожай у 2023 рік зібрано аграріями в Тернопільській (107,8 ц/га), Львівській та Хмельницькій (95,6 ц/га) областях. Наднізькі

врожаї зібрано в Одеській (41,5 ц/га) та Миколаївській (46,2 ц/га) областях (рис. 1.2).

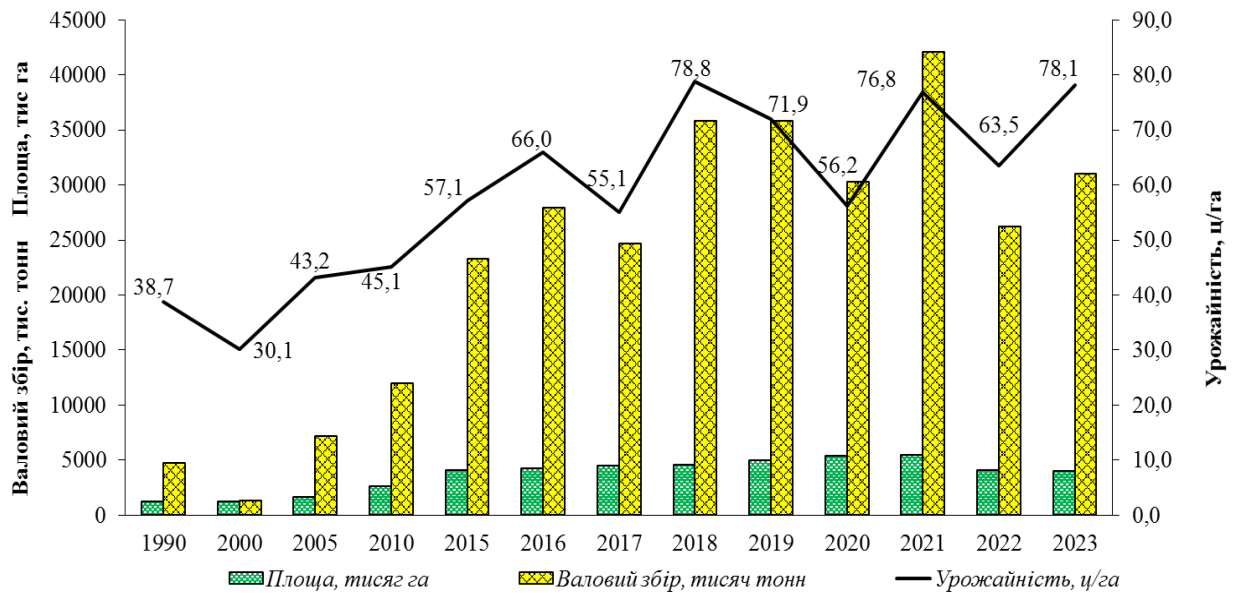


Рисунок 1.1 - Динаміка виробництва кукурудзи в Україні (без урахування Херсонської області)

Джерело: побудовано автором на основі даних [7]

Динаміка виробництва кукурудзи в Україні в розрізі адміністративно-територіальних одиниць станом на 2023 рік представлено на рис 1.3. Як бачимо з діаграми, лідерами за обсягом виробництва у минулому році були Полтавська, Чернігівська та Черкаська області.

В Кіровоградській області під посівами кукурудзи на зерно зайнято 315,0 тисяч га, що становить 18 % від загальної площі угідь (рис. 1.4). Якщо дивитися в цілому, то майже половину рілля в Кіровоградській області зайнято під посівами олійних культур - соняшником (35 %), соєю та ріпаком (8 %). А як звісно, соняшник є найгіршим попередником для кукурудзи через високу здатність виснажувати ґрунт.

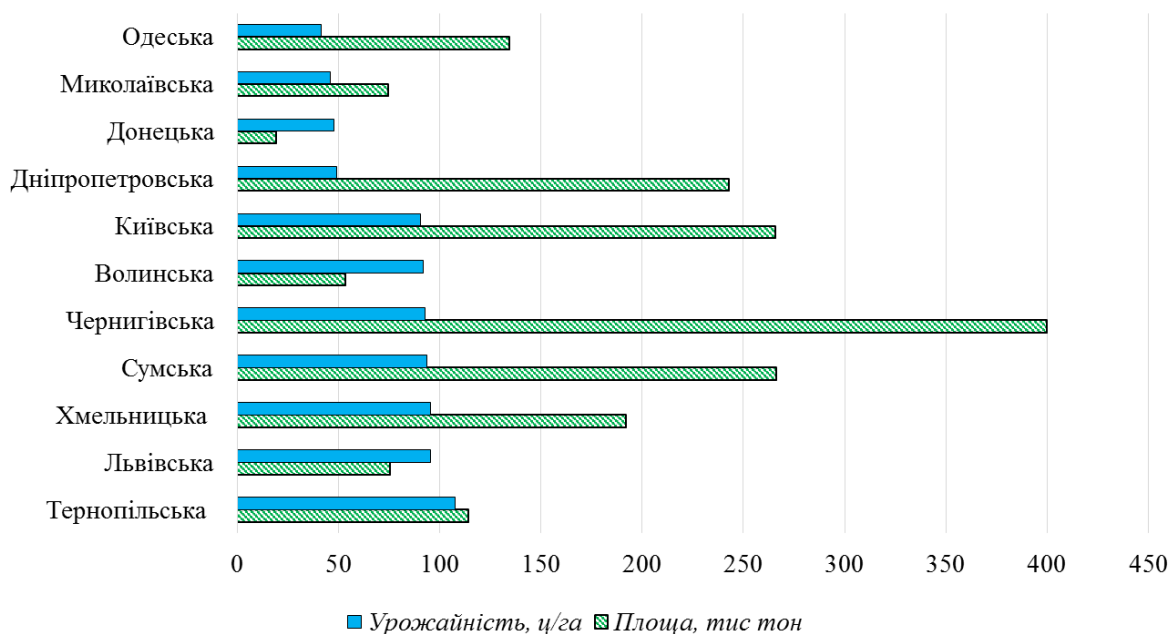


Рисунок 1.2 – Урожайність та площа під посівами кукурудзи на зерно (2023 рік)

Джерело: побудовано автором на основі даних [7]

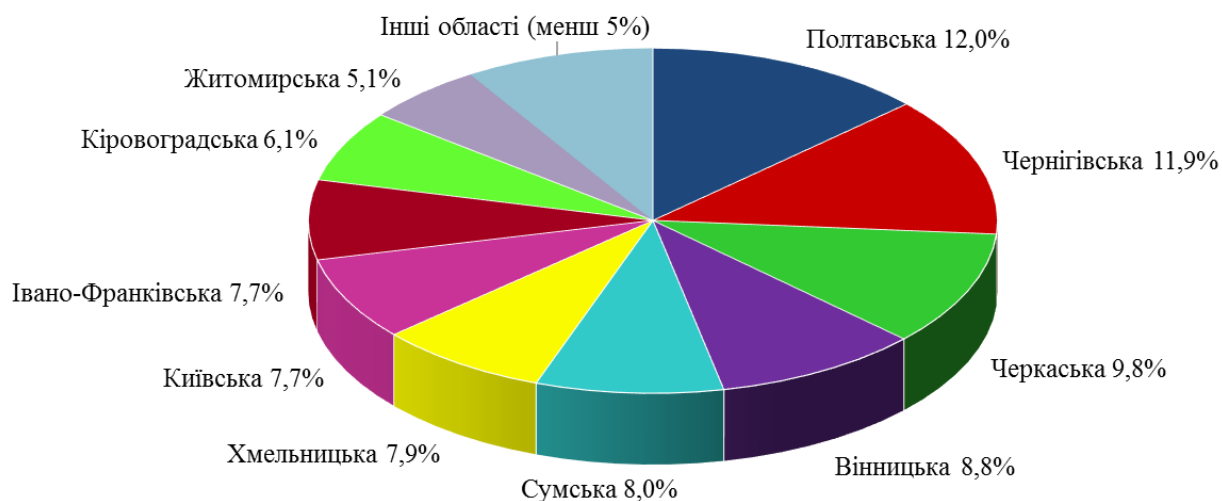


Рисунок 1.3 – Виробництво кукурудзи на зерно в Україні по областях станом на 2023 рік (%) (без урахування Херсонської області)

Джерело: побудовано автором на основі даних [7]

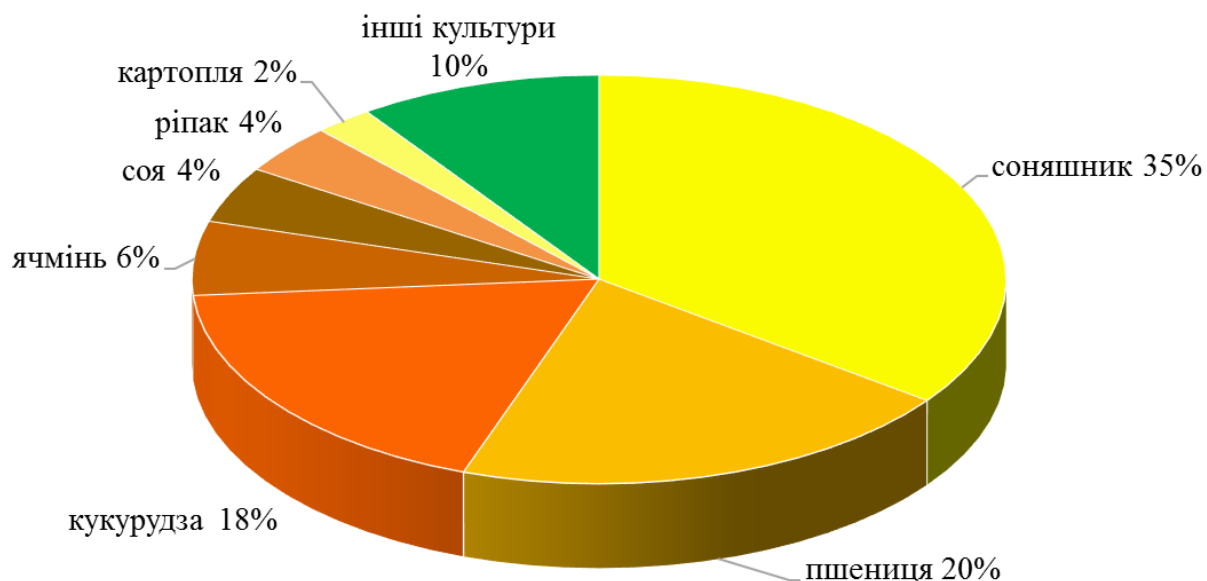


Рисунок 1.4 – Площі під основними сільськогосподарськими культурами в Кіровоградській області станом на 2023 рік (%)

Джерело: побудовано автором на основі даних [7]

Попит на зерно кукурудзи в останні роки та привабливі ціни на ринку призвели до того, що в деяких областях майже третя частка від усіх сільськогосподарських угідь зайнята посівами кукурудзи.

Такий значний приріст посівних площ зайнятих під кукурудзою на зерно в останні десятиріччя, перш за все, пов'язано з сучасними кліматичними змінами в Україні - там де раніше кукурудзу майже не сіяли (північні та західні райони) сьогодні збирають високі врожаї [8].

2 ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ЗА СУСАЧНИХ УМОВ ЗМІНИ КЛІМАТУ

2.1 Ботанічна характеристика кукурудзи

Кукурудза відноситься до класу однодольних (Monocotyledonae), сімейства злакових (Gramineae), підродини просовидних (Panicoideae), трибе маїсових (Maydeae).

Триба маїсов поєднує вісім пологів, що відрізняються від багатьох пологів сімейства злакових наповненістю стебла та наявністю одностатевих квіток. У роду *Zea* чоловічі (тичинкові) і жіночі (пестичні) квітки розташовуються окремо в чоловічих та жіночих суцвіттях. Однак нерідко відзначається розвиток обох порожнин в одних і тих же квітках (формування чоловічих і жіночих генеративних органів) і рідше зустрічаються рослини зі стерильними чоловічими або жіночими квітками і суцвіттями. Найбільш близькі один до одного три рода триба маїсових: *Zea* (кукурудза), *EisMaepa* (теосинте) та *Tripsacutn* (трава-гама) [9].

Рід *Zea* представлений єдиним видом – *Zea mays L.* (кукурудза) і при цьому тільки в культурній флорі. Рослини цього виду мають диплоїдний набір хромосом.

Кукурудза - однорічна рослина, відрізняється від більшості однорічних злаків товстим стеблом, високим ростом і потужним великим листям.

Стебло кукурудзи циліндричне, з потовщеними вузлами, закінчується верхівковим суцвіттям - волотком з чоловічими квітками. Листя розташоване вздовж по стеблу почергово з двох сторін. У пазухах листя, за винятком чотирьох-п'яти верхніх, закладаються укорочені пагони другого порядку, що несуть верхівкові жіночі суцвіття - качани. Пагони другого порядку у пазухах найнижчих листків, утворюють подовжені стебла, так звані пасинки. На своїй верхівці пасинкі несуть або типову волоть, або утворюють суцвіття з

чоловічими і жіночими квітками. У пазухах піхв листя пасинків формуються у пагони третього порядку, що здатні у деяких сортів давати качани [10].

Zea mays L. характеризується великою різноманітністю підвидів, форм, сортів, гібридів та морфофізіологічних типів.

Zea mays L., indurata Sturt. - Кукурудза кремниста. Цей підвид (або ботанічна група) характеризується твердими округлими зернівками. Ендосперм має рогоподібну і борошнисту частину. Рогоподібна частина ендосперму розташована по периферії зернівки, борошниста - у центрі. До цього підвиду належать численні європейські сорти - молдавські, румунські, болгарські, угорські, чеські, італійські, закавказькі та ін. За будовою зернівок ця група досить одноманітна. За мінливістю довжини вегетаційного періоду - найбільш різноманітна - до складу її входять як виключно пізньостиглі форми, так і форми граничної скоростиглості, що визначають собою північну, південну і висотну межі найширшого ареалу виду.

Zea mays L., indentata Sturt. - Кукурудза зубоподібна. Ендосперм зернівок рогоподібний тільки на бічних стінках, а вся центральна і верхня частини ендоспермів мають борошнисту будову. На верхівці зернівки є глибока зубоподібна впадина, яка утворюється внаслідок нерівномірного усихання різних частин зернівки при дозріванні. По довжині вегетаційного періоду переважають середньо- і пізньостиглі форми.

Zea mays L., semindentata Kulesh. - кукурудза напівзубовида. Від зубоподібної відрізняється менш чітко вираженою впадиною на верхівці зернівки, більш розвиненим ендоспермом, менш плоским зерном і деякою округлістю його країв. Забарвлення, величина, форма дуже різноманітні. Широко поширена у передгірських районах Закарпаття, Північного Кавказу та Закавказзя, Угорщини, Італії та Балканських країнах.

У кукурудзи розрізняють дві групи коренів: ембріональні та придаткові. До перших - відносяться головні і бічні зародкові гіпокотильні і мезокотильні або епіксігільні коріння. Другу групу складають вузлові коріння - підземні та надземні (опорні).

Зернівка кукурудзи при проростанні утворює спершу один зародковий корінець, що швидко заглиблюється в ґрунт на глибину 30-40 см. Рослини більшості сортів і гібридів кукурудзи через 2-3 дні вже формують від 2 до 7 бічних коренів.

Бічні гіпокотильні коріння в ґрунті сильно гілкуються і разом із зародковим корінцем утворюють систему первинного коріння. Це коріння можна вважати корінням першого ярусу.

Другий ярус коріння утворюється у кукурудзи з колеоптильного вузла. Це так звані епікотильні коріння, особливо ясно помітні при розростанні епікотілю, у зв'язку зі збільшенням глибини загортання насіння. Третій ярус вузлових коренів найбільш важливий для життєдіяльності кукурудзяної рослини, формується зі зближених вузлів стебла, розташованих під прикриттям поверхневих шарів ґрунту або біля самої поверхні ґрунту. Це коріння здебільшого розвивається з перших 3-5 вузлів стебла. Зазвичай, як свідчать наші спостереження, перший підземний стебловий вузол закладається неглибоко, приблизно 3-4 див поверхні ґрунту. У ряді районів у пізньостиглих сортів опорні корені утворюються у шостого та сьомого стеблових вузлів. Зазвичай вони мають більший діаметр, ніж вузлове коріння, і покриті товстою захисною тканиною. Частина їх, розташована над ґрунтом, утворює хлорофіл і зеленіє.

Досягаючи ґрунту за сприятливих умов вологості і особливо при підгортанні рослин, опорні корпи стають тоншими, утворюють бакові коріння та волоски. Основна функція опорного коріння - запобігання рослинам від вилягання - у цих випадках добре поєднується з функцією живлення рослин.

Коріння кукурудзи має низку анатомічних особливостей, що потребують підвищені вимоги до аерації, порівняно з кореневими системами інших злаків. Однією з характерних рис будови коренів і кукурудзи є велика кількість повітряноспорожнин. Чим глибше розташовані коріння, тим більше в них утворюється повітряноспорожнин і тим вони більші. На

важких запливаючих ґрунтах ці порожнини починають формуватися вже в коренях першого і другого порядків, на легких піщаних ґрунтах вони утворюються головним чином у коренях третього, четвертого і наступних порядків. У поєднанні з максимальним проникненням вглиб, у ґрунт, та розвитком опорного коріння, це є найважливішим фактором, що забезпечує розвиток надземних органів та загальну продуктивність рослини. Тому всі прийоми підготовки насіння та ґрунту, а також і догляду за рослинами повинні бути спрямовані на створення оптимальних умов для розвитку і росту кореневої системи, особливо на ранніх етапах органогенезу рослин [10].

Стебло кукурудзи має добре виражені вузли та міжвузля. Кількість їх варіює від 8 до 40 і більше, залежно від особливостей сорту. При цьому кількість зближених підземних вузлів стебла, розташованих під поверхнею ґрунту, коливається від 3 до 10, а надземних - від 6 до 30 і більше. Зростання міжвузля починається з нижніх і поступово переходить до верхніх. Верхні міжвузля швидко ростуть, виходять із піхви листя, іноді навіть виникає шум, який можна чути увечері після спекотного дня на кукурудзяному полі.

У товщину стебло росте зсередини, так званий ендогенний тип зростання. Найбільшу товщину стебло має в основі рослини і найменшу - на верхівці. Міжвузля з вузлами, на яких бічні пагони утворюють качани, мають виїмку, що утворюється під тиском качанів. Чим більший початок, тим ця виїмка глибша.

Лист кукурудзи, як і інших злаків, складається з листової піхви, що щільно охоплює нижню і середню частини міжвузля стебла, широкої і довгої листової пластинки і невеликого язичка, розташованого в місці переходу піхви в листову пластинку і захищає стебло від проникнення пилу та мікроорганізмів. У деяких сортів кукурудзи язичок листка утворює вушка. Листя у кукурудзи розташоване по одному від кожного вузла, по чергово з двох сторін стебла. Сорти і гібриди кукурудзи, що відносяться до різних морфофізіологічних типів та відрізняються: для степової зони - 16-20,

пізньостиглих сортів - 23-25, пізньостиглих південноамериканських сортів - по 30-40 і більше листя. Листя різних сортів кукурудзи розрізняються також по довжині, ширині та товщині [11].

Листя кукурудзи найчастіше з нижньої сторони голі, з верхньої - опушені. Паренхіма на краях листя росте швидше, ніж судинні пучки, і в результаті краю листя стають хвилястими. Судинні пучки на краях листя містять більше і механічних елементів порівняно з судинними пучками, дещо віддаленими від краю. Це надає міцності великому листю кукурудзи проти дії вітрів, що може викликати розрив листових пластинок після ночей з сильними росами можна спостерігати вранці зволожений навколо стебла ґрунт.

Рослини більшості сортів кукурудзи характеризуються інтенсивним зеленим забарвленням листя. При самому незначному зниженні температури листя, особливо молоді, що ростуть швидко, змінюють своє забарвлення, набуваючи всіх відтінків від світло-зелених до жовто-білуватих. Такий же вплив на забарвлення листя надає і загущення рослин у гнізді і загущення числа гнізд у рядах. У кукурудзи порівняно часто зустрічаються рослини-альбіноси, з абсолютно білим безхлорофілом листям. Після розгортання 3-5 зародкових листя такі рослини швидко гинуть [9].

Іноді листя у фазі сходів має світло-жовте забарвлення. У таких рослин за особливо сприятливих умов для зростання та розвитку поступово з'являється зелене забарвлення і вони, хоч і зі значним запізненням, розвиваються в нормальну дорослу рослину.

Кукурудза - однодомна рослина, здатна формувати три типи квіток: чоловічі, жіночі і, значно рідше, обох статей.

Чоловічі квітки, у яких переважно розвиваються чоловічі генеративні органи - тичинки, зібрані в чоловіче суцвіття – волоть. Зазвичай волоть формується на верхівці головного стебла або на верхівках пагонів. Рідше поодинокі чоловічі квітки формуються на укорочених бічних пагонах, що несуть качани.

Жіночі квітки, у яких розвиваються переважно жіночі генеративні органи та рано редукуються зачатки пилових мішків, зазвичай формуються на укорочених бічних пагонах і утворюють жіноче суцвіття - качан.

Волоть кукурудзи відрізняється за своєю будовою від суцвіть інших волотистих злакових тим, що бічні гілки її мало розгалужуються. Будова волоті залежить від особливостей сорту та умов зростання рослини. Найчастіше недорозвиненими бувають її бічні гілки, число і розміри яких сильно варіюють. Недорозвиненість центрального стрижня трапляється значно рідше. Дуже рідко, але зустрічаються волоті, що розвивають один центральний стрижень. Часті волоті з 2-3-5 бічними гілками.

Забарвлена волоть в зелений, світло-зелений, найчастіше в синьо-фіолетовий і червоний кольори, що залежить від присутності антоціана.

Колоски в волоті розташовані попарно. Один колосок зазвичай має подовжену колоскову вісь, інший - укорочену. Колоскові луски широкі, зверху загострені, опушені, з 3-8 поздовжніми жилками. На центральному стрижні колоски розташовані спіралью, дуже щільно навколо його осі, на бічних гілочках сині найчастіше розташовані на їх верхній стороні, що надає гілочкам дорзовентральний характер. Колоски двоквіткові. Квітки у них розвинені нерівномірно. Квітка складається з двох квіткових плівок та трьох тичинок. Квіткові плівки тонкі, прозорі, нерідко пігментовані. Чотирьохгніздний пильовик на момент дозрівання розташований на довгій тичинковій нитці. Під час цвітіння тичинкова нитка ще більше подовжується і виносить пильовик назовні, за межі квіткових плівок [9].

У кожному пильнику міститься 1000-2500 пилкових зерен. Зрілий пилочок має золотисто-жовтий колір.

Початки кукурудзи формуються як верхівкові суцвіття бічних пагонів, останні розвиваються з пазушних бруньок, що закладаються в пазухах листя як на головних пагонах, так і на пагонах другого і навіть (що рідше) третього порядків. Так як пазушні нирки можуть закладатися і зазвичай закладаються в пазусі кожного листа, за винятком 2-4 верхніх, то потенційно рослина може

формувати стільки качанів, скільки стеблового листа. Однак практично у більшості сортів кукурудзи качани зазвичай розвиваються в пазухах листа, розташованих від 7-го до 15-го вузла стебла.

Найбільшим і найрозвиненішим є верхній качан. Інші качани найчастіше бувають менші за розміром і дещо відстають у розвитку. Колоски двоквіткові. Квітки у них розвинені нерівномірно. Квітка складається з двох квіткових плівок та трьох тичинок. Квіткові плівки тонкі, прозорі, нерідко пігментовані. Чотирьохгніздний пильовик на момент дозрівання розташований на довгій тичинковій нитці. Під час цвітіння тичинкова нитка ще більше подовжується і виносить пильовик назовні, за межі квіткових плівок.

Стрижень качана буває різної товщини та щільності. Зазвичай вага стрижня у зрілому стані становить 18-25% ваги всього качана.

Оболонка зернівки кукурудзи складається з багат шарової перикарпії, що розвивається зі стінок зав'язі і слаборозвиненої власне насінневої оболонки. Перикарпій зазвичай зростається з оплоднем.

Плодова оболонка зернівки у кукурудзи різних сортів, залежно від того, які пігменти і в якій концентрації переважають, пофарбована в жовтий, помаранчевий, червоний, темно-вишневий, фіолетовий кольори. За відсутності пігментів - зернівки білі. Ендосперм може бути темно-жовтим, жовтим, світло-жовтим і білим; і різного ступеня інтенсивності. Якщо ендосперм прозорий, то його забарвлення може залежати від фарби алеїронового шару [9].

Ендосперм зернівок у різних ботанічних груп і сортів кукурудзи відрізняється, як це вказувалося, і за консистенцією. Розрізняють ендосперм борошністий, рогоподібний, склоподібний та воскоподібний. Різну консистенцію ендосперму можна бачити не тільки в зернах різних сортів та груп кукурудзи, але і в різних зонах однієї і тієї ж зернівки.

2.2 Агроекологічна характеристика кукурудзи

Кукурудза переробляє сонячне світло дуже ефективно, а її врожайність із гектара найвища серед усіх зернових культур. Це пов'язано з тим, що ця рослина типу С4 з більшою фотосинтетичною ефективністю в порівнянні з рослинами С3, якими є інші злаки, такі як пшениця.

Посів кукурудзи найчастіше проводять на глибину 3-5 см. Щільність посіву варіюється в залежності від типу використання, дати посіву та погодних умов. При посіві кукурудзи з можливістю одночасного внесення добрив під посів, важливо, щоб добриво потрапляло на місце на 5 см убік та на 5 см вниз по відношенню до зерна.

Оптимальна температура зростання кукурудзи 21-27°C. При температурі вище 32 °C рослина зростає повільніше, а врожайність знижується. У більшості країн кукурудзу сіють навесні. Залежно від клімату та умов даного вегетаційного періоду період від сходів до повної зрілості триває до 180 днів [12].

Після появи сходів стадії зростання кукурудзи визначають за кількістю листя, вказуючи найвищий їх, листова пластинка якого видно. Приблизно на шостому етапі нижнє листя відмирає і опадає, тому на цій стадії важливо визначити кількість листових піхв. На ранніх стадіях зростання рослини обмежене розміром листя та кореневої системи. Раннє розвиток листя впливає на врожайність зерна. Тому всі поживні речовини мають бути доступні на ранній стадії зростання, інакше погане зростання призведе до зниження врожаю. Критичною та ключовою стадією розвитку щодо харчування рослин є 10 днів до та після фази викидання волоті.

Незважаючи на високу потребу до вологи, кукурудза вважається культурою економною та ефективно використовує воду.

Кукурудза - культура короткого дня, цвітіння та запліднення відбуваються інтенсивніше в умовах короткого дня і при короткохвильовому

спектрі світла. Швидше вона зацвітає при 8-9-годинному дні. За тривалості дня понад 12-14 годин вегетаційний період подовжується.

За сприятливих погодних умов кукурудза вимоглива до мінерального харчування. На утворення біомаси кукурудзяна рослина споживає з ґрунту багато макро- та мікроелементів [11].

Особливістю кукурудзи є те, що на родючих ґрунтах при оптимальній кількості опадів у критичні періоди вегетації кукурудза здатна дати високий урожай зерна навіть без добрив [13].

Кукурудза відносно погано реагує на становище у сівозміні. Її можна вирощувати у монокультурі, але не частіше як 3-4 років поспіль. Якщо кукурудза не вирощується безпосередньо на гною, найкращим попередником є коренеплоди. Дуже добрий попередник – бобові, потім бобово-злакові суміші [12].

Обробку ґрунту під кукурудзу слід розпочинати у попередньому році. Гній для кукурудзи використовують лише восени. Зимове оранка необхідна. Обробіток ґрунту навесні обмежується перетягуванням або боронуванням.

Внесення добрив кукурудзи залежить від природного багатства ґрунту, попередника та очікуваного врожаю зеленої маси, а також від дальності внесення гною у сівозміні. Для виробництва 100 ц силосу потрібно: 30 кг N, 18 кг P_2O_5 , 35 кг K_2O та 5 кг S. Залежно від вмісту ґрунту рекомендується наступний рівень внесення добрив: 120–160 кг N перед посівом, у вигляді сечовини 80–120 кг P_2O_5 та 140–180 кг K_2O на 1 га [12, 13].

Термін сівби кукурудзи у південних та західних районах країни - третя декада квітня, а у східних та північних - перша декада травня. З посівом кукурудзи на силос відкладати не можна, оскільки це призводить до зниження врожайності. Важливим є оптимальне використання води. Оптимальна густина посіву повинна забезпечувати близько 100 000 шт. рослин на га. Поширена помилка – надмірна густота рослин. Правильну популяцію рослин забезпечують висівом насіння сівалкою точного висіву.

Слід враховувати ширину міжрядь 0,7–0,8 метра та глибину посіву 4–6 см на щільних ґрунтах та 6–8 см на легких ґрунтах.

Повільне зростання кукурудзи у початковій фазі змушує застосовувати селективні гербіциди. Вони мають бути економічними у використанні та ефективними у боротьбі з бур'янами. Їх слід підбирати залежно від сортів, що вирощуються. Боротьба зі шкідниками також важлива. Проростаючі рослини схильні до нападу зернових мух. Ще одним небезпечним шкідником є кукурудзяний метелик, а останнім часом і кукурудзяний жучок. Останній підлягає примусовому викоріненню.

2.3 Особливості вирощування кукурудзи за сучасних кліматичних змін

Кукурудза має основне значення задля забезпечення світової продовольчої безпеки. На великих територіях країн, що розвиваються, агровиробникам дістається лише невелика частина потенційно можливого врожаю внаслідок обмеженості природних ресурсів та недостатнього доступу до знань та технологій, які б дозволили підвищити продуктивність їх господарств.

Зміна клімату створює додаткові фактори стресу для зернових культур, у тому числі і кукурудзи, включаючи підвищення температури, зростання поширеності шкідників та хвороб, почастищення посух та повеней.

Сьогодні необхідна нова парадигма виробництва кукурудзи, яка б поєднувала в собі як високу продуктивність, так і екологічну стійкість.

Зміна клімату, деградація навколишнього середовища та відсутність зростання врожайності створюють загрозу для виробництва кукурудзи та глобальної продовольчої безпеки. Стійка інтенсифікація рослинництва може допомогти нагодувати світ, одночасно захистивши його природні ресурси.

До 2050 року щорічний світовий попит на кукурудзу, за прогнозами, досягне більших розмірів [14]. Основний приріст виробництва необхідно забезпечити за рахунок існуючих сільськогосподарських угідь. Однак одна

третина цих земель перебуває в деградованому стані, і частка сільського господарства в споживанні води зазнає зростання тиску з боку конкуруючих секторів.

Так, в Африці зміна клімату може мати катастрофічні наслідки для врожаїв зернових та призвести до зниження врожаїв кукурудзи на 20%. Можливості для зростання виробництва зернових загалом також обмежені такими явищами, як стагнація врожайності та спад доходності ресурсоемних систем виробництва [14].

Зростаючий попит на кукурудзу при скороченні її виробництва може до 2050 року році призвести до триразового збільшення обсягів імпорту кукурудзи країнами, що розвиваються.

Стійке підвищення продуктивності існуючих сільськогосподарських земель - це найкращий шлях для того, щоб запобігти значному зростанню цін на продовольство, зміцнити сільську економіку та джерела засобів для існування сімей, що проживають у сільській місцевості, а також скоротити кількість людей, що наражаються на ризик голоду та недоїдання. ФАО запропонувала модель інтенсифікації рослинництва «Зберегти та примножити», яка спрямована на підвищення врожайності та покращення поживних якостей сільськогосподарських культур при скороченні витрат як для фермерів, так й для навколишнього середовища [14].

2.3.1 Ресурсозберігаюче землеробство та здоров'я ґрунту

Зводячи до мінімуму порушення ґрунтового покриву та застосовуючи мульчування поверхні та чергування культур, виробники кукурудзи скорочують витрати, підвищують урожайність та зберігають природні ресурси. З метою збільшення доходів та підвищення стійкості до зміни клімату фермери, зайняті у виробництві зернових, диверсифікують культури та інтегрують у свої виробничі системи такі елементи, як лісівництво, тваринництво та аквакультура.

Надмірна культивуація землі з використанням плуга чи борони порушує захисний органічний покрив, знищує ґрунтову біоту, що викликає швидке розкладання органічної речовини, виснажує родючість ґрунту і призводить до деградації її структури [14].

По-друге, на поверхні ґрунту постійно зберігають сидерат або мульчу, що сприяє зниженню ерозії, збільшення інфільтрації води, збереження ґрунтової вологи, придушення зростання бур'янів та поширення ґрунтової біоти, яка сприяє здоров'ю ґрунту та розвитку сільськогосподарських культур.

По-третє, фермери підтримують постачання культур поживними речовинами, зменшують збитки від шкідників та хвороб та сприяють загальній стабільності системи шляхом спільного та почергового вирощування ширшого кола видів та сортів рослин і в міру доцільності включають у виробничі системи елементи лісівництва, тваринництва та аквакультури.

Ресурсозберігаюче землеробство сприяє покращенню здоров'я ґрунту та накопичення вуглецю, зменшення загрози шкідників, патогенів та ерозії, збільшує доступність води та поживних елементів, що підвищує стійкість культур до високих температур, посухи та повеней, покращує екосистемні послуги та сприяє послабленню процесів зміни клімату. Воно також знижує витрати виробництва за рахунок економії на техніці, робочій силі, органічному паливі, зрошенні, мінеральних добривах та пестицидах. Однак ресурсозберігаюче землеробство не є універсальним, придатним для всіх випадків підходом – методи, що використовуються для реалізації його ключових практик, що варіюються залежно від сільськогосподарських культур та місцевих умов [15].

Прийоми ресурсозберігаючого землеробства дозволяють оптимізувати вміст органічних речовин у ґрунті та його фізичні характеристики, що скорочує ерозію та підвищує ефективність використання води. Азотофіксуючі бобові підвищують родючість ґрунту та скорочують потреби

у мінеральних добривах. Внесення підживлення відповідно до потреб рослин у поживних речовинах допомагає фермерам скоротити застосування добрив та знизити збитки.

Здоров'я ґрунту визначається його здатністю функціонувати як жива система, яка дозволяє підтримувати нормальну життєдіяльність та продуктивність рослин та тварин, а також зберігає або покращує якість води та повітря³⁸. Здоров'я ґрунту має важливе значення для ефективного використання рослинами природних та зовнішніх виробничих ресурсів. Воно підвищує стійкість сільськогосподарських культур до абіотичних та біотичних стресів, які загострюватимуться внаслідок змін клімату [12, 14].

Для того щоб сільськогосподарські ґрунти можна було вважати здоровими, необхідно керувати ґрунтовою біотою такими методами, які дозволяють не лише підтримувати розвиток надійної кореневої системи та зростання рослин, а й забезпечити переважну частину екосистемних послуг, властивих його природному стану.

Надмірна, інтенсивна культивування руйнує структуру землі, подрібнюючи ґрунтові агрегати, зменшуючи вміст органічних речовин і пористість та підриваючи відповідні функції ґрунту: інфільтрацію, утримання та вивільнення вологи та поживних речовин [14].

Ряд прийомів передової сільськогосподарської практики сприяє покращенню здоров'я ґрунту, підвищує його родючість та збільшує як урожайність культур, так і довгострокову стійкість. Ці прийоми включають розумне застосування мінеральних та органічних добрив та ґрунтозахисних методів, у тому числі нульову обробку, використання рослинних решток як мульча і застосування змішаних видів зеленого добрива.

Багато ключових регіонів вирощування кукурудзи гостро потребують впровадження даних методів ведення сільського господарства для усунення дефіциту макро- та мікроелементів та підвищення рівнів ґрунтового органічного вуглецю (ПОУ) [16].

Відтворення запасів вуглецю є дорогим у плані часу та внесених ресурсів, таких як органічні добрива.

У системах вирощування даної культури метод прямого посіву – з використанням рослинних залишків як мульча – принесло відчутні вигоди для здоров'я ґрунту, в основному завдяки зменшенню втрат води за рахунок стоку та зниження ґрунтової ерозії. За п'ятирічний період рівень ґрунтового вуглецю підвищився приблизно на 30%, а врожай кукурудзи майже подвоївся [17].

Існують давні традиції вирощування бобових перед зерновими культурами або одночасно з ними, того щоб покращити продуктивність та здоров'я ґрунту. За рахунок біологічної фіксації азоту бобові привносять у ґрунт щорічно до 300 кг азоту на гектар. для навколишнього середовища.

2.3.2 Покращення сортів рослин

З метою підвищення продуктивності сільського господарства, підвищення рівня продовольчої безпеки та повноцінності харчування системи «Зберегти та примножити» використовують різноманітні та взаємодоповнюючі групи сільськогосподарських культур та їх покращені сорти. Сьогодні на полях вирощують сорти кукурудзи, які більш стійкі до біотичних та абіотичних стресів. Виведення більш продуктивних і поживних культур має підкріплюватися діяльністю систем, що забезпечують швидке розмноження високоякісного насіння.

Нові культури та сорти можуть бути задіяні в різних агроекологічних системах, де також відіграють важливу роль пов'язані з ними форми біорізноманіття: худобу, запилювачі, природні вороги шкідників, ґрунтові організми та азотфіксуючі дерева. Сучасні сорти повинні мати здатність адаптуватися до мінливих методів виробництва та умов комплексної боротьби зі шкідниками.

В умовах зміни клімату дуже важливою рисою зернових культур, особливо в тропіках, стане стійкість до спеки та посухи⁶⁰.

Сьогодні вже розроблені сорти, у тому числі гібридні, які в умовах посухи дають на 25% більше урожаю, ніж стандартні комерційні сорти. Деякі з них також жаростійкі і дають урожаї на 27% вище порівняно з комерційними сортами [12].

Сорти, які дають високий урожай за більш короткий термін вегетації, менш схильні до ризику температурного стресу, який характерний для кінцевих відрізків сезону, і відіграють важливу роль у розвитку сівозміни.

Сорти, стійкі до біотичних стресів, - це найбільш сприятливий в економічному та екологічному плані засіб протистояння зростаючим проблемам, пов'язаним із шкідниками та хворобами рослин.

Поєднання методів ресурсозберігаючого землеробства із застосуванням покращених сортів, які більш ефективно використовують воду та поживні речовини, покращить сумарні показники продуктивності та прибутковості в більшості систем рослинництва. Застосування сортів з більшою ефективністю використання добрив може знизити втрати поживних речовин добрив з полів, які в даний час становлять до 50% внесеного азоту та 45% фосфору [18].

2.3.3 Раціональне водокористування

Дотримуючись принципу «поливай менше, збирай більше» - додаткове зрошення посівів з використанням зібраної дощової води підвищує продуктивність води у чотири рази. Гребеневий посів кукурудзи з поливом по борознах дозволяє заощаджувати воду і отримувати вищі врожаї.

Нераціональне використання води в рослинництві виснажило підземні водоносні горизонти та зменшило обсяги річкового стоку, в басейнах багатьох річок недостатньо води для задоволення запитів сільського господарства, промисловості та міських зон. Крім того, надмірне

застосування мінеральних добрив та пестицидів піддає забруднення річки, озера та прибережні райони, завдаючи шкоди наземним та водним екосистемам і здоров'ю людей [16].

Зі зростанням конкуренції у попиті на прісну воду фермерам знадобиться суттєво покращити продуктивність води у своїх сільськогосподарських системах та скоротити негативний вплив виробництва зернових на якість ґрунту та поверхневих вод.

При зниженні доступності та якості води жоден із окремо взятих підходів не дозволить впоратися із завданням збільшення сільськогосподарського виробництва. Необхідно поєднувати водозберігаючі технології в зрошенні, збалансоване використання поверхневих та ґрунтових вод та застосування належних агротехнічних та ресурсозберігаючих практик, таких як нульова обробка землі, утримання рослинних залишків, гребневий посів та диверсифікація сільськогосподарських культур [16].

Системи гребневого посіву підвищують продуктивність води при вирощуванні кукурудзи в зонах, що не зрошують. Система «широкі гребні та борозни», з технологією збереження ґрунту *in-situ*, а також методами утримання вологи та дренажу підходить для глинистих ґрунтів, схильних до заболочування під час сезону дощів. Вона передбачає можливість посіву до чотирьох рядів сільськогосподарських культур за допомогою прецизійних сівалок на похилих гребнях, що утримують воду у ґрунтовому профілі та відводять надлишки в невеликі резервуари для подальшого використання.

Вирощування на гребнях з поливом по борознах, за рахунок чого вода надходить у ґрунт між двома рядами посадок, значно збільшує пористість ґрунту, вміст вуглецю та рівень інфільтрації, тим самим підвищуючи ефективність використання води сільськогосподарськими культурами. Застосування методики нульового обробітку ґрунту може ще більше посилити переваги гребневого посіву [13].

Ефективність використання води під час зрошення зазвичай не перевищує 50%. Найбільшою мірою ефективність водокористування можна

підвищити за рахунок застосування оптимального для цієї конкретної культури або сорти об'єму води у поєднанні з передовими методами керування [12].

2.3.4 Сучасні методи боротьби зі шкідниками та хворобами

Кукурудза – друга за поширеністю зернова культура у світі. Її виробництву можуть загрожувати понад 30 різних хвороб, у тому числі суха гнилизна качанів і стебел, яку викликають різні гриби. Однак найчастіше існує ще одна, пов'язана з хворобою, прихована небезпека – мікотоксини, які становлять загрозу для здоров'я тварин та людини. Наприклад, *Fusariumgraminearum* не тільки значно скорочує врожайність, а й продукує вомітоксин, який при попаданні в організм із сильно зараженою їжею або кормом може викликати шлунково-кишкові проблеми та пригнічення імунної системи, у тому числі зі смертельним наслідком у найважчих випадках. Мікотоксини в усьому світі вважаються однією з найбільших загроз для безпеки харчових продуктів.

У 2018 році у Сполучених Штатах високі рівні забруднення вомітоксином призвели до безпрецедентних економічних втрат у галузі виробництва кукурудзи, і з цією проблемою стикається не лише Північна Америка. В усьому світі зростає занепокоєння щодо обробки зараженого зерна фермерами, і навіть щодо споживання токсинів, особливо сільськогосподарськими тваринами [19].

Сьогодні багато уваги приділяється вивченню впливу погоди та інших факторів на розвиток фузаріозу і, що важливо, на продукування токсинів. Також розробляється доступна через Інтернет система прогнозування хвороби та продукування токсинів, яка допоможе попереджати фермерів про можливість високого рівня вмісту токсинів у врожаї зернових, а також надаватиме рекомендації щодо обробки та боротьби з хворобою [19].

Для визначення пріоритетності стратегій захисту від хвороб спочатку потрібно оцінити ризик, який несе у собі поразка різними шкідниками. За зменшенням рівня ризику: збитки від тварин шкідників значніші, ніж збитки від бур'янів, але й небезпеку, яку вони становлять, важче ідентифікувати. Збитки від захворювань (грибкових) можуть бути різними, іноді навіть фатальними, але ризик захворювань частково контролюється природною стійкістю кукурудзи до хвороб та знижується за допомогою вибору відповідних сортів (захворювання листя, патогенні гриби).

Боротьба з біологічними шкідниками поєднує превентивні заходи (стійкість сорту, агротехнічні заходи, хімічний захист, передпосівну або досходову) та оперативні заходи (боротьба зі сходами дикорослих рослин, з комахами на полі). У разі грибкових захворювань оперативні роботи проводяться на полях з культурами, що вирощуються за обговореними умовами, з вимогою абсолютної санітарної якості, або як крайній засіб, якщо всі попередні заходи не дали результату (гельмінтоспориоз і т.п.).

Боротьба зі шкідниками на кукурудзі спрямована виключно на захист потенційної врожайності шляхом збереження оптимальної кількості рослин на гектар та цілісності кожної рослини, особливо у разі ранніх нападів шкідників [20].

Небезпека шкідників часто недооцінюється. Вони можуть завдати врожаю непоправної шкоди, якщо було обрано низька густина стояння.

Захист кукурудзи в період зростання та наприкінці вегетаційного циклу (зокрема, проти комах точильників) спрямований на обмеження механічних втрат врожайності (злам рослини, опадання качанів) та на зниження ризику погіршення санітарної якості врожаю.

Багато шкідників здатні завдати значної шкоди насадженням кукурудзи. Частота поразок та ступінь небезпеки шкідників залежить від географічного регіону, ґрунтово-кліматичних та агротехнічних умов .

Боротьба зі шкідниками на кукурудзі починається з обмірковування робіт із захисту. Для цього:

- проводиться спостереження за симптомами,
- визначається вид шкідника,
- вивчаються фактори поширення різних шкідників та встановлюється пороговий рівень небезпеки для культури (пороговий рівень варіює залежно від цільового використання продукції),
- проводяться обробки насаджень відповідними фіто-препаратами захисту рослин, якщо є така можливість,
- між двома циклами вирощування культури застосовуються практично профілактичні, превентивні методи, які найефективніше перешкоджають створенню сприятливого середовища поширення шкідника наступного року [21].

За кілька років боротьба із шкідниками перейшла від стратегії повної дезінфекції ґрунту до стратегії цілеспрямованого захисту лінії посівів (локальне внесення мікрогранул), потім до захисту сходів (обробка насіння). Відтепер першим чинником боротьби стає генетика.

Точна спрямованість на середовище, в якому безпосередньо росте культура, значно знижує вплив на навколишнє середовище та кількість діючих речовин, що витрачається на гектар. Менш полівалентні та потужні, ніж раніше, сучасні препарати компенсують слабку дію стійкістю сортів, виробленої під час селекції. Таким чином, хімічні препарати слабше впливають на популяції комах, але все ж таки залишаються незамінним засобом боротьби для контролю над їх кількістю на засіяних полях.

До того ж, завдяки накопиченню даних у великих інформаційних базах, можливості їх обробки в реальному часі забезпечили значний прорив: сьогодні можна чітко та надійно розрахувати вплив заходів боротьби з хворобами на кукурудзі [20].

Зміни клімату (глобальне потепління змінює динаміку у популяціях комах, зокрема совок) та зміни агрономічних стратегій (зокрема, стратегії ухилення), технології впливають на заселеність поля шкідниками та їхню небезпеку.

Хороший результат дають усі технології, які сприяють швидкому проростанню та розвитку рослин, оскільки скорочують час уразливості: хороша обробка ґрунту та/або внесення стартових добрив, наприклад, проти шкідників кореневої системи (багатоніжки, личинки коренеїду, нематоди тощо). Вибираючи сорт із хорошою силою зростання, можна компенсувати збитки від комах певною густотою стояння. Низькі температури, вологість ґрунту уповільнюють появу сходів, збільшуючи ризик ураження шкідниками.

Крім кукурудзяного коренеїду комахи інших видів не збільшують своєї популяції внаслідок монокультури. Навіть якщо в одному виробничому басейні зосереджені великі площі під кукурудзою, що сприяє розмноженню шкідників, властивих саме кукурудзі (коренеїд), ці ж простори запобігають зараженню паразитами інших культур, наприклад, зараженню попелиць. Проте контроль над поживними залишками та контроль над шкідниками на культурах-попередниках повинні також враховуватися.

2.3.5 Перехід до стійкої інтенсифікації рослинництва: проблеми та переваги

Перехід до стійкої інтенсифікації рослинництва потребує кардинальних змін стратегічного керівництва у сфері продовольчого забезпечення та сільського господарства. Здійснення цих змін залежить від реалістичної оцінки всіх витрат, що з використанням необхідних реформ. Також потрібно ретельна адаптація стійких сільськогосподарських практик до конкретних місцевим умовам.

Інтенсифікація рослинництва, заснована на монокультурах та масованому вкладенні зовнішніх ресурсів, настільки порушила біорізноманіття та екосистемні послуги – включаючи генетичну різноманітність сільськогосподарських культур, формування ґрунту та біологічну азотфіксацію, – що фактично стала бути загрозою для сталого виробництва продовольства [14].

Якісний стрибок у виробництві зернових, скоєний у ході так званої «зеленої революції», було досягнуто ціною деградації земель, засоленості зрошуваних територій, виснаження підземних вод, підвищення стійкості шкідників та шкоди для навколишнього середовища в цілому внаслідок підвищеного викиду парникових газів та нітратного забруднення водою.

Інтенсивне рослинництво часто створює багате поживне середовище, дуже сприятливу для шкідників, що веде до безперервного зростання потреб у пестицидах, причому стійкість комах, бур'янів та патогенних мікроорганізмів підвищується. На сьогоднішній день у сільському господарстві щорічно застосовується близько 2,5 млн. тонн пестицидів. На глобальному рівні близько 220 видів бур'янів виробили стійкість до одного або більше гербіцидів, створюючи особливу загрозу для злакових.

Глобальне впровадження високоврожайних сортів зернових культур призвело до масштабних втрат генетичної різноманітності рослин та скорочення біорізноманіття загалом.

Крім того, інтенсивне рослинництво істотно сприяє викиду парникових газів, що викликає зміну клімату. Обсяг викидів, пов'язаних із сільським господарством та зі змінами рослинного покриву ґрунту, головним чином потреб сільського господарства, протягом останніх 50 років майже подвоївся й сьогодні сягає 25% від загального обсягу антропогенних викидів [14].

Масштаб майбутнього попиту потребує наявності як більш продуктивних, так і екологічно стійкіших систем вирощування зернових культур. У майбутньому близько 80% зростання рослинництва в країнах, що розвиваються. Доведеться забезпечувати з допомогою інтенсифікації. Сільськогосподарське зростання, як ніколи раніше, залежатиме від збільшення продуктивності шляхом підвищення врожайності культур.

Однак досягти підвищення врожайності кукурудзи тепер буде значно важче, ніж раніше. Переважна частина світових агроєкосистем зазнає серйозного дефіциту ґрунтового органічного вуглецю – основи родючості ґрунту. Третина сільськогосподарських угідь перебуває у занепаді – від

помірного до важкого ступеня – внаслідок ерозії, засолення, ущільнення та хімічного забруднення ґрунту.

В усьому світі райони зрошуваного виробництва дедалі більше страждають від засолення та заболочування. В Азії та Латинській Америці розширення територій виробництва кукурудзи вважається екологічно небезпечним через значне шкоди навколишньому середовищу та ризику подальшої деградації земель [14].

Багато богарних і штучно зрошуваних сільськогосподарських систем наближаються до межі свого виробничого потенціалу, при цьому вилучення ґрунтових вод перевищує рівень природного поповнення запасів води в ключових зернових районах по всьому світу.

Як очікується, зміна клімату, найбільш серйозний сьогодні екологічний виклик людству, матиме далекосяжні наслідки для виробництва кукурудзи.

Внаслідок того, що кукурудза – це в основному незрошувана культура, мінливість атмосферних опадів підвищить збитки від посухи та повеней у країнах Африки на південь від Сахари та в Азії [14]. Негативний вплив особливо явно буде відчутним у районах, де деградовані ґрунти більше не здатні захистити культури від посухи та теплового стресу. Зміна клімату, як очікується, призведе до зниження врожайності кукурудзи за рахунок збільшення частоти, тяжкості та поширеності грибкових хвороб, що також становить загрозу для безпеки харчових продуктів.

Агротехнічні прийоми, що передбачають збереження природних ресурсів, також збільшують врожайність культур та покращують потік екосистемних послуг.

З ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПОСІВІ КУКУРУДЗИ В УМОВАХ КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ

3.1 Адаптація до зміни клімату у сільському господарстві

Сільськогосподарський сектор стикається з викликом, щодо необхідності забезпечення адекватної кількості продовольчих продуктів та задоволення інших потреб населення, яке, за прогнозами, досягне до 2050 року дев'яти мільярдів. Можливість збільшення площі орних земель обмежена, при цьому виникає нова загроза для сільського господарства у вигляді зміни клімату з непередбачуваними змінами погоди, повеней та інших катастрофічних наслідків, що ще більше ускладнює завдання забезпечення населення земної кулі достатньою кількістю продовольства. Так як сільськогосподарський сектор все ще є одним з найбільш важливих секторів економіки в багатьох країнах, що забезпечують зайнятість населення і є основним джерелом доходу для бідних верств їхнього населення, не дивно, що більшість із них зацікавлені у технологіях з адаптації сільського господарства до змін клімату.

У різних частинах світу існують, або вже розроблені технології та практики, сприяють адаптації сільськогосподарського сектора до кліматичних змін. Вони включають, серед іншого, покращення прогнозування погоди, охорону та стійке використання водних ресурсів, краплинне зрошення, стійке використання ґрунтів, вдосконалення ведення тваринницького господарства, модифікацію типів сільськогосподарських культур та рослин. Деякі з цих заходів можуть вимагати певних інвестицій у той час як інші вимагають, переважно, підвищення рівня поінформованості та створення потенціалу до роботи з новими практиками.

Сільськогосподарські виробники протягом багатьох століть змінювали свої сільськогосподарські практики у зв'язку з мінливістю клімату та іншими

ситуаціями. Однак, зараз зміна клімату загрожує джерелам їх існування у зв'язку з дедалі більшою непередбачуваністю, частими та інтенсивними надзвичайними ситуаціями, такими як посухи, повені та морози. Здійснюються певні зусилля з метою документування цього досвіду, і цю інформацію можна отримати, головним чином, на Інтернет-платформах, поряд з деякими спеціалізованими публікаціями. Можна також знайти велику кількість літератури з певних проектів та програм, здійснених урядами, неурядовими організаціями (НУО), та іншим суб'єктам діяльності.

Сільськогосподарська діяльність дуже чутлива до зміни клімату, значного ступеня, тому що воно залежить від біорізноманіття та стану навколишнього середовища. Достатні запаси прісної води, родючий ґрунт, правильний баланс хижаків та запилювачів, температура повітря та середні погодні умови – все це сприяє підтримці продуктивності сільського господарства. Оскільки сільське господарство безпосередньо залежить від стану довкілля, вплив зміни клімату на сільське господарство стає все більш очевидним. Зміни циклів випадання опадів впливають на доходи, які приносять сільське господарство, оскільки знижується доступність водних ресурсів в і без того посушливих зонах, у той час як в інших регіонах спостерігаються їх надлишки (повені). Деякі орні землі можуть стати не придатними для обробітку, зміняться періоди вегетації і скоротиться продуктивність. У середніх та високих широтах північної півкулі більш тривалі сільськогосподарські сезони можуть позитивно позначитися на врожайності (там, де не спостерігатиметься негативного впливу щодо випадання опадів).

Ряд технологій з адаптації до зміни клімату в сільськогосподарському секторі представлено в «Інструкції щодо адаптації до змін клімату» дослідниками з багатьох країн світу з цього питання [22]. Вони пропонують 22 технології адаптації. Вони засновані насамперед на принципах агроекології, але при цьому включають і наукові технології в галузі клімату та біологічних наук, доповнені важливими соціологічними процесами та

процесами у сфері зміцнення потенціалу, які необхідні для здійснення адаптацію до зміни клімату. Технології включають:

- планування в галузі зміни клімату та його нестійкості;
- стійке водоспоживання та керування водними ресурсами;
- стійке використання ґрунтів;
- стійке керівництво рослинницьким господарством;
- стійке ведення тваринницького господарства;
- стійкі системи ведення фермерського господарства;
- зміцнення потенціалу та організація зацікавлених осіб.

У технологій, спрямованих на гомогенізацію навколишнього середовища та сільськогосподарського виробництва мало шансів на успіх в умовах екологічного стресу, який, ймовірно, може з'явитися внаслідок зміни клімату. З іншого боку, технології, що враховують різноманітність та сприяють йому, з більшою ймовірністю забезпечать розробку стратегії, що зміцнює сільськогосподарське виробництво перед обличчям не цілком зрозумілих сценаріїв зміни клімату у майбутньому. Науковці [22] вважають, що технології, продемонстровані в цій «Інструкції», були відібрані тому, що вони сприяють збереженню та відновленню різноманітності, а також забезпечують можливість підвищення продуктивності сільського господарства. Багато з цих технологій не є новинкою в галузі методів сільськогосподарського виробництва, але вони здійснюються на основі оцінки поточних та можливих у майбутньому впливів зміни клімату у конкретній місцевості. Агроєкологія – це підхід, що включає концепції сталого виробництва та розширення біорізноманіття, що є корисною основою для ідентифікації та вибору відповідних технологій з адаптації для сільськогосподарського сектора.

3.2 Загальна характеристика фізико-географічних та агрокліматичних умов району дослідження

«Кіровоградська область як адміністративно - територіальна одиниця в складі України утворилася 10 січня 1939 року. Вона розташована в центральній частині України у межах річки Дніпра і Південного Бугу на півдні Придніпровської височини. Переважна частина території області розташована на правому березі річки Дніпро, лише смт Власівка розташоване на його лівому березі» [23].

Кіровоградщина займає площу 24,6 тис кв. км, що становить 4,1% площі України. Адміністративним центром області є місто Кропивницький. В адміністративному відношенні область поділяється на 4 райони: Голованівський, Кропивницький, Новоукраїнський та Олександрійський.

«Своєрідність і різноманітність природних умов Кіровоградської області пов'язані з її розташуванням на межі лісостепової та степової зон. Поверхня області здебільшого являє собою плато або підвищену хвилясту рівнину, розчленовану густою сіткою річкових долин, балок і ярів. Пересічні висоти коливаються в межах 150 - 200 м над рівнем моря. Проте на території області спостерігається значна різниця абсолютних висот» [23].

«Протяжність області з півночі на південь становить майже 148 км, із заходу на схід - 335 км. На півночі Кіровоградська область межує з Черкаською областю, на північному сході - з Полтавською, на сході й південному сході - з Дніпропетровською, на півдні - з Миколаївською, на південному заході - з Одеською, на заході - з Вінницькою областями. За сто кілометрів на захід від обласного центру Кропивницького у Новоукраїнському районі розташований географічний центр України» [23].

«Клімат Кіровоградської області помірно - континентальний, недостатньо вологий, з добре вираженими порами року. Середньорічна кількість опадів становить 499 - 582 мм. Річна кількість опадів в області

скала 515,7 мм. Найбільше опадів випало у липні - 102,4 мм, а найменше в жовтні 21,4 мм» [24].



Рисунок 3.1 – Кіровоградська область

Лісостепова частина області зазнає впливу вологих повітряних мас з Атлантичного океану, а степова перебуває під впливом континентальних повітряних мас зі сходу. Вся територія області перебуває під дією західного перенесення повітряних мас помірних широт.

«Клімату Кіровоградщини властиві і небезпечні явища погоди, такі як сильні зливи, град, ожеледиці, пилові бурі тощо. Нерідким явищем у степовій зоні є пилові або чорні бурі та суховії, які завдають великих збитків господарству зменшеннями або повною загибеллю урожаю» [24].

Ґрунти області характеризуються високою родючістю. У північній частині області переважають чорноземи потужні малогумусні із вмістом

гумусу 5,0% та середньогумусні із вмістом гумусу трохи більше 5,5%. Значні площі тут займають чорноземи в різному ступені реградуровані, а також чорноземи опідзолені, темно - сірі опідзолені та сірі опідзолені ґрунти.

Актуальною проблемою регіону є водна ерозія ґрунтів.

Водні ресурси Кіровоградщини представлені річками, водосховищами, ставками та підземними водами. На просторах Кіровоградської області протікає 1599 великих, середніх і малих річок протяжністю 7233,6 км. Крім того, створено 2996 ставків і 57 водосховищ. Переважають так звані малі річки - водотоки довжиною до 10 км, багато з них навіть не мають назви. Річки області належать до басейнів Дніпра і Південного Бугу, основними в межах області є річки Інгулець, Тясмин, Синюха, Велика Вись, Чорний Ташлик, Ятрань, Інгул.

3.3 Оцінка агрокліматичних умов вирощування кукурудзи в умовах зміни клімату

Зміна клімату визначається як збільшення сукупних температур повітря біля поверхні землі та температур поверхні моря, усереднених у всьому світі за 30-річний період. Потепління виражається по відношенню до періоду 1850-1900 рр., використовуваному визначення наближеного значення доіндустріальних температур. Тенденція потепління з доіндустріальних рівнів порівняно з десятиліттям 2006-2015 років. оцінюється у 0,87 °С. З 2000 року оцінний рівень викликаного антропогенними факторами потепління відповідає рівню потепління, що спостерігається, в межах ± 20 відсотків з урахуванням невизначеності, пов'язаної із сонячною та вулканічною активностями протягом історичного періоду [25]. Кліматичні моделі демонструють стійкі відмінності в характеристиках регіонального клімату між сьогоденням та умовами при глобальному потеплінні на 1,5°C, а також між потеплінням на 1,5 та 2,0°C. Ці відмінності полягають у збільшенні наступних показників: середньої температури у більшості регіонів суші та

океану, екстремально спекотної погоди у більшості населених районів, сильних атмосферних опадів у низці регіонів, а також ймовірності посухи та нестачі атмосферних опадів у деяких регіонах.

Одним із найпростіших методів відображення можливих змін у кліматичному режимі будь-якої метеорологічної величини є порівняння з минулими даними, зокрема, середніми багаторічними величинами за базовий період. В даному дослідженні за базовий береться період з 1991 по 2020 рр. Для оцінки можливих змін клімату нами було використано сценарій RCP6.0 (репрезентативні траєкторії концентрації), як найбільш реалістичний.

Умови періоду вегетації кукурудзи за умов кліматичних змін RCP6.0 в Кіровоградській області у порівнянні з середньо багаторічними даними (1991 - 2020 рр.) представлено на рис.3.2. Наочно бачимо, що період вегетації кукурудзи за умов реалізації сценарію «клімат» буде проходити на фоні значно підвищених температур та зменшеної кількості опадів майже весь період вегетації.

Порівняння середніх багаторічних агрометеорологічних умов з сценарними щодо дат настання фаз розвитку кукурудзи на зерно, тривалістю періодів вегетації наведено в таблицях 3.1 та 3.2.

Розглянемо більш детально. Так, на Кіровоградщині в середньому за період 1991-2020 роки кукурудзу на зерно сіють у першу декаду травня (2 травня), після встановлення стійкого переходу температури через 10°C. З сценарними умовами терміни сівби очікуються на 1 дні пізніше – 3 травня. Сходи в середньому за багаторічними даними з'являються за 17 днів (19 травня), що майже співпадає з сценарними розрахунками - 18 травня.

Фаза викидання волоті у кукурудзи визначається за появою верхівки волоті з розтруба верхнього листа [19]. За багаторічних умов це відбувається у середині червня (14 червня) при накопиченні суми активних температур близької до 1080 °C. За умовами сценарію RCP6.0 викидання волоті кукурудзи в Кіровоградській області очікується в першій декаді липня (5 липня) при накопиченні суми активних температур на рівні 1046 °C,

тривалість періоду при цьому скоротиться на вісім днів у порівнянні з базовими умовами, середня температура повітря за цей період очікується на рівні 21,8 °С, що на 2,5 °С вище, ніж за базових умов. Щодо суми опадів, то за умовами сценарію RCP6.0 очікується норма.

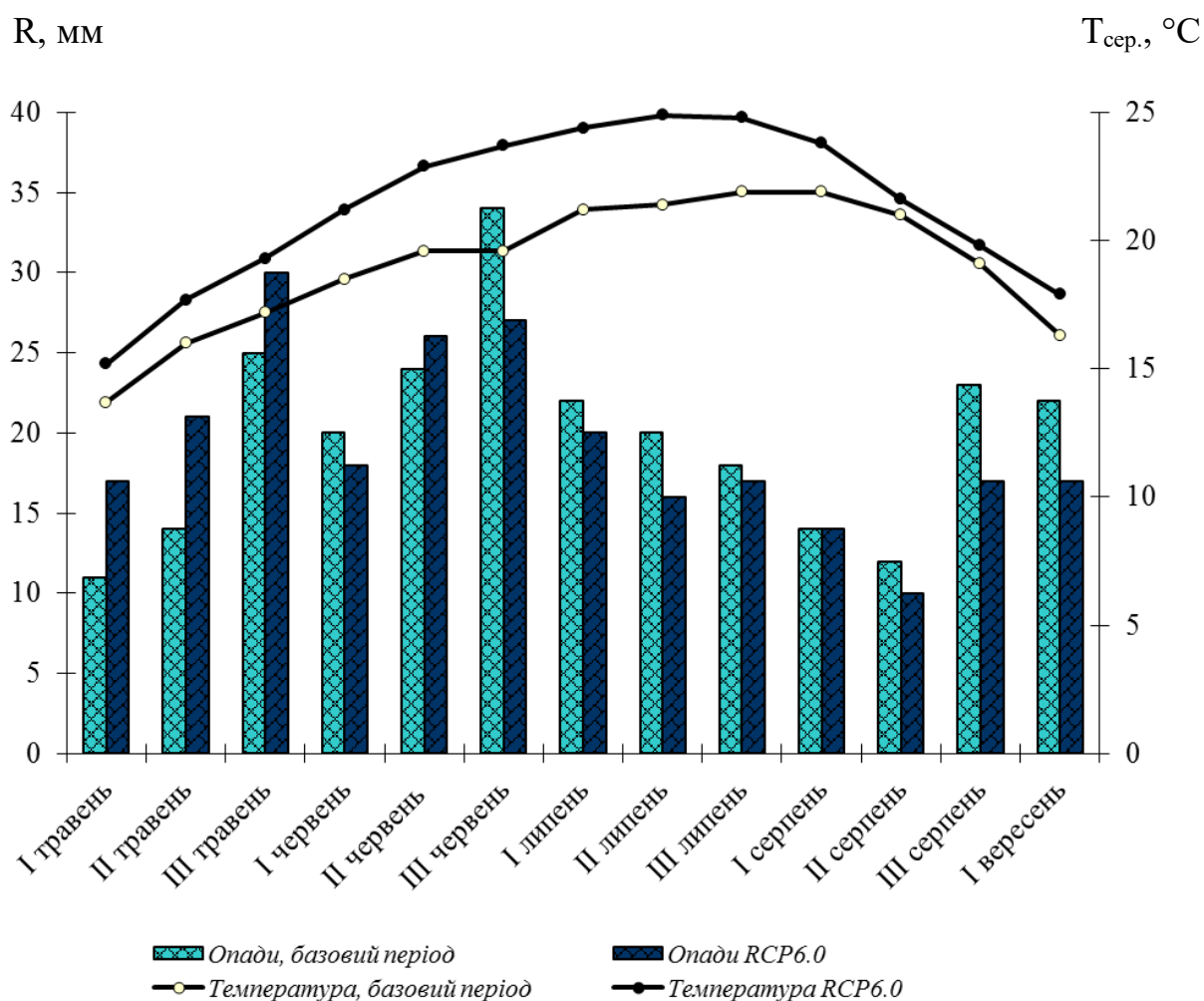


Рисунок 3.2 – Агрокліматичні умови періоду вегетації кукурудзи в Кіровоградській області за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з середніми багаторічними даними

Таблиця 3.1 - Фази розвитку кукурудзи за середніми багаторічними даними та за кліматичними змінами RCP6.0

Період	Сходи	Викидання волоті	Молочна стиглість	Воскова стиглість	Тривалість періоду, дні
1991-2020	19.05	14.07	8.08	6.09	109
RCP6.0	18.05	5.07	28.07	17.08	106
Різниця	-1	-9	-12	-20	-20

Таблиця 3.2 – Оцінка агрокліматичних умов вирощування кукурудзи по міжфазним періодам за середньо багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценарієм RCP6.0

Показник	Середня температура повітря за період, °C	Сума активних температур за період, °C	Сума опадів за період, %	Тривалість періоду
Сходи – викидання волоті				
1991-2020	19,3	1080	100	56
RCP6.0	21,8	1046	100	48
Різниця	+2,5	-344	0	-8
Викидання волоті – молочна стиглість				
1991-2020	21,8	545	100	27
RCP6.0	24,9	574	75	23
Різниця	+3,1	+29	-25	-4
Молочна стиглість – воскова стиглість				
1991-2020	20,1	562	100	28
RCP6.0	23,2	464	86	20
Різниця	+3,1	-98	-14	-8
Сходи – воскова стиглість				
1991-2020	20,1	2187	100	109
RCP6.0	22,9	2084	92	91
Різниця	+2,8	-103	-8	-18

За фазою викидання волоті у кукурудзи настає фаза молочної стиглості. В середньому за період 1991-2020 рр. у Кіровоградській області фаза молочної стиглості настає при накопиченні суми активних температур у 545°C наприкінці першої декади серпня (8 серпня), за умов кліматичних змін настання фази очікується вже наприкінці липня (28 липня) при накопиченні суми активних температур у кількості 574°C , тривалість періоду становитиме 23 дні, що на 2 дні коротше, ніж за базових умов. Очкується, що середня температура повітря збільшиться на $3,1^{\circ}\text{C}$ у порівнянні з багаторічними. Також, очікується зменшення кількості опадів за умовами сценарію RCP6.0 на 25 відсотків (табл. 3.1 та табл. 3.2).

Фаза воскової стиглості вважається тоді, коли обгортка качана втрачає зелений колір, жовтіє і підсихає. Зернівки вже сформувалися і в середній частині качана набувають воскову консистенцію, легко ріжуться ножом, а при розрізанні зернівки вздовж «молочка» не виявляється. Нижні та частина середнього листа до цього часу вже підсихають [19]. В середньому за базовий період 1991-2020 рр. в умовах Кіровоградській області фаза воскової стиглості настає при накопиченні суми активних температур у 562°C в першій декаді вересня (6 вересня), за умов кліматичних змін настання фази очікується вже в середині серпня (17 серпня) при накопиченні суми активних температур у кількості 464°C та тривалістю періоду у 20 днів, що на 8 днів коротше, ніж за базових умов. Очкується, що середня температура повітря збільшиться на $3,1^{\circ}\text{C}$ у порівнянні з багаторічними. Також, очікується зменшення суми опадів за умовами сценарію RCP6.0 на 14 відсотків (табл. 3.1 та табл. 3.2).

В цілому за період вегетації за умов зміни клімату скоротиться на два з половиною тижня, що призведе до скорочення тривалості міжфазних періодів (пришвидшення настання наступних фаз розвитку культури), при цьому очікується значне збільшення середньої температури повітря, особливо в середині періоду вегетації. Очкується значне зниження кількості опадів у порівнянні з базовими умовам.

3.4 Оцінка фотосинтетичної продуктивності посіву кукурудзи в умовах зміни клімату

В тисячолітті, що настав, фотосинтез як і раніше залишається однією з провідних проблем сучасного природознавства, від вирішення якої багато в чому залежить існування людської цивілізації на нашій планеті. Насамперед, це стосується проблеми харчових та енергетичних ресурсів за рахунок підвищення продуктивності природних та культурних фітоценозів. Уявлення про зв'язок фотосинтезу рослин із їх продуктивністю спочатку базувалися у тому, що з-поміж них існує пряма залежність. Тому зусилля дослідників були спрямовані на встановлення позитивного зв'язку між інтенсивністю фотосинтезу та загальною фітомасою, зокрема господарським урожаєм. Однак надалі було показано, що ця залежність набагато складніша. Ще I. Briggs із співавторами (1920) та P.G. Gregory (1941) вперше звернули увагу на потужність та час роботи асиміляційного апарату.

Поворотним етапом у розвитку цієї проблеми стала теорія фотосинтетичної продуктивності, розроблена у середині 50-х років ХХ століття [26]. Основні положення теорії полягають у тому, що посів культурних рослин (агро-фітоценоз) розглядається як цілісна фотосинтезуюча динамічна оптико-біологічна система, продуктивність якої залежить від кількості енергії сонячного світла, що поглинається нею, і від коефіцієнта використання її на фотосинтез. Комплекс усіх агротехнічних прийомів (сорт, густота, терміни та способи посіву, постачання водою та елементами мінерального харчування) служить засобом створення посівів з найкращою структурною організацією, що забезпечує найповніше використання енергії сонячної радіації на фотосинтез та формування врожаю. При цьому забезпеченість посівів водою та елементами мінерального живлення повинна відповідати кількості енергії сонячної радіації, що приходить. Тому в кожній конкретній зоні вирощування будь-якої культури можна знайти таке поєднання умов середовища (волога, елементи

повітряного та мінерального живлення, світловий фактор), яке визначає оптимальний прояв елементів фотосинтетичної діяльності та формування найбільшої продуктивності культурних рослин залежно від їх генотипних (видові та сортові) особливостей. На цій основі можна розробляти врівноважені системи агротехнічних та селекційних заходів, що забезпечують отримання врожаїв із заздалегідь заданими коефіцієнтами корисної дії ФАР у конкретних умовах обробітку різних культур. Теорія визначає поняття про оптимальні графіки формування площі листя протягом вегетаційного періоду, про фотосинтетичні потенціали агрофітоценозу ефективності фотосинтезу Крім того, враховуються також приходи ФАР у різних географічних зонах, з'ясовується ступінь фотосинтетичної повноцінності цієї енергії залежно від поєднань її з режимами температури, вологості, кількості вуглекислоти, ґрунтової родючості, фізіологічних та екологічних особливостей рослин. Виявляються особливості видів та сортів рослин, здатних створювати найбільш досконалі за структурою та результатами фотосинтетичної діяльності агрофітоценози. Встановлюються також теоретично можливі коефіцієнти використання енергії, необхідні для цього показники, а також рівні забезпеченості вологою та мінеральним харчуванням. У конкретних умовах знаходиться невідповідність між теоретично можливими та реальними показниками фотосинтетичної діяльності, з'ясовуються причини, обґрунтовуються та розробляються шляхи їх подолання.

Теорія розглядає врожай як кінцевий результат складної інтегральної фотосинтетичної діяльності рослин в агрофітоценозі, яка починається з фотосинтезу та через ланцюг процесів перетворення речовин та енергії реалізується у його формуванні. У зв'язку з цим вона поєднує всі рівні організації фотосинтетичного апарату (хлоропласт, орган, рослина, агрофітоценоз) в єдину комплексну систему і вимагає від дослідників узгоджених та взаємопов'язаних умов для найкращого вирішення задачі підвищення продуктивності рослин. Основна мета цих досліджень - знайти

шлях до науково обґрунтованого планування врожаїв, виходячи з надходження сонячної радіації, кліматичних умов, а також агротехнічних та селекційних заходів стосовно кожної конкретної зони вирощування культурних рослин [26].

Площа листя, індекс листової поверхні, фотосинтетичний потенціал і чиста продуктивність фотосинтезу є основними показниками, що характеризують продукційний процес в посівах.

Для оцінки можливих змін клімату нами було використано сценарій RCP 6.0 (репрезентативні траєкторії концентрації), який є сценарієм стабілізації та на сьогодні вважається найбільш реалістичною можливістю [27] та сценарій RCP 6.0+CO₂, що враховує збільшення CO₂ на 30%.

Оцінка впливу змін клімату на продуктивність кукурудзи виконана на основі динамічної моделі продуктивності посівів сільськогосподарських культур А.М. Польового [28]. Ідентифікація параметрів моделі проведена на основі даних спостережень на мережі гідрометеорологічних станцій Гідрометеорологічної Служби України Державної служби із надзвичайних ситуацій України [2].

Для характеристики показників фотосинтетичної продуктивності кукурудзи та агрокліматичних умов вирощування за різними кліматичними умовами були розраховані за міжфазними періодами:

- дати настання фаз розвитку кукурудзи;
- суми позитивних температур повітря;
- сума опадів;
- відносна площа листя кукурудзи;
- чиста продуктивність фотосинтезу;
- фотосинтетичний потенціал;
- приріст загальної сухої біомаси в період максимального розвитку.

У літературі відзначається, що зв'язок асиміляційної поверхні з біологічним урожаєм, зокрема з господарською його частиною, зберігається лише до певних розмірів [26]. У зв'язку з чим, сьогодні в умовах стрімкої

зміни кліматичних умов велике значення приділяється питанню щодо створення і визначенню необхідної площі листя для кожної культури і сорта в конкретній природно-кліматичній зоні. Так, як оптимальна оптико-біологічна структура посівів забезпечує можливість уникати втрати сонячної енергії і є одним з основних шляхів підвищення продуктивності фотосинтезу і, в кінцевому рахунку, врожаю. Ідея оптимальної листової поверхні отримала широке розвиток і за кордоном [29-32].

За розрахунками деяких дослідників, в залежності від зони вирощування і високоврожайності сорту площа листя кукурудзи повинна становити від 5,0 до 7,0 м²/м² [12].

Розглянемо відмінності в інтенсивності нарощування площі листя у кукурудзи за всіма варіантами. В максимальний період росту (третя декада липня) площа листя за базовими умовами становить 3,3 м²/м², за сценарієм RCP6.0 очікується зниження значення площі листя до 2,9 м²/м², в умовах збільшення рівню CO₂, очікується збільшення площі листя рослини до 3,5 м²/м² (друга декада липня) (табл. 3.3).

Динаміка накопичення відносної площі листя посівів кукурудзи в Кіровоградській області по декадам в умовах зміни клімату RCP6.0 та RCP6.0+CO₂ у порівнянні з базовим періодом представлено на рис. 3.3. Динаміка росту площі листя як в умовах зміни клімату так й за базовими умовами була майже однаковою, але кількісні її показники значно відрізняються. Але у всіх випадках ці значення відповідають між фазному періоду вегетації викидання волоті – молочна стиглість.

Розглянемо графік динаміки середньої за декаду інтенсивності фотосинтезу посівів кукурудзи в Кіровоградській області в умовах зміни клімату RCP6.0 та RCP6.0+CO₂ у порівнянні з базовим періодом (рис. 3.4). Наочно бачимо, що у всіх випадках ці значення відповідають періоду викидання волоті – молочна стиглість.

Таблиця 3.3 - Показники фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи за період вегетації за базовими даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями в умовах Кіровоградської області

Період	Варіант	Період максимального росту			Суха біомаса цілої рослини, г/м ²	Урожай, %
		площа листкової поверхні, м ² /м ²	приріст загальної сухої біомаси, г/м ² за добу	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м ² за добу		
1991-2020	Базовий	3,3	208	6,6	765	100
2021–2050	RCP6.0	2,9	159	4,4	536	70
	RCP6.0+CO ₂	3,5	181	4,9	622	81

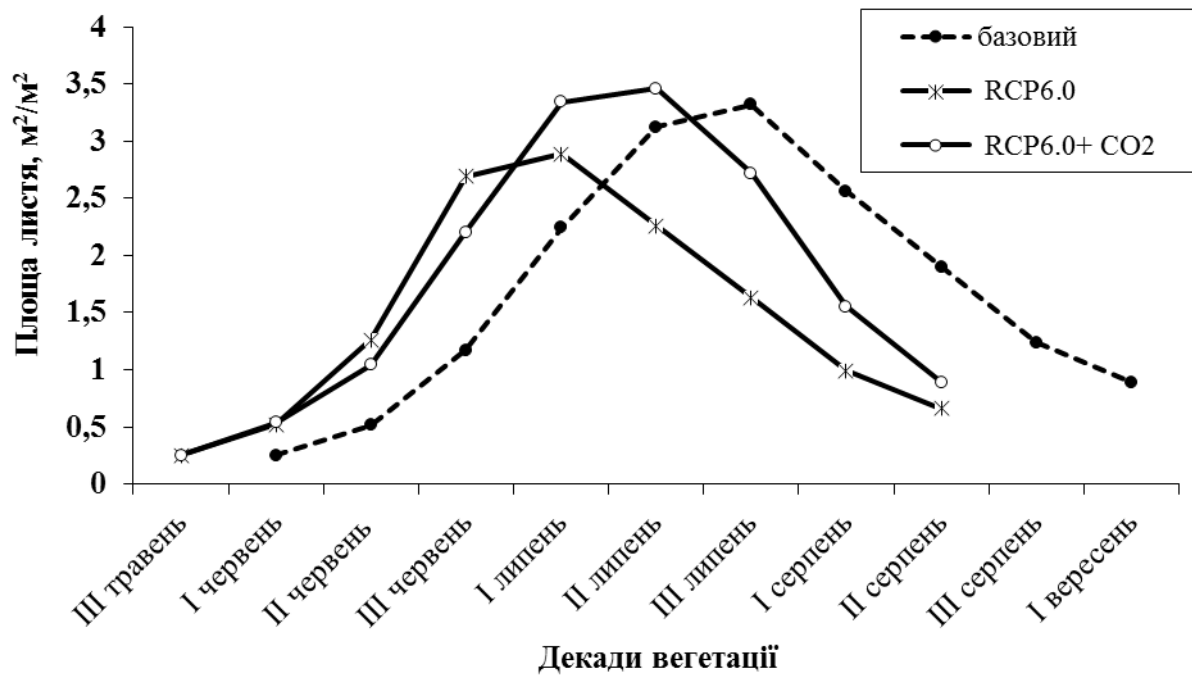


Рисунок 3.3 - Динаміка відносної площі листя посівів кукурудзи на зерно за період сходи – воскова стиглість за середньо багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями в умовах Кіровоградської області

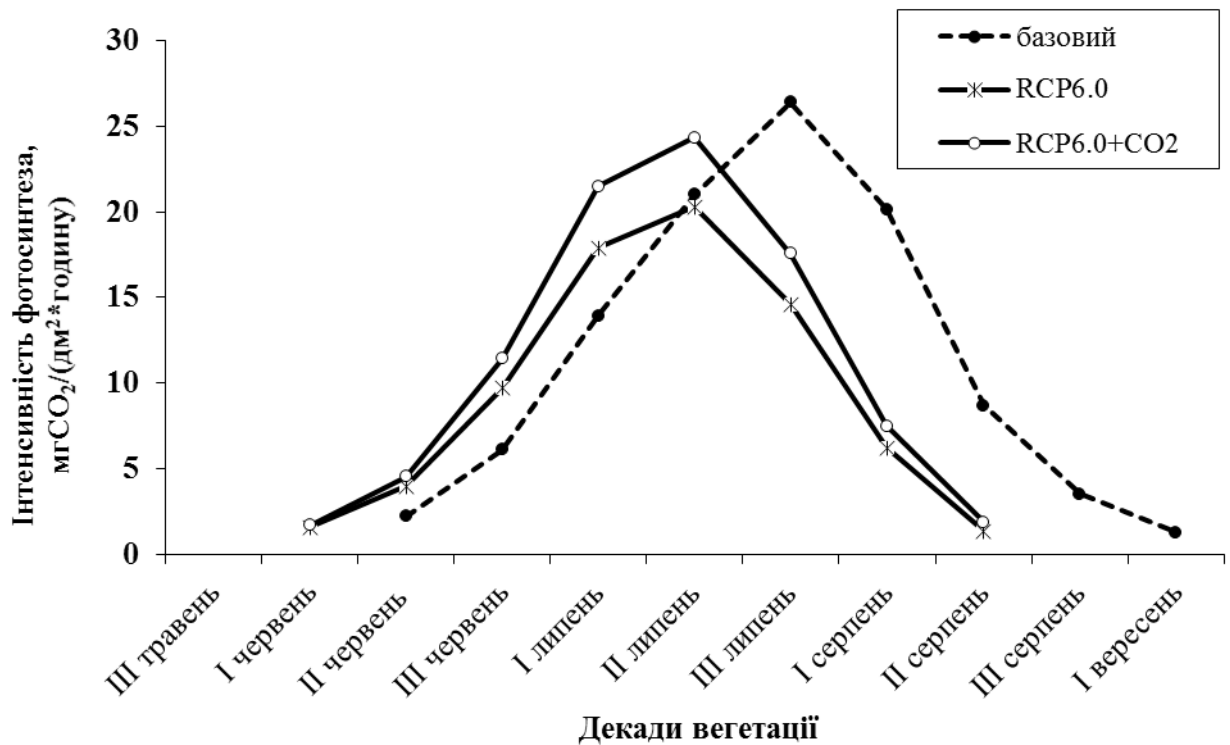


Рисунок 3.4 - Динаміка середньої за декаду інтенсивності фотосинтезу посівів кукурудзи на зерно за період сходи – воскова стиглість за середньо багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями в умовах Кіровоградської області

За сценарними умовами RCP6.0 та RCP6.0+CO₂, в обох випадках очікується зниження максимального значення інтенсивності фотосинтезу за декаду до 20,2 та 24,3 мгСО₂/дм²*годину) відповідно, у порівнянні з базовими умовами (26,5 мгСО₂/дм²*годину)).

Одним з показників, що характеризують продукційний процес рослин, є чиста продуктивність фотосинтезу. На рисунку 3.4 представлена динаміка чистої продуктивності фотосинтезу посівів кукурудзи в Кіровоградській області за період вегетації за базовими умовами у порівнянні з очікуваними кліматичними змінами за сценаріями.

Максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу посівів кукурудзи в середньому за базовими умовами становить 6,6 г/м² (табл. 3.4). За умовами кліматичних змін RCP6.0 та RCP6.0+CO₂ очікується зниження

значення чистої продуктивності фотосинтезу до 4,4 та 4,9 г/м² відповідно. Це пов'язано з реакцією рослин на підвищення CO₂, так за умов збільшення CO₂ в повітрі відбувається збільшення площі листя.

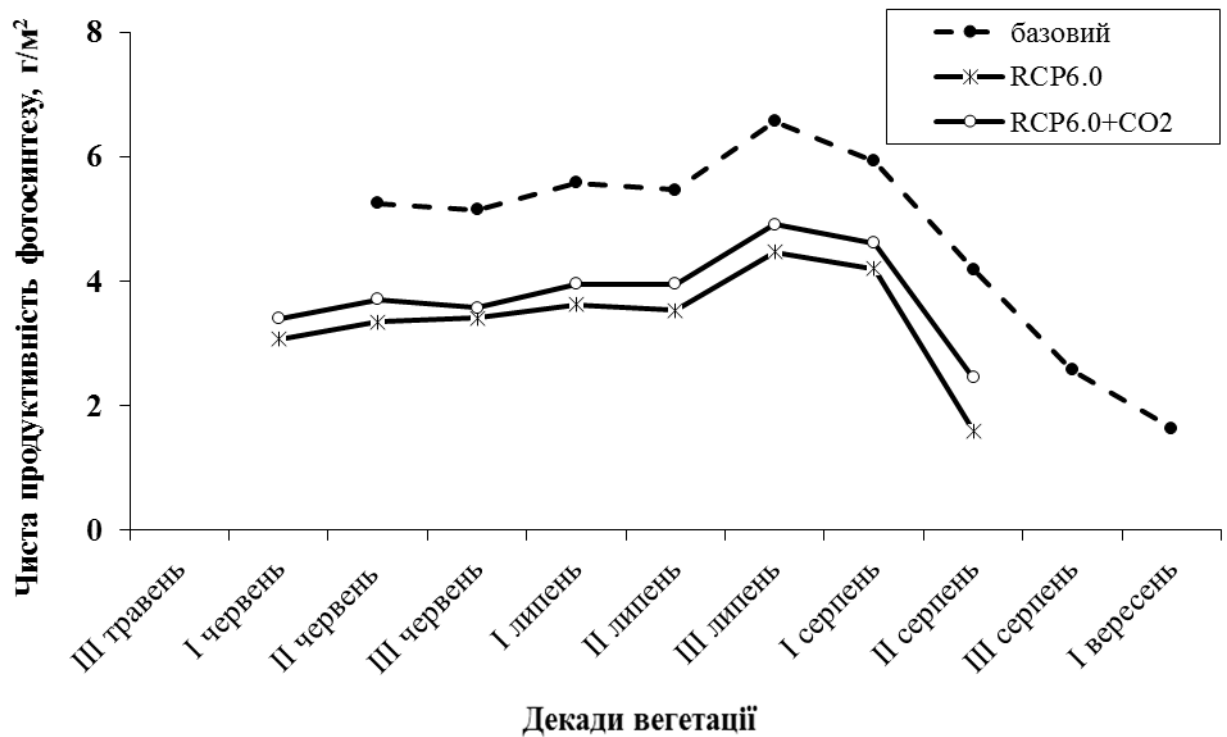


Рисунок 3.5 – Динаміка чистої продуктивності фотосинтезу посівів кукурудзи на зерно за період сходи – воскова стиглість за середньо багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями в умовах Кіровоградської області

Така реакція рослин на підвищення CO₂ обумовила і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси кукурудзи та її приростів (табл. 3.3).

Динаміка приростів сухої біомаси цілої рослини кукурудзи в період сходи – воскова стиглість за умовами зміни клімату у порівнянні з базовим представлено на рис. 3.6. Наочно бачимо, що максимальні значення приросту загальної сухої біомаси посівів кукурудзи за базовими умовами становить 208 г/м² (табл. 3.3). В умовах зміни клімату очікується зниження: за

сценарієм RCP6.0 очікується зниження до 159 г/м^2 , за сценарієм RCP6.0+CO₂ – до 181 г/м^2 .

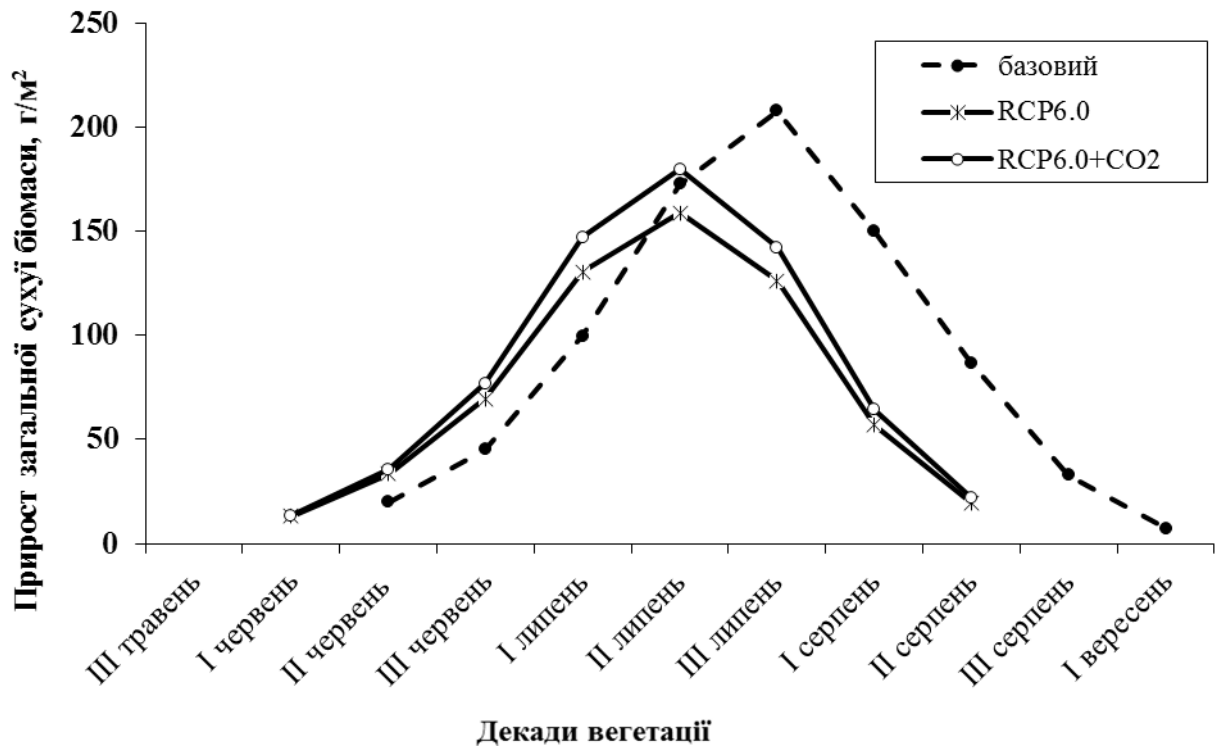


Рисунок 3.6 – Динаміка приростів загальної сухої біомаси посівів кукурудзи на зерно за період сходи – воскова стиглість за середньобогаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями в умовах Дніпропетровської області

Динаміка сухої біомаси цілої рослини кукурудзи за період сходи – воскова стиглість за середньобогаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями представлено на рис. 3.7.

Розглянемо ці зміни, так, максимальне значення загальної сухої біомаси посівів кукурудзи на зерно за базовими умовами становить 756 г/м^2 (табл. 3.3). в умовах зміни клімату очікується зниження загальної маси рослини: за сценарієм RCP6.0 очікується зниження до 536 г/м^2 , за сценарієм RCP6.0+CO₂ – до 622 г/м^2 (рис. 3.7).

Головним результатом обробітку будь якої зернової культури, що вирощується на продовольчі цілі, є отримання зерна високої якості. За умовами кліматичних змін в обох випадках очікується зменшення врожайності зерна кукурудзи: за сценарієм RCP6.0 очікується зниження на 30 %, а за умовами кліматичних змін RCP6.0+CO₂ на 19 %.

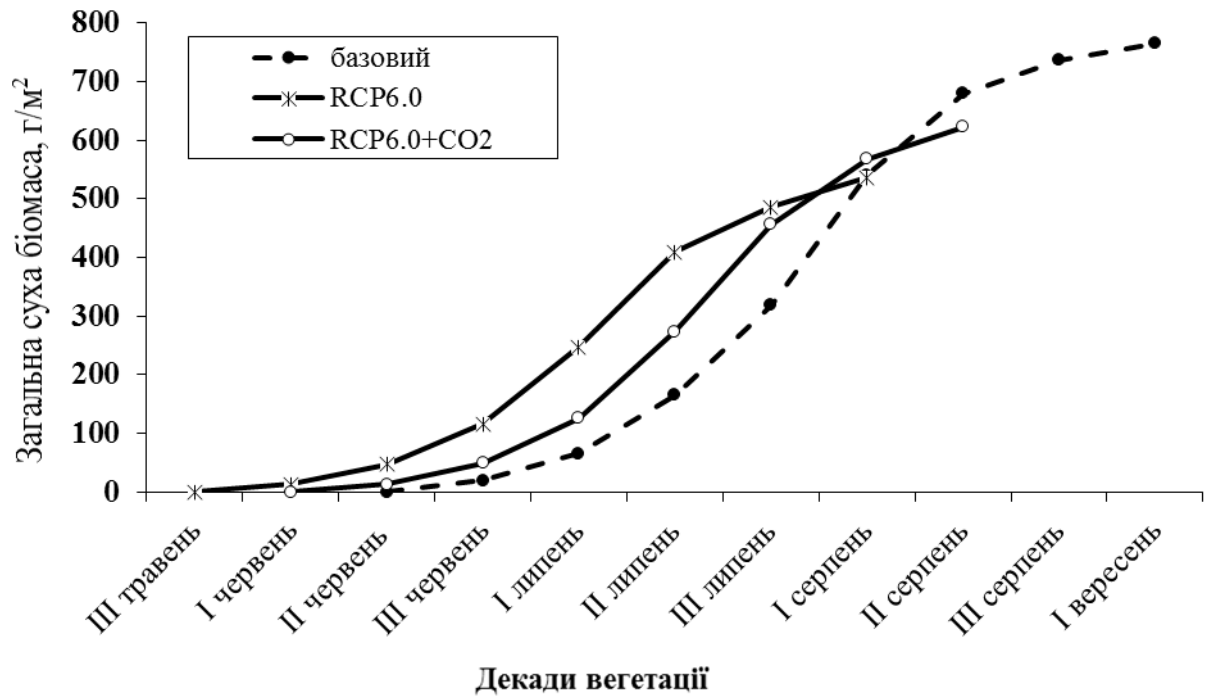


Рисунок 3.7 – Динаміка загальної сухої біомаси посівів кукурудзи на зерно за період сходи – воскова стиглість за середньо багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями в умовах Кіровоградської області

Фотосинтез є дуже складним за умовами організації та функціонування процесом. На нашу думку, короткострокові плани покращення показників фотосинтетичної діяльності рослин в умовах Кіровоградської області повинні включати оптимізацію площі та сучасні агротехнічні заходи, такі як обробіток ґрунту за новими технологіями, використання сортів та гібридів, що пристосовані до посушливих умов та мають таке розташування листя в

рослинному посіві, що дозволить уникнення нерівномірного насичення світла та зниження його фотодихання та інші сучасні заходи.

У довгострокових планах слід орієнтувати на вдосконалення шляхів до засвоєння CO_2 на основі оптимізації основних компонентів фотосинтетичного апарату.

4 ОЦІНКА МІНЛИВОСТІ ВРОЖАЙНОСТІ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ НА ТЕРИТОРІЇ КІРОВОГРАДСЬКІЙ ОБЛАСТІ

4.1 Методи оцінки мінливості врожайності сільськогосподарських культур

Мінливість урожайності - це складний процес та характеристика відхилень від середньої багаторічної величини недостатня. Мінливість врожайності – це поєднання основний тенденції з коливанням рівнів в окремі періоди чи моменти від основний тенденції. Зниження коливання, підвищення стійкості виробництва - найважливіша економічна проблема як аграрного, а й інших галузей виробництва.

Знання залежності сільськогосподарських культур від впливу різних факторів дозволяють приймати науково-обґрунтовані рішення під час планування виробництва сільськогосподарської продукції, та оцінити ефект від впровадження різноманітних заходів.

З метою оцінки факторів, що формують урожай, потрібно глибоке пізнання не тільки економічних, технологічних процесів, а й статистичного обґрунтування заходів щодо обробітку сільськогосподарських культур. Погода, метеорологічні чинники та умови виробництва змінюються повсюдно та безперервно. Іноді ці зміни вигідні, а частіше завдають великої шкоди.

Дослідження в галузі глобального потепління клімату [33, 34] вказують, що в найближчому майбутньому буде більше аномально спекотних періодів та менше днів із сильними морозами (як окремих днів, так і середніх сезонних значень). Спекотні періоди будуть частіше та тривалішими. У зв'язку зі сказаним вище виникає необхідність збільшення продуктивності вирощуваних культур у сільському господарстві за рахунок поліпшення культури землеробства. Правильно підібрана система землеробства дозволяє заповнити дефіцит природних ресурсів, які допомагають

сільськогосподарській культурі досягти потенційної врожайності за умов конкретного місця зростання.

Чинники, які впливають на продуктивність рослин, прийнято ділити на 3 групи:

1 - стійкі чинники - до них належать місце розташування, ґрунт, особливості біології рослин та інші;

2 - чинники, які залежать від культури землеробства - їхнє зростання впливає позитивно на продуктивність культур, що вирощуються в аграрному секторі;

3 - фактори, динаміка яких може впливати чи позитивно, чи негативно на формування врожайності; врахування особливостей цих факторів дозволяє оцінити доцільність застосування різних заходів вирощування культур та розрахувати економічний ефект виробництва.

Пасов В.М. [35], вивчаючи фактори, що впливають на сільськогосподарське виробництво, запропонував їх ділити на 2 класи:

1. Чинники, які формують рівень культури землеробства.
2. Чинники агрометеорологічного походження.

Фактори першої групи формують тенденцію врожайності, а фактори другої групи впливають на щорічні коливання врожайності сільськогосподарських культур вище або нижче за тренд у конкретному регіоні.

Динамічні ряди врожайності можна розглядати як суму двох додатків – детермінованої та випадкових відхилень від неї. Тенденція врожайності є наслідком культури землеробства за середнього рівня ґрунтово-кліматичних умов [35]. Її величина залежить від впровадження у практику досягнень науки та техніки; Зміни випадкової компоненти часових рядів урожайності визначаються головним чином агрометеорологічними умовами періоду конкретних років.

Статистична оцінка рівня культури землеробства проводиться шляхом розрахунку тенденції мінливості врожайності, а коливання її щодо цієї лінії створюються внаслідок зміни агрометеорологічних умов [36, 37].

Лінія тренду є середньої нормальної лінією врожайності для даного району, що визначається середніми кліматичними умовами цього району і рівнем культури землеробства [35]. Відхилення від лінії тренду більш показові для оцінки коливань урожайності залежно від агрометеорологічних умов, ніж відхилення від середніх багаторічних величин, оскільки в цьому випадку приріст врожайності за рахунок підвищення культури землеробства вже враховано лінією тренду, що погоджується [37].

4.2 Просторово-часова оцінка мінливості врожайності зерна кукурудзи в Кіровоградській області

Нами був виконаний аналіз динаміки врожайності кукурудзи за період з 2000 по 2023 роки за даними Державної статистичної служби України [7] для території Кіровоградської області. За допомогою методу гармонійних ваг нами була визначена тенденція врожайності, досліджувалися ряди врожайності. Також були визначені відхилення розрахункових значень тренду від фактичних, проведена оцінка правильності вибору виду тренда та перевірка гіпотеза про те, що випадкова компонента являє собою стаціонарний випадковий процес (табл. 4.1). Результати цієї роботи представлені на рис. 4.1 та рис. 4.2.

На рисунку плавна лінія характеризує тренд врожайності, а ламана лінія - щорічні коливання врожайності за рахунок різних факторів, основу яких становить клімат. У період із 2000 по 2023 р. врожайність зерна кукурудзи у Кіровоградській області не була стабільною (рис.4.1). Найнижча врожайність відмічається у 2007 та 2020 роках у розмірі 25,2 ц/га, 27,6 ц/га відповідно. Максимальна врожайність була досягнута в 2011 та 2021 роках - 65,6 та 70,3 ц/га. Середня врожайність за 24 роки становила 47,5 ц/га,

коефіцієнт варіації 21%. Побудована лінія тренда вказує на динаміку збільшення врожайності за досліджений період у середньому протягом року на 1,5 ц/га.

Таблиця 4.1 - Оцінка випадковості відхилень врожайності від тренда та оцінка правильності вибору тренда

Оцінка випадковості відхилень врожайності від тренда							
Рік	ε	$\varepsilon \downarrow$	Серії	Рік	ε	$\varepsilon \downarrow$	Серії
2000	5,01	16,18	-	2012	-14,08	0,75	+
2001	0,21	16,06	-	2013	3,92	0,21	-
2002	0,75	15,21	-	2014	-2,02	0,14	+
2003	-0,12	10,12	+	2015	0,14	-0,12	+
2004	16,18	7,79	-	2016	4,14	-0,53	-
2005	5,35	7,57	-	2017	-12,96	-1,64	+
2006	-1,72	5,35	+	2018	7,79	-1,72	-
2007	-18,05	5,01	+	2019	10,12	-2,02	-
2008	7,57	4,14	-	2020	-24,75	-12,96	+
2009	-0,53	3,92	+	2021	16,06	-14,08	-
2010	3,41	3,41	-	2022	-1,64	-18,05	+
2011	15,21	2,38	-	2023	2,38	-24,75	-
$\varepsilon_{med} 1,57$							
Оцінка правильності вибору тренда							
Область	$k_{max}(n)$	$v(n)$	$3.3(\lg n + 1)$	$\frac{1}{2}(n+1-1.96)\sqrt{n-1}$			
Кіровоградська	3	17	7,8	7,4			

Розрахована для кожного року вирівняна врожайність характеризує рівень агротехніки, досягнутий цього року, а розподіл величин метеорологічної складової характеризує частину мінливості врожайності, щодо особливостей клімату.

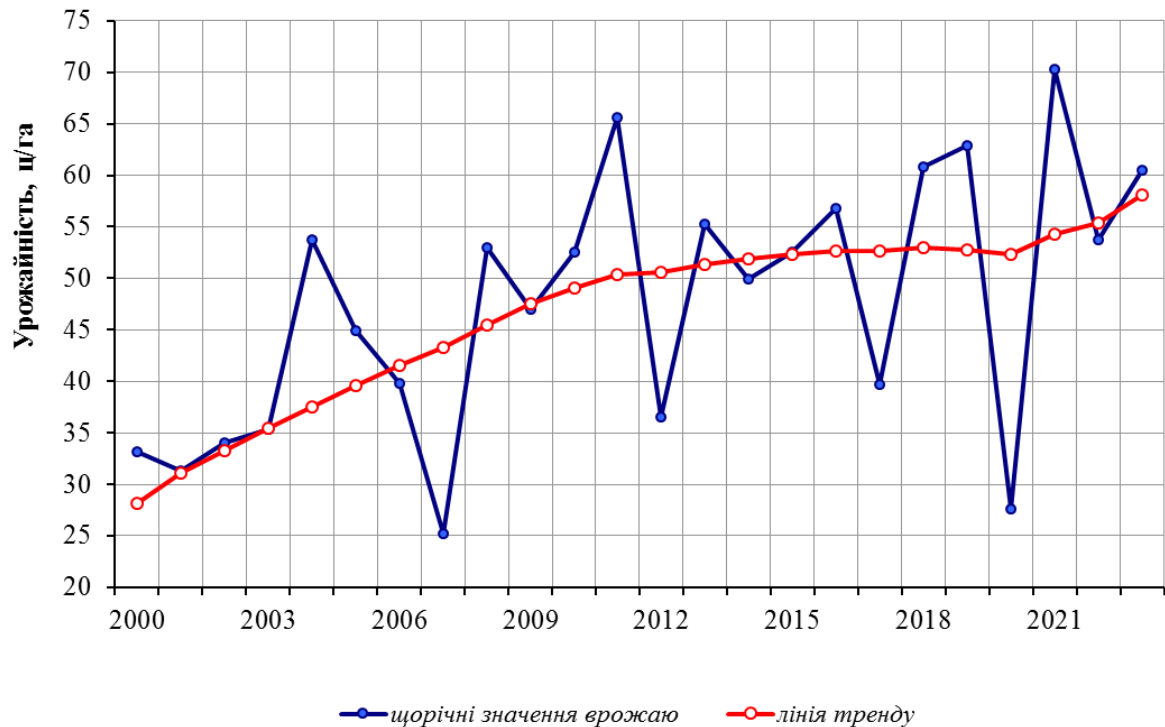


Рисунок 4.1 – Динаміка врожайності зерна кукурудзи та лінія тренду в Кіровоградській області

Для виявлення в чистому виді впливу погодних умов окремих років на формування врожаю зерна кукурудзи в Кіровоградській області, розглянемо відхилення фактичних урожаїв від лінії тренду (рис. 4.2). За 24 роки у 2 випадках спостерігались від'ємні відхилення, які були досить суттєвими – -18,1 ц/га в 2007 році та -24,8 ц/га в 2020 році. Трохи менші від'ємні відхилення спостерігались в 2012 році – -14,1 ц/га та в 2017 році - -13,0 ц/га, останні від'ємні відхилення були незначними від -0,5 до -2,0 ц/га. Це свідчить про несприятливі та про дуже несприятливі погодні умови, що склалися протягом цих років.

У роки ж зі сприятливими погодними умовами, а таких виявилось аж 15, вдавалося отримати збільшення врожаю за їх рахунок і відхилення від лінії тренду мали додатні значення. Найбільш сприятливими для вирощування кукурудзи на зерно були 2004 та 2021 роки, коли додатне

відхилення від лінії тренду становило 16,2 та 16,1 ц/га відповідно. З рисунка 4.2 наочно бачимо, що трохи меншими додатне відхилення було в 2011 році – 15,2 ц/га та в 2019 році – 10,1 ц/га.

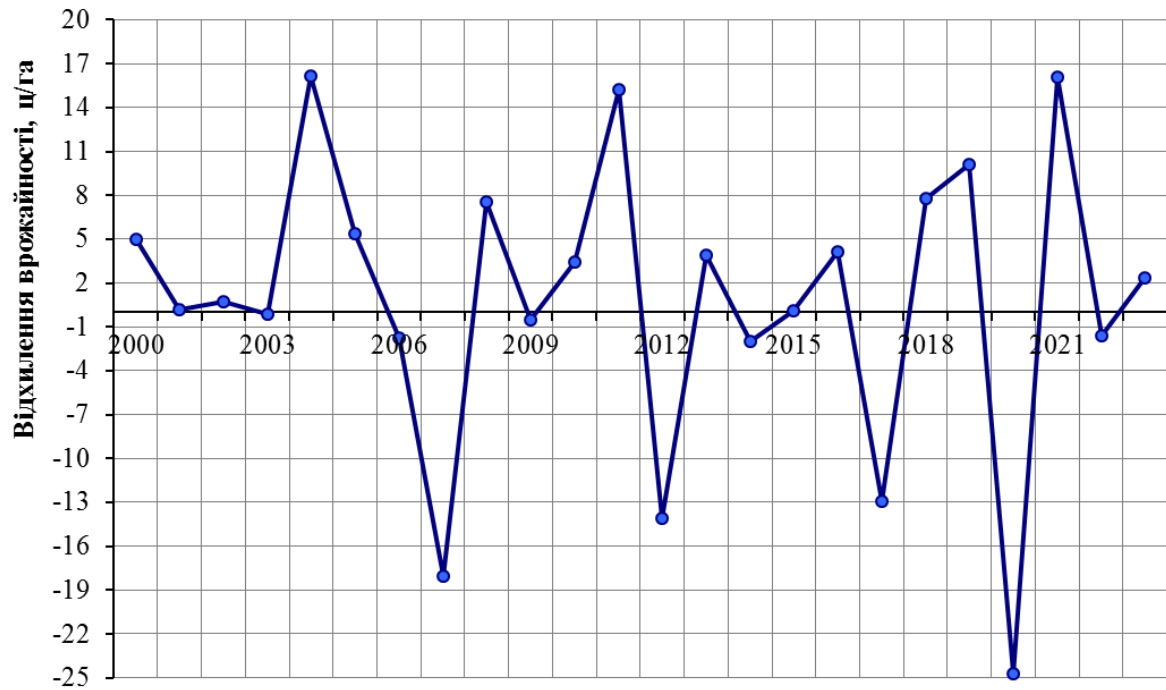


Рисунок 4.2 – Відхилення врожайності зерна кукурудзи від лінії тренду в Кіровоградській області

Мінливість урожайності з року в рік обумовлена впливом погодних умов. Тому, В.М. Пасов [28] запропонував розраховувати кліматичну складову за формулою, яка враховує поточне значення врожайності, середнє арифметичне значення врожайності за період n -років та вирівняну (розрахункову) врожайність.

За величиною кліматичної складової мінливості врожайності виділяють три зони:

1. Якщо $C_m \leq 0,20$, то зона найбільш стійких урожаїв.
2. Якщо $C_m = 0,21 \dots 0,29$, то зона помірно стійких урожаїв.
3. Якщо $C_m \geq 0,30$, то зона нестійких урожаїв.

У наших розрахунках кліматична складова врожайності становила $0,21 \pm 0,029$. Це означає, що Кіровоградська область, за кліматичною складовою мінливості врожайності відноситься до зони помірно стійких урожаїв.

У період із 2000 по 2023 роки спостерігається яскраво виражена мінливість урожайності зерна кукурудзи, яка загалом має позитивну динаміку. Кіровоградська область за кліматичною складовою відноситься до зони найбільш стійких, але не дуже високих урожаїв. Середня врожайність значно нижче, ніж по Україні в цілому.

Приріст врожайності від середньої динамічної у сприятливі роки компенсує недобір урожаю в несприятливі.

ВИСНОВКИ

Сільськогосподарський сектор стикається з викликом, щодо необхідності забезпечення адекватної кількості продовольчих продуктів та задоволення інших потреб населення, яке, за прогнозами, досягне до 2050 дев'яти мільярдів. Можливість збільшення площі орних земель обмежена, при цьому виникає нова загроза для сільського господарства у вигляді зміни клімату з непередбачуваними змінами погоди, повеней та інших катастрофічних наслідків. Зміна клімату, деградація навколишнього середовища та відсутність зростання врожайності створюють загрозу для виробництва кукурудзи та глобальної продовольчої безпеки. Збільшення об'ємів виробництва кукурудзи у цьому випадку є одним з рішень проблеми продовольчої безпеки.

Оскільки сільське господарство безпосередньо залежить від стану довкілля, вплив зміни клімату на сільське господарство стає все більш очевидним, то питання оцінки майбутніх кліматичних змін сьогодні стає дуже важливим, й не тільки для сільського господарства.

В результаті виконаної роботи можливо зробити наступні висновки:

1. Проведено аналіз сучасного стану та перспектив щодо вирощування кукурудзи на зерно. Розглянуто динаміку виробництва кукурудзи на зерно.

2. Проведена порівняльна оцінка дат настання фаз розвитку кукурудзи за середніми багаторічними даними (базовими) та за умовами кліматичних змін RCP6.0 та при збільшенні CO₂ на 30%. За сценарними умовами очікується скорочення проходження кукурудзою міжфазних періодів, відповідно й скорочення періоду вегетації на 18 днів.

3. Аналіз агрокліматичних умов вирощування кукурудзи показав, що період вегетації за умов реалізації сценарію «клімат» буде проходити на фоні значно підвищених температур та зменшеної кількості опадів, особливо в період викидання волоті – молочна стиглість.

4. Проведено дослідження стосовно показників фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи на зерно. Виявлено, що за умовами кліматичних змін RCP6.0 очікується зменшення врожайності зерна кукурудзи на 30 %, а за умовами сценарію RCP6.0+CO₂ - на 19 %.

5. Проведено аналіз рядів середньо обласної урожайності зерна кукурудзи в Кіровоградській області за період з 2000 по 2023 роки за методом гармонійних ваг. За розглянутий період спостерігається яскраво виражена мінливість урожайності зерна кукурудзи, яка загалом має позитивну динаміку.

6. Розрахована кліматична складова врожайності зерна кукурудзи становила $0,21 \pm 0,028$. Кіровоградська область за кліматичною складовою відноситься до зони помірно стійких урожаїв. Середня врожайність значно нижче, ніж по Україні в цілому, Але приріст врожайності від середньої динамічної у сприятливі роки компенсує недобір урожаю в несприятливі.

7. В цілому на території дослідження в умовах зміни клімату очікуються задовільні умови для вирощування кукурудзи на зерно. Значне підвищення температури повітря на фоні зменшення кількості опадів під час проходження критичних періодів розвитку кукурудзи призведе до значного зменшення врожаю зерна кукурудзи. Але завжди є вихід.

8. Враховуючи те, що фотосинтез є дуже складним за умовами організації та функціонування процесом. На нашу думку, короткострокові плани покращення показників фотосинтетичної діяльності рослин в умовах Дніпропетровської області повинні включати:

- ресурсозберігаюче землеробство що передбачає мінімальне пошкодження ґрунту, використання мульчі, чергування культур та інтеграцію виробництва зернових, вирощування дерев та розведення тварин:

- здоров'я ґрунту, що досягається за рахунок комплексного регулювання харчування ґрунту, стимулює зростання культур, що зміцнює стійкість до стресів та забезпечує більш високу ефективність виробничих витрат;

- покращені культури та сорти, адаптовані для маломасштабних фермерських господарств, високоврожайні, що мають підвищену поживність та стійкість до біотичних та абіотичних стресів;

- раціональне використання водних ресурсів, яке підвищує ефективність використання енергії та робочої сили та допомагає скорочувати забруднення води, пов'язане з сільськогосподарською діяльністю;

- комплексну боротьбу зі шкідниками з використанням ефективних агротехнічних прийомів, більш стійких сортів рослин, природних ворогів шкідників, і, за необхідності, з раціональним застосуванням щодо безпечніших пестицидів.

У довгострокових планах слід орієнтувати на вдосконалення шляхів до засвоєння CO₂ на основі оптимізації основних компонентів фотосинтетичного апарату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Костюкевич Т.К. Оцінка агрокліматичних умов вирощування кукурудзи як енергетичної культури в умовах зміни клімату на території Житомирського Полісся. Стійкий розвиток сільських територій у контексті реалізації державної екологічної політики та енергозбереження : колективна монографія ; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : Видавництво ПП «Астроя», 2021. С. 134-142. URL:<http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/9490>. (дата звернення: 6.11.2024 р.).
2. Управління гідрометеорології Державної служби по надзвичайних ситуаціях України. URL: https://meteo.gov.ua/ua/33345/hmc/hmc_main/. (дата звернення: 6.11.2024 р.).
3. Corn history and culture Garcia-Lara S., Serna-Saldivar S.O. Corn: Chemistry and Technology. 3rd Edition. 2019. P. 1-18. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2>. (дата звернення: 6.11.2024 р.).
4. Corn starch modification BeMiller J.N. Corn: Chemistry and Technology, 3rd Edition. 2018 P. 537-549. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00019-X>. (дата звернення: 6.11.2024 р.).
5. Костюкевич Т.К., Домбровський Д.С. Динаміка врожайності зеленої маси кукурудзи в умовах Вінницької області. Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур: матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів (с. Центральне, 19 квітня 2024 р.) / НААН, МПП ім. В. М. Ремесла, М-во аграр. політики та прод. України. С. Центральне, 2024. С. 93-94. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/13207>. (дата звернення: 6.11.2024 р.).
6. Польовий А.М., Костюкевич Т.К., Толмачова А.В., Барсукова О.А. Вплив кліматичних змін на формування продуктивності кукурудзи в

- Західному Лісостепу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. Миколаїв, 2021. №1(109). С. 29-34. URL: <https://visnyk.mnau.edu.ua/statti/2021/n109/n109v1r2021polevoy.pdf>. (дата звернення: 3.11.2024 р.).
7. Державна служба статистики України. Сайт Державного департаменту статистики України. Сільське господарство. Рослинництво. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (дата звернення: 12.10.2024 р.).
 8. Костюкєвич Т.К. Особливості формування фотосинтетичного потенціалу посівів кукурудзи як енергетичної культури в умовах зміни клімату (RCP 6.0) на території Житомирського Полісся України. Екологоорієнтовані підходи відновлення техногенно забруднених територій і створення сталих екосистем : колективна монографія. Полтава : ПП "Астроя", 2022. С. 127-133. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/10181>. (дата звернення: 12.10.2024 р.).
 9. Кириченко В.В. Ідентифікація ознак кукурудзи (ZEA MAYS L.) : навчальний посібник. Харків, 2007. С.138.
 10. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. 2-е видання, виправлене. Київ : Центр Навчальної літератури, 2004. 808 с.
 11. Зінченко О.І. Рослинництво : підручник / за ред. О.І. Зінченко, В.М. Салатенко, М.А. Білоножко. Київ : «Аграрна освіта», 2001. 592 с.
 12. Кукурудза: агрономія сьогодні. *Журнал практичних порад для агрономів*. Київ : Агробізнес, 2021. №1(20). С. 90.
 13. Пащенко Ю.М. Адаптивні і ресурсозбережні технології вирощування гібридів кукурудзи. Дніпро, 2009. С. 224.
 14. Save and Grow in practice: Maize, rice, wheat. URL: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/b22331a7-442b-4454-a951-46cda21055e3>. (дата звернення: 12.11.2024 р.).

15. Araya, A., Hoogenboom, G., Luedeling, E., Hadgu, K. M., Kisekka, I., & Martorano, L. G. Assessment of Maize Growth and Yield Using Crop Models under Present and Future Climate in Southwestern Ethiopia. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2015. Vol. 214. P. 252-265. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.259>. (дата звернення: 11.11.2024 р.).
16. FAO. 2012. Decent rural employment for food security: a case for action. Rome. URL: <https://www.fao.org/3/i2933e/i2933e.pdf>. (дата звернення: 7.11.2024 р.).
17. Davis, D.R., Epp, M.D. & Riordan, H.D. 2004. Changes in USDA food composition data for 43 garden crops. *Journal of the American College of Nutrition*. 2004. Vol. 23. URL: <https://doi.org/10.1080/07315724.2004.10719409>. (дата звернення: 17.11.2024 р.).
18. Trethowan, R., Manes, Y. & Chattha, T. Breeding for improved adaptation to conservation agriculture improves crop yields. Ін. Paper presented at the 4th World Congress on Conservation Agriculture, February 4-7, 2009, New Delhi, India. 2009. URL: <https://www.nature.com/articles/nature01014>. (дата звернення: 17.11.2024 р.).
19. Integrating plant, animal and human health while tackling ear rot and toxins in maize. URL: <https://www.fao.org/plant-health-2020/my-story/my-story/ru/c/1310208/>. (дата звернення: 4.11.2024 р.).
20. Писаренко В.М. Інтегрований захист рослин / за ред. В.М. Писаренко, М.А. Піщаленко, Г.Д. Поспєлова та інші. Полтава, 2020. 245 с.
21. Захист кукурудзи від хвороб і шкідників. Кириченко В.В. , Петренкова В.П. и др. Українська академія аграрних наук. Інститут рослинництва ім. Юр'єва В.Я. УААН. Центр генетичних ресурсів України. Посібник українського хлібороба. Науково-практичний збірник. 2008. 123 с.

22. Clements, R., J. Hagggar, A. Quezada, and J. Torres. Technologies for adaptation to climate change Agricultural sector. Riso Centre, Roskilde, 2011. 273 pp.
23. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Кіровоградської області у 2023 році. <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyjmonitoryng/regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-seredovysysha-v-ukrayini/>. (дата звернення: 14.11.2024 р.).
24. Адаменко Т.І., Кульбіда М.І., Прокопенко А.Л. Агрокліматичний довідник по території України / за ред. Т. І. Адаменко, М. І. Кульбіди, А. Л. Прокопенко. Житомир: «Полісся», 2019. 82 с.
25. Masson-Delmotte V, Zhai P., Pörtner H.-O., Roberts D., Skea J., Shukla P.R., Pirani A. et al., eds. Global warming of 1.5°C. Geneva, Switzerland, 2018. IPCC. P. 630. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf. (дата звернення: 24.10.2024 р.).
26. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія : підручник. Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2012. 632с.
27. "Climate change: How do we know?" NASA Global Climate Change and Global Warming: Vital Signs of the Planet, accessed June 13, 2018. URL: <https://climate.nasa.gov/evidence/>. (дата звернення: 24.10.2024 р.).
28. Польовий А.М. Базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. Одеса, 2004. Вип. 48. С. 195-205.
29. Beaver J.S., Cooper R.Z. Dry matter accumulation patterns and seed yield components of two indeterminate soybean cultivars. *Agron. J.* 1982. № 2. P. 380-383.
30. Xiao, D., & Tao, F. Contributions of Cultivar Shift, Management Practice and Climate Change to Maize Yield in North China Plain in 1981-2009. *International Journal of Biometeorology*. 2016 Vol. 60. P. 1111-1122. URL:

- <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1104-9>. (дата звернення: 19.10.2024 р.).
31. Parkes, B., Sultan, B., & Ciais, P. The Impact of Future Climate Change and Potential Adaptation Methods on Maize Yields in West Africa. *Climatic Change*. 2018. Vol. 151. P. 205-217. URL: <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2290-3>. (дата звернення: 19.10.2024 р.).
 32. Araya, A., Hoogenboom, G., Luedeling, E., Hadgu, K. M., Kisekka, I., & Martorano, L. G. Assessment of Maize Growth and Yield Using Crop Models under Present and Future Climate in Southwestern Ethiopia. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2015. Vol. 214. P. 252-265. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.259>. (дата звернення: 19.10.2024 р.).
 33. Rosenzweig C., Elliott J., Deryng D. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *PNAS*, 2014. №4. P.3268-3273. URL: <https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.1222463110>. (дата звернення: 15.10.2024 р.).
 34. Debaeke P., Casadebaig P., Flenet F., Langlade N. Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case-studies in Europe. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*. 2017. №24 (1). P.1-15. URL: <https://www.ocl-journal.org/articles/ocl/pdf/2017/01/ocl160024.pdf>. (дата звернення: 15.10.2024 р.).
 35. Харченко О.В. Основи програмування врожаїв сільськогосподарських культур: навчальний посібник / За ред. академіка УААН В.О. Ушкаренка. 2-е вид., перероб. і доп. Суми: ВТД “Університетська книга”, 2003. 296 с.
 36. Дмитренко В.П. Принципи і засоби визначення потенціалу врожаю сільськогосподарських культур за еколого-географічними засадами. *Наук. пр. УкрНДГМІ*. 2005. Вип. 254. С. 9-29.
 37. Вольвач О.В., Костюкєвич Т.К. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Сільськогосподарська метеорологія» на тему

«Оцінка часової мінливості врожаїв сільськогосподарських культур»
для студентів III року навчання денної та заочної форм за спеціальністю
103 «Науки про Землю», рівень вищої освіти бакалавр. Одеса, ОДЕКУ,
2021, 23 с.