

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

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра агрометеорології та
агроекології

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **Вплив змін клімату на умови вирощування**
цукрового буряку та його продуктивність в Дніпропетровській
області

Виконав студент 2 курсу групи МЗА-18
Спеціальності 103 «Науки про Землю»,
(шифр і назва)

Освітня програма «Агрометеорологія»
(назва)

Гребенюк Богдан Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

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

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

Рецензент к.геогр.н., доцент
Волошина Олена Вікторівна

Одеса 2019 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут гідрометеорологічний
Кафедра агromетеорології та агроекології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма Агromетеорологія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
агromетеорології та агроекології
Польовий А.М.
« 28 » жовтня 2019 року

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

Гребенюку Богдану Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вплив змін клімату на умови вирощування цукрового буряку та його продуктивність в Дніпропетровській області
керівник роботи Вольвач Оксана Василівна, к.геогр.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 18 » жовтня 2019 року № 235 «С»

2. Строк подання студентом роботи 09 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали середньобагаторічних агromетеорологічних, метеорологічних та фенологічних спостережень за цукровим буряком мережі агromетстанцій Дніпропетровської області за період 1986-2005 рр. Дані про щорічну середньообласну урожайність цукрового буряку по Дніпропетровській області за період 1995-2017 рр. Метеорологічні дані за сценаріями RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 та RCP8.5

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вивчити фізико-географічні та агрокліматичні особливості території Дніпропетровської області; ознайомитись з методологією динамічного моделювання продукційного процесу; вивчити біологічні особливості цукрового буряку; провести аналіз динаміки урожайності цукрового буряку та її ймовірнісний аналіз; оцінити зміни агрокліматичних умов вирощування цукрового буряку у Дніпропетровській області у зв'язку зі зміною клімату; визначити вплив змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та урожайність цукрового буряку за умов реалізації сценаріїв RCP2.6, RCP6.0, RCP4.5 та RCP8.5.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Графік динаміки урожайності та лінії тренду. 2. Графік відхилень від тренду.
3. Ймовірнісна крива урожайності. 4. Графік динаміки площі листя посіву за умов реалізації сценаріїв зміни клімату.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 28 жовтня 2019 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання. Формування бази даних для виконання магістерської роботи. Оформлення текстової частини першого та другого розділів магістерської роботи.	28.10.2019 р. - 04.11.2019 р.	85	4 (добре)
2	Аналіз динаміки урожайності. Ймовірнісний аналіз урожайності цукрового буряку.	05.11.2019 р. - 17.11.2019 р.	85	4 (добре)
3	<i>Рубіжна атестація</i>	18.11.2019 р. - 23.11.2019 р.	85	4 (добре)
4	Розрахунки основних агрокліматичних показників вегетаційного періоду цукрового буряку.	24.11.2019 р. - 29.11.2019 р.	96	5 (відмінно)
5	Розрахунки показників фотосинтетичної продуктивності посівів та урожаїв цукрового буряку різних агроекологічних категорій за базовими та сценарними даними	30.11.2019 р. - 5.12.2019 р.	90	5 (відмінно)
6	Узагальнення отриманих результатів. Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.	06.12.2019 р. - 09.12.2019 р.	97	5 (відмінно)
7	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту.			
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		92,0	

Студент _____ Гребенюк Богдан Миколайович
 (підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Гребенюк Б.М. Вплив змін клімату на умови вирощування цукрового буряку та його продуктивність в Дніпропетровській області

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

Метою даного дослідження є оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні ресурси стосовно умов формування продуктивності цукрового буряку на прикладі Дніпропетровської області.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *завдання*:

- розрахувати основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду цукрового буряку в Дніпропетровській області за базовими умовами та врахуванням змін клімату за період 2021-2050;
- визначити вплив можливих змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та урожайність цукрового буряку життя за умов реалізації сценаріїв зміни клімату RCP2.6, RCP 6.0, RCP4.5 і RCP8.5.

Об'єкт дослідження - посіви цукрових буряків в Дніпропетровській області.

Предмет дослідження - вплив можливих змін клімату на агрокліматичні умови вирощування і продуктивність цукрових буряків в Дніпропетровській області.

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

Вперше: встановлені закономірності впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування цукрового буряку та продуктивність культури в Дніпропетровській області.

Отримані результати можуть бути використані при виконанні комплексної оцінки агрокліматичних ресурсів стосовно вирощування цукрового буряку та оптимізації розміщення його посівних площ за умов реалізації сценаріїв RCP зміни клімату.

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань. Повний обсяг роботи становить 61 сторінку, 4 рисунки, 5 таблиць. Список використаних літературних джерел містить 38 найменувань.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: цукровий буряк, динаміка урожайності, модель продуктивності, зміна клімату, агрокліматичні умови, урожай біомаси.

SUMMARY

Grebenuk B. Impact of climate change on sugar beet growing conditions and productivity in the Dnipropetrovsk region

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

The aim of this study is to assess the impact of climate change on agroclimatic resources on conditions of formation of sugar beet productivity in the Dnipropetrovsk region.

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

- to evaluate spatial and temporal variability of sugar beet yield;
- to calculate the basic agroclimatic indicators of vegetation period sugar beet in the Dnipropetrovsk region on the basic conditions and taking into account climate change during the period of 2021-2050-pp;
- to determine the influence of possible climate change on photosynthetic productivity and sugar beet yield under the conditions of realization of climate change scenario RCP 2.6, RCP 4.5 RCP 6.0 and RCP 8.5.

The object of the study is sugar beet crops in the Dnipropetrovsk region.

The subject of the study is the impact of possible climate change on agroclimatic growing conditions and productivity of sugar beet in the Dnipropetrovsk region.

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

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

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

The work consists of an introduction, four chapters, conclusions, list of references and attachments. Full work is 61 pages, 4 graphics, 5 tables. The list of used literary sources contains 38 items.

KEY WORDS: sugar beet, yield dynamics, productivity model, climate change, agro-climatic conditions, crop grain.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИХ ТА АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	9
1.1 Фізико-географічна характеристика	9
1.2 Кліматичні та агрокліматичні умови.....	11
2 БОТАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЦУКРОВОГО БУРЯКУ ТА ВИМОГИ КУЛЬТУРИ ДО УМОВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	16
2.1 Ботанічна характеристика культури.....	16
2.2 Вимоги цукрового буряку до умов навколишнього середовища.....	18
2.2.1 Вимоги культури до тепла.....	18
2.2.2 Вимоги культури до вологи.....	19
2.2.3 Вимоги культури до світла.....	21
2.2.4 Вимоги культури до ґрунтів.....	21
3 АНАЛІЗ МІНЛИВОСТІ УРОЖАЇВ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ НА ТЕРИТОРІЇ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	23
3.1 Методи оцінки мінливості урожайності сільськогосподарських культур.....	23
3.2 Динаміка урожаїв цукрового буряку.....	25
3.3 Дослідження кліматичної складової урожайності цукрового буряку.....	28
3.4 Ймовірнісна оцінка урожаїв цукрового буряку.....	31
4 ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ЗРОСТАННЯ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЙОГО ПОСІВІВ.....	34
4.1 Сучасний стан досліджень проблеми зміни клімату.....	34
4.2 Моделювання урожаїв різних агроекологічних категорії.....	36
4.2.1 Блок вхідної інформації.....	37
4.2.2 Блок показників сонячної радіації і волого-температурного режиму..	37
4.2.3 Блок функцій впливу фази розвитку і метеорологічних факторів на продуційний процес рослин.....	39
4.2.4 Блок родючості ґрунту і забезпеченості рослин мінеральним живленням.....	41
4.2.5 Блок агроекологічних категорій урожайності.....	43
4.3 Оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні умови зростання цукрового буряку та продуктивність його посівів.....	45
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	58

ВСТУП

Цукровий буряк (*Beta vulgaris saccharifera*) – унікальна високопродуктивна і високоприбуткова технічна культура, яка є основним джерелом сировини для цукрової промисловості України. Біологічний вміст цукру в коренях цукрового буряка в середньому становить 18,5 %, а за переробки на вітчизняних цукрових заводах його вихід дорівнює 11-12 %. Близько 50 % отриманого цукру використовується у харчовій промисловості, 30 % – у хімічній та фармацевтичній, 20% – в інших галузях [1, 2].

Цукор має високі смакові якості, швидко засвоюється організмом людини, відновлюючи його енергію та працездатність, позитивно впливає на емоційний стан. Він необхідний для нормального функціонування печінки, мозку, живлення м'язів. Людині потрібно 80-100 г цукру на добу або 29-37 кг на рік.

Крім харчової, цукровий буряк має високу кормову цінність – вдвічі вищу, ніж кормовий. Аграрні підприємства, переробляючи цукрові буряки, одержують побічну продукцію – гичку, а цукрові заводи, переробляючи їх, – жом і мелясу, які використовуються на корм худобі.

Цукровий буряк має велике агротехнічне значення. Під нього застосовують глибоку оранку, вносять в достатній кількості органічні й мінеральні добрива. Як просапна культура він сприяє очищенню полів від бур'янів. За цими ознаками він є цінним попередником для культур сівозміни і підвищує загальний рівень землеробства [1, 3, 4].

Останнім часом ряд країн Європи переходить на виробництво біопалива з цукрових буряків. Піонерами в цій справі є Франція та Німеччина, де збудовані для цього спеціалізовані й змішані підприємства, об'єднані в крупні компанії [5, 6]. Дослід цих компаній свідчить про те, що з 100 т буряків можна отримати 9,5-10 тис. літрів біопалива. Так,

вихід біоетанолу з 100 т цукрових буряків на заводах Klein Wanzleben (Німеччина) та Cristanol (Франція) становить 10 тис. л [7].

Незважаючи на те, що найбільші виробники біоетанолу у світі як сировину використовують кукурудзу та цукрову тростину, найвищий вихід біоетанолу із 1 га забезпечують саме цукрові буряки. Наприклад, вихід біоетанолу із 1 га цукрової тростини у Бразилії становить 4,7 тис. л, із 1 га кукурудзи у США – 3 тис. л [8]. Водночас із 1 га цукрових буряків, при умові, що їх урожайність становитиме 50 т/га, можна виробити 4,5 тис. л біоетанолу. Із пресованого жому при його переробці на спеціальній біогазовій установці можна одержати 23,8 м³ біогазу із вмістом метану 70%, або 1190 м³ в розрахунку на 1 гектар при урожайності 50 т/га [9].

У сучасний період цукрові буряки культивують у 44 країнах світу. Світова посівна площа цукрового буряка становить близько 9 млн. га. Найбільші посівні площі зосереджені в Україні, Росії, Франції, Португалії, Німеччині, Італії, Румунії, Чехії, Словаччині, Англії, Бельгії, Угорщині, Туреччині, Грузії, Вірменії, Казахстані, Киргизстані. Збільшуються посівні площі під цією культурою у Молдові, Білорусі, країнах Балтії.

На початку 1990-х років Україна займала провідне місце у світі за площами посіву (1,6 млн. га) і за виробництвом цукру (понад 5 млн. тон, що складало 10 % світового виробництва бурякового цукру). Нині посівні площі значно скоротились. В основаному посіви цукрового буряка зосереджено в лісостеповій зоні. У Степу вони займають близько 25 % посівної площі. Найбільші площі під цукровим буряком у господарствах Вінницької, Полтавської, Хмельницької, Харківської, Київської і Тернопільської областей.

Цукровий буряк належать до найбільш урожайних культур. За правильного застосування комплексу агротехнічних заходів інтенсивної технології виробництва цукровий буряк можна вирощувати на великих площах, отримуючи по 500 ц/га і більше коренеплодів з мінімальними затратами праці.

Задачами кваліфікаційної роботи є:

1. Вивчити ботанічні та біологічні особливості цукрових буряків, вимоги культури до умов навколишнього середовища.
2. Проаналізувати динаміку врожайності цукрових буряків в Дніпропетровській області за допомогою методу гармонійних ваг. Дослідити кліматичну складову врожайності, а також дати ймовірнісну характеристику виробничих врожаїв культури.
3. Ознайомитись з існуючими сценаріями зміни клімату для України на прикладі репрезентативних траєкторій концентрацій (Representative Concentration Pathways - RCP).
4. Вивчити алгоритм базової моделі оцінки агрокліматичних ресурсів. А.М. Польового та адаптувати параметри моделі стосовно цукрового буряку.
4. Проаналізувати вплив можливих змін клімату на агрокліматичні умови вегетаційного періоду цукрового буряку.
5. Проаналізувати вплив можливих змін клімату на показники фотосинтетичної продуктивності посівів цукрових буряків, а також на врожайність культури.

Для виконання роботи було використано метеорологічні та фенологічні дані середньобагаторічних спостережень за цукровим буряком з Агрокліматичного довідника по Дніпропетровській області [10] та дані за сценаріями родини RCP змін клімату на період 2021-2050 рр. (середньодекадна температура повітря, декадні суми опадів, число годин сонячного сяйва, інтенсивність сонячної радіації, дефіцит вологості повітря та відносна вологість повітря). Також були використані дані про середньообласну урожайність цукрового буряку за матеріалами Головного управління статистики Дніпропетровської області [11].

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИХ ТА АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Фізико-географічна характеристика

Дніпропетровська область розташована у південно-східній частині України, між $49^{\circ} 12'$ і $47^{\circ} 28'$ північної широти та 33° і 37° східної довготи. Протяжність території із заходу на схід становить 270 км, з півночі на південь – 200 км. Загальна площа області дорівнює 31,9 тис. км², що складає 5,3 % території країни. На півночі Дніпропетровська область межує з Полтавською і Харківською областями, на сході – з Донецькою, на заході – з Миколаївською і Кіровоградською, на півдні – із Херсонською та Запорізькою областями. Дніпропетровська область розташована в басейні середньої і нижньої течії Дніпра.

Геологічна будова. Основу геологічної будови Дніпропетровської області складають два великих геоструктурних утворення: Український кристалічний щит і Дніпровсько-Донецька западина. Межа між Українським кристалічним щитом і Дніпровсько-Донецькою западиною проходить спочатку по долині р. Дніпро, потім – р. Самари [10].

Рельєф. Рельєф Дніпропетровської області рівнинний, сильно порізаний долинами р. Дніпро, її притоків, ярами та балками. Загальні риси рельєфу Дніпропетровської області визначаються особливостями геологічної будови. Українському кристалічному щиту відповідає велика геоморфологічна область – Придніпровська височина, Дніпровсько-Донецькій западині – Придніпровська низовина, і Причорноморській западині – Причорноморська низовина.

Рельєф характеризується широкими плоскими межиріччями, неглибокими, пологими долинами рік і балок. На території низовини по

широких межиріччях мають розповсюдження подові форми рельєфу – широкі безстічні зниження, які періодично заповнюються талими водами.

Значний рельєфоутворюючий вплив в межах області здійснюють водосховища Дніпровського каскаду. Завдяки дії хвильової абразії утворились круті урвисті береги та кручі висотою 5–15 м, іноді до 30 м, виникли намиті пляжі. Вздовж берегів поширені зсувні форми рельєфу. Одним із суттєвих факторів сучасного рельєфоутворення є антропогенний вплив, розвиток гірничорудної промисловості, утворення техногенних форм рельєфу – кар’єрів, відвалів гірських порід тощо [10].

Гідрографія. У Дніпропетровській області нараховується близько 340 річок і балок (які належать до категорії річок) довжиною більше 10 км. З них 74 річки мають довжину більше 25 км і 266 – довжину від 10 до 25 км. Сумарна довжина всіх річок на території області становить понад 7 тис. км.

Вся територія Дніпропетровської області відноситься до басейну Дніпра. Головна водна артерія – р. Дніпро перетинає область з півночі на південь, потім протікає вздовж південної межі області зі сходу на захід. Протяжність Дніпра в межах області – 261 км, площа водозбору – 31925 км².

Озер в області нараховується близько 200, їх загальна площа більше 25 км². На території області розташовані частини трьох водосховищ Дніпровського каскаду: Дніпродзержинське, Дніпровське і Каховське, які належать до класу надвеликих (об’єм більше 1 млрд. м³). Ставків в області нараховується 2,72 тис. шт., загальна площа водного дзеркала 193 км². Водними ресурсами область забезпечена найбільше серед областей України, але вони розподілені нерівномірно, в основному скупчені у водосховищах Дніпровського каскаду [10].

Ґрунти. Ґрунтовий покрив області сформувався в умовах посушливого степового клімату, під впливом переважно степової рослинності – різнотравно-типчаково-ковилових степів на більшій частині області і типчаково-ковилових степів – на крайньому південному заході.

Основу ґрунтового покриву області складають чорноземи звичайні, що відрізняються як за потужністю гумусового шару, так і за механічним складом – від важкосуглинкових до легкоглинистих. На їхню частку припадає близько 74 % всієї площі с.-г. угідь. Ґрунти мають високу потенційну родючість та здатність забезпечувати с.-г. культури певною кількістю елементів живлення. При переміщенні з півночі на південь області, чорноземи звичайні малогумусні потужні переходять спочатку в середньопотужні, потім – в малогумусні, а останні – у чорноземи південні.

На найбільшій частині області розповсюджені чорноземи звичайні, середньо-, малогумусні та їх змиті, часом сильнозмиті різновиди. Вони займають широкі вододільні плато і схили річкових долин на всій лівобережній частині області, а також у центральній і північній частинах правобережжя. Це найбільш родючі ґрунти, сприятливі для розвитку с.-г. культур, використовуються здебільшого під рілля.

Чорноземи південні розповсюджені на правобережжі, на крайньому південному заході області на території Широківського і Апостолівського районів. Ґрунти також відзначаються високою родючістю і використовуються під рілля.

Чорноземи лучні, лучно-чорноземні та лучні ґрунти розповсюджені у заплавах річок та на надзаплавних терасах. Використовуються під рілля, сінокоси, пасовища [10].

1.2 Кліматичні та агрокліматичні умови

Клімат Дніпропетровської області помірно-континентальний. Ступінь континентальності збільшується із південного заходу на північний схід, на що вказує збільшення амплітуди добових та річних температур повітря.

Однією з особливостей клімату Дніпропетровщини є значні коливання погодних умов з року в рік. Помірно вологі роки змінюються різко посушливими, які нерідко посилюються дією суховіїв. Взагалі клімат

характеризується відносно холодною зимою з нестійким сніговим покривом та жарким, посушливим літом.

Середня температура повітря за рік по області становить 8,4–9,8°C. Середня температура січня (найхолоднішого місяця) становить - 2,3–4,0°C, середня температура липня (найтеплішого місяця) становить 21,4–22,9 °C.

Абсолютний мінімум температури повітря по області відмічався у січні 1987 року і становив 33,7°C морозу (М Павлоград), абсолютний максимум – 40,4°C тепла відмічався у липні 2002 року (М Лошкарівка).

Аналіз даних за наступні після врахованих в довідник 5 років (2006-2010 рр.) виявив, що температура повітря в серпні 2010 року скрізь по області перевищила абсолютний максимум і досягала в основному 39,6-40,5° C, а по АМСЦ Дніпропетровськ 40,9°C [10].

Зимовий період на Дніпропетровщині триває 87–99 днів – з 27 листопада – 1 грудня, коли відбувається стійкий перехід середньої добової температури повітря через 0°C у бік похолодання і починається зима, до 25 лютого – 5 березня, коли відбувається стійкий перехід середньої добової температури повітря через 0°C у бік потепління – починається весна.

Вегетаційний період (із середніми добовими температурами повітря 5°C і вище) триває 215–227 днів, починається 26 – 31 березня і закінчується 1 – 8 листопада. Сума позитивних температур повітря вище 5°C за цей період змінюється від 3345°C на заході області до 3650°C на півдні.

Період активної вегетації с.-г. культур (із середніми добовими температурами повітря 10°C і вище) триває 174–183 дні, змінюючись в окремі роки від 147 до 199 днів, починається 14–16 квітня і закінчується 6–14 жовтня. Сума позитивних температур повітря вище 10°C за цей період змінюється від 3020°C на заході області до 3360°C на півдні. В окремі роки ця сума коливається від 2590 до 3650°C.

Літній період (із середніми добовими температурами повітря 15 °C і вище), триває в області 121–136 днів – з 12–17 травня до 15–25 вересня.

Середня сума позитивних температур повітря вище 15°C за цей період змінюється від 2320°C на заході області до 2725°C на півдні [10].

Середня обласна кількість опадів за рік становить 523 мм, змінюючись по території від 460 до 607 мм. Кількість опадів по роках змінюється від 253 до 914 мм. У теплий період року (квітень–жовтень) опадів випадає 282–386 мм або 60–68 % від річної кількості. У найбільш посушливі роки їх випадає в півтора – два рази менше. Недобір опадів порівняно з нормою, особливо в сукупності з високими температурами, обумовлює ґрунтову засуху.

Режим зволоження території області створює в цілому позитивний баланс вологи в ґрунті. Але, значну повторюваність мають ґрунтові засухи, які негативно впливають на розвиток с.-г. культур. Суворі атмосферні засухи (ГТК становить 0,4–0,6), яка звичайно поєднується із ґрунтовою у період активної вегетації с.-г. культур, буває здебільшого у 10–15% років, на півдні області – у 40% років. У 50–60% років відмічається дуже посушливий липень та серпень (ГТК менше 0,7). Тривале бездощів'я, що нерідко спостерігається у період активної вегетації рослин, посилює сухість повітря.

Відносна вологість повітря у теплий період року по області коливається від 60% весною до 80% восени, а кількість днів із відносною вологістю повітря 30% та менше за цей період становить здебільшого 30–44, лише місцями на сході області – 18–19 днів [10].

Середня багаторічна дата перших осінніх заморозків по області у повітрі – 5–15 жовтня, а останніх весняних заморозків – 15–26 квітня. Найпізніший весняний заморозок у повітрі зафіксовано 21 травня 2002 року, а на ґрунті – 27 травня 2001 року. Найбільш ранній осінній заморозок у повітрі відмічався 19 вересня 1987 року, а на ґрунті – 9 вересня 1991 та 1998 року. Середня тривалість беззаморозкового періоду по області у повітрі становить 164–188 днів, на поверхні ґрунту – 140–165 днів.

У вегетаційний період на території області відмічається від 11 до 23 днів із суховіями різної інтенсивності. Серед інших несприятливих для с.-г.

культур явищ погоди на території області у вегетаційний період відмічаються град, сильний вітер, дуже сильний дощ та зливи.

Сніговий покрив на переважній частині території області утворюється в другій декаді грудня, а руйнується у другій та третій декадах лютого. Загальна тривалість залягання снігового покриву за зиму становить по області 46–79 днів, середня найбільша висота снігу за зиму за даними снігозйомки – 4–11 см, тоді як максимальна висота його в окремі роки досягає 30–57 см. В останні десятиріччя досить часто відмічаються роки без сталого снігового покриву, або взагалі безсніжні зими [10].

Середня з найбільших значень глибини промерзання ґрунту по області за зиму коливається від 30 до 40 см. Максимальне промерзання ґрунту – 84 см відмічалось по області у 2003 році. Середня із мінімальних температур ґрунту на глибині 3 см по області за зиму становить мінус 3,0–5,2°C. Найнижча температура ґрунту на глибині 3 см відмічалася в 1994 році і становила мінус 17,9°C.

Взимку, зазвичай, спостерігаються відлиги, кількість днів з якими за період грудень – лютий по області коливається від 45 до 56. Відлиги, які тривають більше 5 днів поспіль, зумовлюють порушення зимового спокою озимини, що призводить до зниження морозостійкості рослин. Після тривалих відлиг за наявності снігового покриву існує велика ймовірність його руйнування, що сприяє утворенню льодяної кірки на полях. Небезпечна для посівів льодяна кірка товщиною 10 мм і більше та тривалістю залягання три декади і більше відмічається у 10% років (два рази за 20 років) [10].

За сукупністю показників агрокліматичних ресурсів у період активної вегетації с.-г. культур (суми позитивних температур повітря, кількості опадів та гідротермічного коефіцієнта) територію Дніпропетровської області поділено на три агрокліматичних райони. Карта-схема агрокліматичного районування території Дніпропетровської області представлена на рис. 1.1.

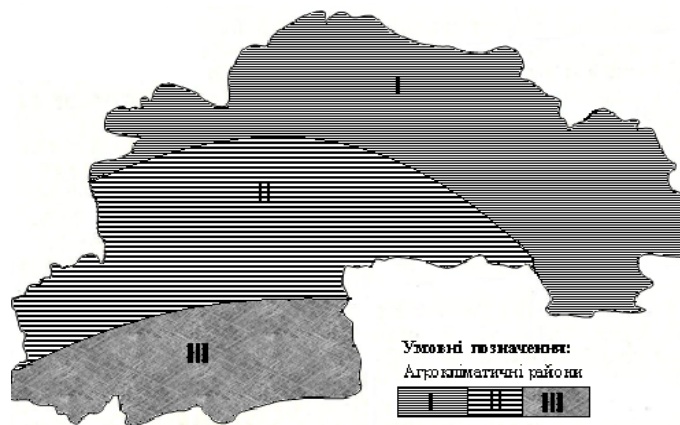


Рисунок 1.1 - Карта-схема агрокліматичного районування території Дніпропетровської області [10]

Кліматичні ресурси виділених агрокліматичних районів характеризуються наступними показниками:

- Північно-східний (I) – високого рівня теплозабезпечення, нестійкого зволоження: гідротермічний коефіцієнт (ГТК) – 1,0–1,1, кількість опадів за вегетаційний період – 350–380 мм, а за рік – 545–605 мм. Сума температур за період із температурою повітря вище $+10^{\circ}\text{C}$ становить 3000–3050 $^{\circ}\text{C}$. Стійкий сніговий покрив відмічається не кожний рік.

- Центральний (II) – високого рівня теплозабезпечення, недостатнього зволоження. Це менш зволожений район ніж північний. Величина ГТК становить 0,8–0,9, сума опадів за вегетаційний період – 310–340мм, а за рік – 470–540 мм. Сума температур за період із температурою повітря вище $+10^{\circ}\text{C}$ становить 3060-3160 $^{\circ}\text{C}$. Стійкий сніговий покрив у 20-40% зим відсутній.

- Південний (III) – високого рівня теплозабезпечення, посушливий. Він відмічається найменшим, порівняно з іншими районами області, зволоженням. Величина ГТК становить 0,7; сума опадів за вегетаційний період – 280–300 мм, а за рік – 450–460 мм. Сума температур за період із температурою повітря вище $+10^{\circ}\text{C}$ становить 3190–3360 $^{\circ}\text{C}$. Стійкий сніговий покрив у 65 % зим у цьому районі відсутній [10].

2 БОТАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЦУКРОВОГО БУРЯКУ ТА ВИМОГИ КУЛЬТУРИ ДО УМОВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1 Ботанічна характеристика культури

Згідно з існуючою класифікацією, всі форми буряка (дикі й культурні, однорічні, дворічні та багаторічні) об'єднують в один ботанічний рід – *Буряк (Beta L.)*, який належить до родини *Амарантових Amaranthaceae* (раніше належав до родини *Лободових Chenopodiaceae*), і налічує 14 диких і один культурний вид.

Коренева система цукрового буряка стрижнева, проникає у ґрунт на глибину 1,5–2 м. Вона складається з головного кореня – коренеплоду і великої кількості бокових корінців, які розгалужуються на 0,95–1,2 м. Коренеплід умовно поділяють на три частини: головку, шийку і власне корінь (кореневе тіло).

Форма коренеплодів різноманітна: конічна, циліндрична, овальна, куляста. Забарвлення коренеплоду цукрових буряків ззовні та всередині біле. М'якоть біла, іноді з жовтими або рожевими кільцями. Коренеплоди різних сортів відрізняються також і за смаком та щільністю м'якоті [1, 3, 12, 13].

Листки буряків. Через 8–10 днів після появи сходів цукрового буряка виростає перша пара справжніх листків; через 2–3 дні – друга, потім третя, четверта і т. д. Всього за вегетаційний період виростає близько 50–60 (іноді до 90) листків, спіральні розміщених на головці коренеплоду. Перші дві пари справжніх листків асимілюють протягом 20–25 днів, після чого відмирають. Пізніше утворені листки живуть довше.

Поверхня листків однієї рослини досягає 3–4 тис. см². Колір їх від світло- до темно-зеленого, форма розетки залежно від сорту може бути розлогою або піднятою. Біля основи листових черешків на головці

коренеплоду розміщуються репродуктивні бруньки, з яких на другий рік життя виростають квітконосні пагони [1, 3, 12, 13].

Будова буряків другого року розвитку. Коренеплоди буряків, висаджених навесні у ґрунт, утворюють розетку прикореневих листків, а через 20–30 днів починають рости стебла. Внутрішня будова коренеплоду-насінника не змінюється. Він лише потовщується за рахунок утворення нових камбіальних кілець. Бічні корені виростають у тих же місцях, що і в буряків першого року розвитку. Вони проникають у ґрунт на глибину 1,5–2,5 м і розростаються в боки на 50–60 см [1, 3, 12, 13].

Стеблові пагони мають висоту 80–150 см. На кожному коренеплоді утворюється від 1 до 12 стеблових пагонів, з яких формується кущ.

Квітки буряків двостатеві, з зеленуватим приквітком (оцвітиною) п'ятірного типу, зібрані у суцвіття – нещільний поникаючий колос. Буряки – перехреснозапильна культура. Рослини цвітуть довше місяця, утворюючи велику кількість пилку. Пилок переноситься вітром на значні відстані [1, 3, 12, 13].

Плід – коробочка (несправжній горішок). У багатонасінних буряків плоди зростаються, утворюючи супліддя-клубочки. Маса 1000 клубочків – 20–40 г, колір – жовто-бурий. Розмір клубочка (2–6 мм) залежить від кількості плодиків, з яких він утворюється [1, 3, 12, 13].

Цукрові буряки – дворічна рослина. У перший рік з насіння виростає потовщений коренеплід із запасами поживних речовин та розеткою прикореневих листків. Вегетаційний період у перший рік розвитку залежно від сорту, агротехніки і погодних умов триває 160-170 днів, а в другий рік розвитку – 100-125 днів [1, 14].

Протягом першого року розвитку рослини проходять ряд фенологічних фаз: проростання, сходи, вилочка, фаза 1-ї, 2-ї, 3-ї, 4-ї та 5-ї пар справжніх листків, змикання листків у міжряддях, розмикання листків у міжряддях і настання технічної стиглості.

Фаза третьої пари справжніх листків є найбільш відповідальним період щодо догляду за рослинами (міжрядна обробка посівів, підживлення мінеральними добривами, хімічна боротьба з бур'янами, шкідниками, хворобами тощо). Середня дата настання фази – через 8–10 днів після настання фази першої пари справжніх листків.

На другий рік у висаджених у ґрунт коренеплодів із «сплячих» бруньок відростають листки і з'являються гіллясті і високі (1,5 м і більше) стебла з квітками. Період від висаджування до дозрівання насіння триває в середньому 100–125 днів. Рослини, в яких квітконосні стебла формуються вже в перший рік вегетації, називають цвітушними. Цвітушність спричинює зниження цукристості, здерев'яніння тканин і зменшення ваги коренеплодів, ускладнює переробку і зберігання буряків. Рослини другого року вегетації, які не цвітуть і не формують насіння, називаються «упрямцями». Основна причина їх появи – фізіологічна невідповідність до подальшого розвитку, яка виникає внаслідок неглибокого висаджування, раннього збирання, підсихання маточних коренеплодів, а також під впливом високої температури їх зберігання.

На другому році вегетації виділяють такі фази розвитку цукрового буряка: утворення розетки листків, утворення квітконосних пагонів, бутонізація, цвітіння, зав'язування і наливання насіння, дозрівання насіння [2, 3, 14, 15].

2.2 Вимоги цукрового буряку до умов навколишнього середовища

2.2.1 Вимоги культури до тепла

Тривалість вегетації цукрових буряків - період від появи сходів до збирання - становить від 160 до 220 днів, а сума активних температур вище 10°C знаходиться в межах від 1600 до 3000°C. Безморозний період повинен тривати від 160 до 200 днів. В основних регіонах вирощування цукрових

буряків на території України сума температур коливається в межах 2500-3000°C, а період вегетації досягає 180-200 днів. Особливо важливе швидке прогрівання ґрунту навесні, що забезпечує ранню сівбу. Подовження вегетаційного періоду за рахунок ранньої сівби зумовлює вищий врожай, ніж навіть триваліша осінь.

Мінімум температури для проростання насіння цукрових буряків генетично зумовлений і коливається в межах 2-8°C, оптимальна температура становить 20-25 °C [16, 17]. Чим тепліший ґрунт, тим швидше насіння проростає.

Короточасні заморозки до -5°C не шкодять проростаючому насінню. У фазі вилочки і першої пари листків короточасне зниження до -3°C не становить небезпеки. Пошкодження сходів починається при -6...-7°C, а загибель більшості рослин настає при -8 °C. Восени цукрові буряки витримують морози до -5°C. У разі подальшого зниження температури коренеплоди замерзають без зміни в них вмісту цукру. Однак після відтавання цукристість коренеплодів починає різко падати внаслідок переходу сахарози в моноцукри. Крім того, вони гниють і погіршується їх лежкість. Дуже високі температури влітку погіршують асиміляцію, сповільнюючи накопичення врожаю і знижуючи вміст цукру [18].

2.2.2 Вимоги культури до вологи

Лімітованим фактором для фотосинтезу, а отже, і для врожайності цукрових буряків, є забезпеченість водою. Більше 99% води, увібраної коренями, витрачається при транспірації. Тільки 1% її використовується на фотосинтез [19].

Коефіцієнт транспірації за старими літературними даними в цукрових буряків становить від 250 до 500 л H₂O/кг сухої речовини [20]. Він залежить від температури, інсоляції, ґрунтової вологи, забезпеченості поживними речовинами, густоти стояння, сорту та інших факторів. За сучасними

джерелами - цей коефіцієнт коливається від 188 до 210 л води на 1 кг сухої речовини. Ймовірно, що це досягнуто за рахунок селекційного прогресу [6].

Для утворення врожаю коренеплодів 50 т/га потрібно 35-40 тис. м³ води [20]. У разі нестачі останньої листові продиhi закриваються, сповільнюється фотосинтез і зменшується врожайність [6, 21]. Молоді рослини потребують відносно мало вологи. Вимоги до її кількості швидко зростають до максимуму з утворенням поверхні листків на початку серпня. Короткі періоди нестачі вологи цукрові буряки переносять відносно добре, хоча врожайність при цьому знижується. Більш тривалий стрес у фазі повного розвитку листків, викликаний нестачею вологи, призводить до значних втрат врожайності. Крім цього знижуються якісні показники.

Зважаючи на наведені раніше дані, потреба цукрових буряків у воді відносно невелика. Але відмінності спостерігаються залежно від фази розвитку й інтенсивності ростових процесів. Хоча коефіцієнт транспірації у цукрових буряків, порівняно з іншими культурами, відносно низький, через інтенсивне утворення сухої маси абсолютна потреба у воді досить висока.

У теплий літній день поле цукрових буряків витрачає 4-5 мм води. Для врожайності 180 ц сухої речовини/га, що відповідає врожайності цукрових буряків 500 ц/га, рослини споживають, не враховуючи на поверхневий стік, просочування й непродуктивне випаровування, близько 600 мм опадів. Оскільки в багатьох регіонах вирощування цукрових буряків літні опади нижчі за 300 мм, відповідних урожаїв можна досягати тільки на ґрунтах з високою вологоємністю або при зрошенні.

Цукрові буряки зазвичай витримують періоди посухи, але при цьому знижується їхня врожайність і якість. Тривала посуха перед збиранням впливає і на лежкість буряків. Надлишок вологи погіршує аерацію ґрунту, викликаючи роздвоєння коренеплодів, зниження вмісту цукру. Випадання граду особливо небезпечно для молодих рослин. У більш пізні фази росту і розвитку рослини швидше компенсують втрату листової пластинки. Великі

ушкодження від граду (втрата всіх листкових пластинок) під час масового росту знижують урожайність на 20-30% [6].

2.2.3 Вимоги культури до світла

Енергетичною основою рослинництва є сонячна радіація, яка визначається сумою фотосинтетично активної радіації (ФАР) за вегетаційний період. ФАР - частина сонячної радіації в інтервалі довжина хвиль 0,38-0,71 мкм, яка використовується в процесі фотосинтезу. В цілому, цукрові буряки – рослина довгого дня, вибаглива до світла. Необхідна для них сумарна сонячна радіація становить до 3000 МДж/м², а фотосинтетично активна радіація (ФАР) – до 1100-1500 МДж/м². При накопиченні цукру листки рослин цукрових буряків найбільш інтенсивно використовують синьо-фіолетові (0,40-0,48 мкм), а для росту вегетативної маси - оранжево-червоні (0,65-0,69 мкм) промені [22].

Цукрові буряки належать до рослин тривалого дня з помірними вимогами до тепла. Їх вирощують в умовах від 30 до 60 градусів північної широти. У кліматичних умовах середньої Європи фактори температури та інтенсивності сонячного освітлення (ФАР) можуть забезпечувати максимальну потенційну врожайність - 200 ц цукру на 1 га [6].

Довга тривалість сонячного випромінювання з червня по вересень при достатньому забезпеченні вологою, а також помірних денних і відносно низьких нічних температурах сприяє утворенню сухої речовини і підвищує врожайність [6].

2.2.4 Вимоги культури до ґрунтів

Цукрові буряки дуже вибагливі до родючості ґрунту, його фізичного стану, забезпеченості макро- і мікроелементами. Найкращими ґрунтами для цукрових буряків є чорноземи типові малогумусні середньосуглинкові,

чорноземи опідзолені середньосуглинкові, чорноземи лучні, лучно-чорноземні, темно-сірі опідзолені середньосуглинкові. Менш придатними є світло-та сірі опідзолені середньосуглинкові ґрунти [1, 2, 17, 23].

Для буряків найбільш сприятливою є нейтральна і слаболужна реакція ґрунтового розчину - оптимальна кислотність ґрунтів - рН 6,0-7,0. Оптимальна для росту коренеплодів щільність ґрунту на чорноземах 1,0-1,2 г/см³, сірих лісових і каштанових ґрунтах - 1,2-1,3 г/см³, на сіроземах і дерново-підзолистих ґрунтах - 1,3-1,4 г/см³. За вищої щільності ґрунтів буряки довго не досягають, а коренеплід при цьому деформується [18, 21].

Для одержання високих урожаїв коренеплодів з хорошими технологічними якостями необхідно забезпечити оптимальний рівень живлення всіма мінеральними елементами на початку вегетації та в період інтенсивного формування листкового апарату і підвищене живлення фосфором і калієм при дещо обмеженому живленні азотом - в кінці вегетації.

Цукровий буряк дуже вибагливий до забезпечення поживними речовинами. Протягом вегетації він використовує значно більше елементів живлення, ніж інші культури. На кожні 10 ц коренеплодів і відповідної кількості гички з ґрунту виноситься 4–6 кг азоту, 1–2 кг фосфору, 6–8 кг калію, по 1–2 магнію і кальцію, 0,5 кг сірки [1, 2, 23].

У варіантах з інтенсивною технологією чітко повинна виконуватись умова: в зоні достатнього зволоження вносити безпосередньо під цукрові буряки не менше 40-50 т/га якісного напівперепрілого підстилкового гною [24].

3 АНАЛІЗ МІНЛИВОСТІ УРОЖАЇВ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ НА ТЕРИТОРІЇ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

3.1 Методи оцінки мінливості урожайності сільськогосподарських культур

Для отримання планованих урожаїв та науково обґрунтованого розміщення сільськогосподарських культур поряд з детальною оцінкою агрокліматичних ресурсів необхідне вивчення часової мінливості урожаїв у різних агрокліматичних зонах. Мінливість урожаїв сільськогосподарських культур в окремі роки обумовлена впливом значної кількості факторів, які поділяють на дві групи [25].

Перша група включає ряд факторів, що обумовлюють рівень культури землеробства. Комплекс факторів від яких залежить різноманітний рівень культури землеробства. Це і досягнення генетики та селекції, технологія обробітку культур, яка включає забезпеченість добривами, меліорацію земель, а також енергозабезпеченість сільського господарства.

Друга група об'єднує метеорологічні фактори, які визначають значні відхилення урожайності в окремі роки від середнього рівня. Урожайність у кожному конкретному році формується під впливом цілого комплексу природних чинників.

Однак, при вирішенні практичних питань часто виникає необхідність роздільної оцінки ступеня впливу на урожайність як рівня культури землеробства, так і умов погоди. В основу такої оцінки покладено ідею В.М. Обухова [25] про можливість розкладання часового ряду урожайності будь-якої культури на дві складові: стаціонарну і випадкову. Ця ідея отримала подальший розвиток у дослідженні інших авторів [26]. У такій постановці ряд урожайності U_t можна представити у вигляді загальної статистичної моделі такого роду:

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

де $f(t)$ – стаціонарна послідовність; U_t – випадкова послідовність.

Стаціонарна складова визначає загальну тенденцію зміни урожайності в проаналізованому періоді. Вона представляє плавну лінію, отриману в результаті згладжування ряду. Ця лінія називається трендом і описується зазвичай рівнянням прямої або параболою другого порядку. Випадкова складова обумовлюється погодними особливостями окремих років, визначає їхній вплив на формування урожайності й представляє відхилення від лінії тренду. Таке розкладання обґрунтовується тим, що рівень культури землеробства має помітний вплив на урожайність сільськогосподарських культур не тільки в поточному році, але і в наступні роки, тобто сільське господарство відрізняється певною інерційністю. Тому лінія тренду досить точно характеризує середній рівень урожайності, обумовлений рівнем культури землеробства, економічними й природними особливостями конкретного району.

Для оцінки урожайності сільськогосподарських культур у різних регіонах або прогнозування тенденції урожайності на найближчі роки в практиці агрометеорології найчастіше застосовують два методи – найменших квадратів і гармонічних зважувань. Метод гармонічних зважувань вперше був запропонований для економічних розрахунків З. Хельвігом. В агрометеорології він був вперше використаний у дослідженнях А.М. Польового [26].

Основна ідея методу гармонічних зважувань (МГЗ) полягає в тому, що в результаті зважування певним чином окремих спостережень часового ряду, більш пізнім спостереженнями часового ряду, надаються більші зважування. При використанні МГЗ, як деякого наближення істинного тренду $f(t)$ часового ряду урожайності сільськогосподарських культур Y_t ($t = 1, 2, 3, \dots, n$) приймається ламана лінія, яка згладжує задану кількість точок часового ряду

У_т. Окремі відрізки ламаної лінії (ковзного тренду) представляють його окремі фази.

3.2 Динаміка урожаїв цукрового буряку

Продуктивність сільськогосподарських культур залежить від відповідності кліматичних ресурсів біологічним особливостям та агротехніці вирощування культури. Тобто урожайність є інтегральним показником, який висвітлює вплив всього комплексу умов сільськогосподарського виробництва.

Нами був проведений аналіз динаміки урожаїв цукрового буряку по Дніпропетровській області за 23 роки за період з 1995 по 2017 роки. Була розрахована лінія тренду методом гармонічних зважувань, визначені відхилення урожайності від лінії тренду, проаналізована динаміка тенденції урожайності та оцінка кліматичної мінливості урожаїв по території дослідження.

На підставі отриманих результатів розрахунків був побудований графік динаміки урожаїв цукрового буряку та лінія тренду для визначення особливостей динаміки у Дніпропетровській області.

Для характеристики динаміки урожайності на рис. 3.1 представлена динаміка урожайності та лінія тренду. На рисунку плавна лінія характеризує тренд врожайності, а ламана лінія - щорічні коливання врожайності за рахунок різних факторів, основу яких становить клімат.

Як видно з рис. 3.1, за досліджуваний період відбувся вельми активний ріст трендової компоненти, що свідчить про суттєве підвищення рівня культури землеробства за період дослідження. Середня за роки досліджень урожайність склала 264 ц/га. Тенденція урожайності, визначена за допомогою методу гармонійних зважувань, додатна і складає 20 ц/га.

Протягом зазначеного періоду спостерігалися значні коливання фактичної урожайності на території дослідження. Наприклад, протягом

першої – другої третини досліджуваного періоду (1995-2010 рр.) вона не піднімалась вище 250 ц/га. Виняток становить лише 2009 р., коли було зібрано досить великий урожай – 345 ц/га.



Рисунок 3.1 – Динаміка урожайності цукрового буряку та лінія тренду в Дніпропетровській області

Протягом останніх семи років (з 2009 по 2017 рр.) рівень урожайності суттєво підвищився: якщо в 2012 р. було зібрано урожай порядку 300 ц/га, то протягом останніх досліджуваних років урожайність досягала величин 400-500 ц/га. У 1998 р. спостерігався найнижчий урожай за досліджуваний період - 116 ц/га. Останні роки характеризуються швидким та інтенсивним ростом урожайності. Так у 2013 та 2017 рр. було зібрано найбільші урожаї цукрового буряку – 494 та 497 ц/га.

Для виявлення в чистому виді впливу погодних умов окремих років на формування врожаю цукрового буряку, розглянемо відхилення фактичних урожаїв від лінії тренду (рис. 3.2). За 23 роки лише у 8 випадках спостерігались від’ємні відхилення, які були досить суттєвими і досягали 86 ц/га у 2007 р., 93 ц/га у 2010 р. та 41 ц/га у 2012 р.

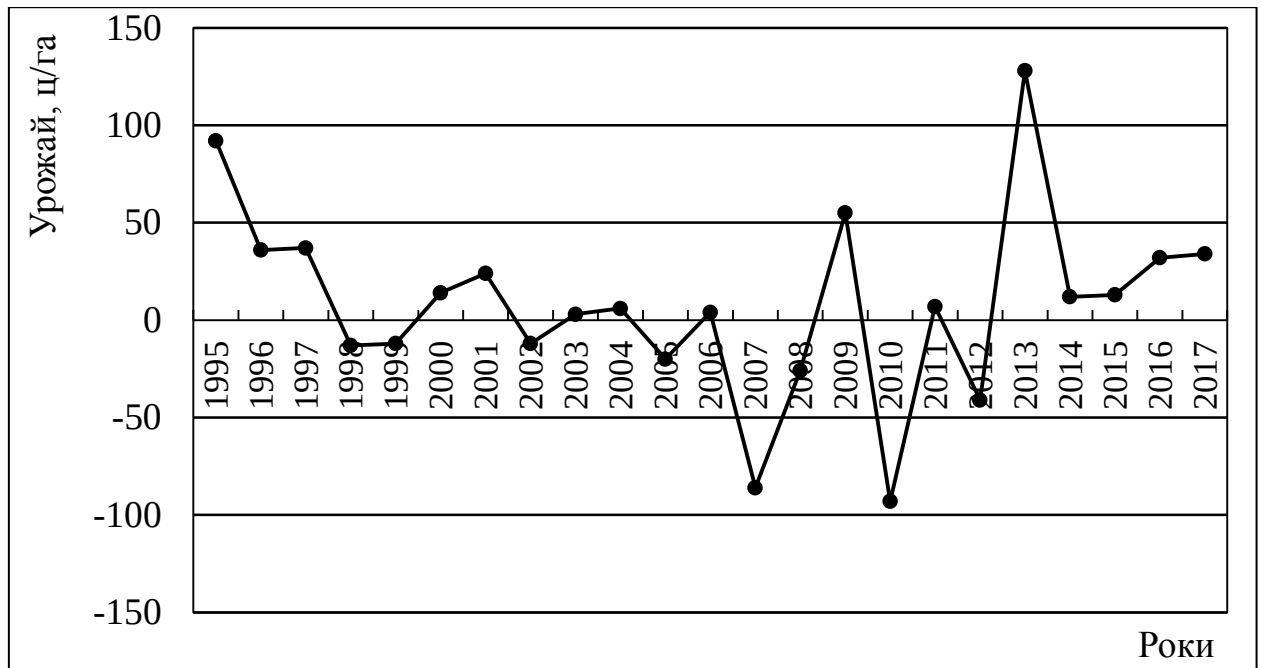


Рисунок 3.2 – Відхилення урожайності цукрового буряку від лінії тренду в Дніпропетровській області

Найбільш несприятливим для вирощування цукрового буряку був, як вже відзначалось, 2010 р., саме у цьому році спостерігалось найбільше від'ємне відхилення від лінії тренду – 93 ц/га. Це свідчить про дуже несприятливі погодні умови, що склалися протягом цього року. У роки ж з високими врожаями вдавалося отримати збільшення врожаю за рахунок сприятливих погодних умов і відхилення від лінії тренду мали додатні значення. Найбільш сприятливими для вирощування цукрового буряку були 1995, 2009 та 2013 рр., коли додатні відхилення від лінії тренду складали відповідно 92, 55 та 128 ц/га. Як можна бачити з рисунка, протягом інших сприятливих років (1996-1997 та 2016-2017 рр.), прирости урожаю за рахунок погодних умов були стабільні та становили 32-37 ц/га.

Такі порівняно високі прирости та недобори урожаїв за рахунок погодних умов свідчать про те, що вони в Дніпропетровській області є досить нестабільними. Тому представляє інтерес дослідження саме кліматичної складової мінливості урожаїв.

3.3 Дослідження кліматичної складової урожайності цукрового буряку

Згідно з дослідженнями В.М. Пасова, в будь-якому сільськогосподарському районі динаміку врожайності тієї чи іншої культури можна розглядати як наслідок зміни рівня культури землеробства, на фоні якої відбуваються випадкові коливання (іноді вельми суттєві), що пов'язані з особливостями погоди різних років [27].

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

$$\sigma^2 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2, \quad (3.2)$$

$$\sigma_m^2 = \sigma^2 - \sigma_a^2. \quad (3.3)$$

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

Розрахунок σ_m можна проводити за наступних формул:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}, \quad (3.4)$$

$$\sigma_a^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{iT} - \bar{y})^2}{n-1}, \quad (3.5)$$

$$\sigma_m^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^n (y_{iT} - \bar{y})^2}{n-1}, \quad (3.6)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n,$$

де y_i – урожайність конкретного року; $\bar{y}$ – середньобогаторічна урожайність; y_{iT} – динамічна середня величина (урожайність за трендом у конкретному році); n – кількість років дослідження [27].

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

$$c_v = \frac{\sigma}{\bar{y}}. \quad (3.7)$$

Згідно до методики В.М. Пасова [11], оскільки особливий інтерес представляє тільки та частина варіації урожаю, що пов'язана зі змінами погоди, то до формули (3.16) замість σ слід ввести σ_m :

$$c_v = \frac{1}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^n (y_{iT} - \bar{y})^2}{n-1}}. \quad (3.8)$$

За вищевказаною методикою була розрахована кліматична складова мінливості урожаїв цукрового буряку в Дніпропетровській області. Тренд побудований за методом гармонійних зважувань [26]. Хід розрахунків представлено у таблиці 3.1.

$$c_v = \frac{1}{264} \sqrt{\frac{318058 - 260276}{23 - 1}} = \frac{1}{264} \sqrt{\frac{57782}{22}} = \frac{\sqrt{2626}}{264} = \frac{51}{264} = 0,19$$

В.М. Пасов [27] стосовно кліматичної складової мінливості урожаїв озимої пшениці та озимого жита для характеристики території вирощування культури пропонує такі градації, які можна застосувати й для інших сільськогосподарських культур:

- зона найменшої мінливості урожаїв або стабільних урожаїв ($c_m \leq 0,20$);

- зона помірно стійких урожаїв ($c_m = 0,21 - 0,29$);
- зона нестійких урожаїв ($c_m \geq 0,30$);
- зона дуже нестійких урожаїв ($c_m \geq 0,50$).

Таблиця 3.1 – Розрахунок кліматичної складової урожайності цукрового буряку

n	Рік	y	y_T	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	$y_{iT} - \bar{y}$	$(y_{iT} - \bar{y})^2$
1	1995	227	135	-37	1369	-129	16641
2	1996	160	124	-104	10816	-140	19600
3	1997	162	125	-102	10404	-139	19321
4	1998	116	129	-148	21904	-135	18225
5	1999	125	137	-139	19321	-127	16129
6	2000	161	147	-103	10609	-117	13689
7	2001	187	163	-77	5929	-101	10201
8	2002	167	179	-97	9409	-85	7225
9	2003	198	195	-66	4356	-69	4761
10	2004	217	211	-47	2209	-53	2809
11	2005	207	227	-57	3249	-37	1369
12	2006	246	242	-18	324	-22	484
13	2007	172	258	-92	8464	-6	36
14	2008	248	274	-16	256	10	100
15	2009	345	290	81	6561	26	676
16	2010	213	306	-51	2601	42	1764
17	2011	329	322	65	4225	58	3364
18	2012	297	338	33	1089	74	5476
19	2013	494	366	230	52900	102	10404
20	2014	401	389	137	18769	125	15625
21	2015	427	414	163	26569	150	22500
22	2016	470	438	206	42436	174	30276
23	2017	497	463	233	54289	199	39601
Середнє		264					
Сума					318058		260276

Середню квадратичну помилку кліматичної складової мінливості урожаїв можна визначити за формулою

$$\partial_{c_m} = \frac{c_m \sqrt{1+c_m^2}}{\sqrt{2(n-1)}}, \quad (3.9)$$

де n – довжина ряду.

В нашому випадку $n=23$, отже помилка ∂_{C_m} дорівнює

$$\partial_{C_m} = \frac{0,19\sqrt{1+(0,19)^2}}{\sqrt{2(23-1)}} = \frac{0,19\sqrt{1,0361}}{\sqrt{44}} = \frac{0,193}{6,63} = 0,029$$

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

3.4 Ймовірнісна оцінка урожаїв цукрового буряку

Для всебічної характеристики урожайності будь-якої сільськогосподарської культури на будь-якій території дослідження недостатньо знати середні значення урожайності. В агрометеорології широко використовуються методи математичної статистики для розкриття просторово-часової структури урожайності. Велике практичне значення набуває знання не тільки середніх характеристик урожайності, але і яка частота повторюваності кожного з членів ряду значень урожайності. З цією метою агрометеорології для виявлення просторово-часової мінливості урожайності широко використовується графо-аналітичний метод Алексєєва [28].

Виходячи з теоретичних і практичних міркувань він запропонував для побудови емпіричної кривої сумарної імовірності формулу:

$$P_{(x_m)} = \frac{m - 0,25}{n + 0,50} \cdot 100\% \quad (3.10)$$

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

Вказаний метод був застосований нами для визначення міжрічної мінливості урожаю цукрового буряку для Дніпропетровської області. Використовувалися щорічні дані про урожайність за період з 1995 по 2017 роки. Результати розрахунків представлені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Розрахунок ймовірності урожаїв цукрового буряку

Рік	N	Ряд урожайності, ц/га		$P_x, \%$
		Фактичний	Ранжований	
1995	1	227	497	3
1996	2	160	494	7
1997	3	162	470	12
1998	4	116	427	16
1999	5	125	401	20
2000	6	161	345	24
2001	7	187	329	29
2002	8	167	297	33
2003	9	198	248	38
2004	10	217	246	41
2005	11	207	227	46
2006	12	246	217	50
2007	13	172	213	54
2008	14	248	207	59
2009	15	345	198	63
2010	16	213	187	67
2011	17	329	172	71
2012	18	297	167	76
2013	19	494	162	80
2014	20	401	161	84
2015	21	427	160	88
2016	22	470	125	93
2017	23	497	116	97

За цими даними було побудовано криву сумарної ймовірності можливих урожаїв цукрового буряку щодо середніх багаторічних значень. При цьому

ставилася задача виявити особливості в розподілі можливих урожаїв різної забезпеченості в порівнянні з середньою багаторічною величиною. Потім з кривої сумарної імовірності знімалися значення урожаю цукрового буряку різної забезпеченості з кроком 5, 10, 20, ... 90, 95%. Результати цієї роботи були представлені в табл. 3.3.

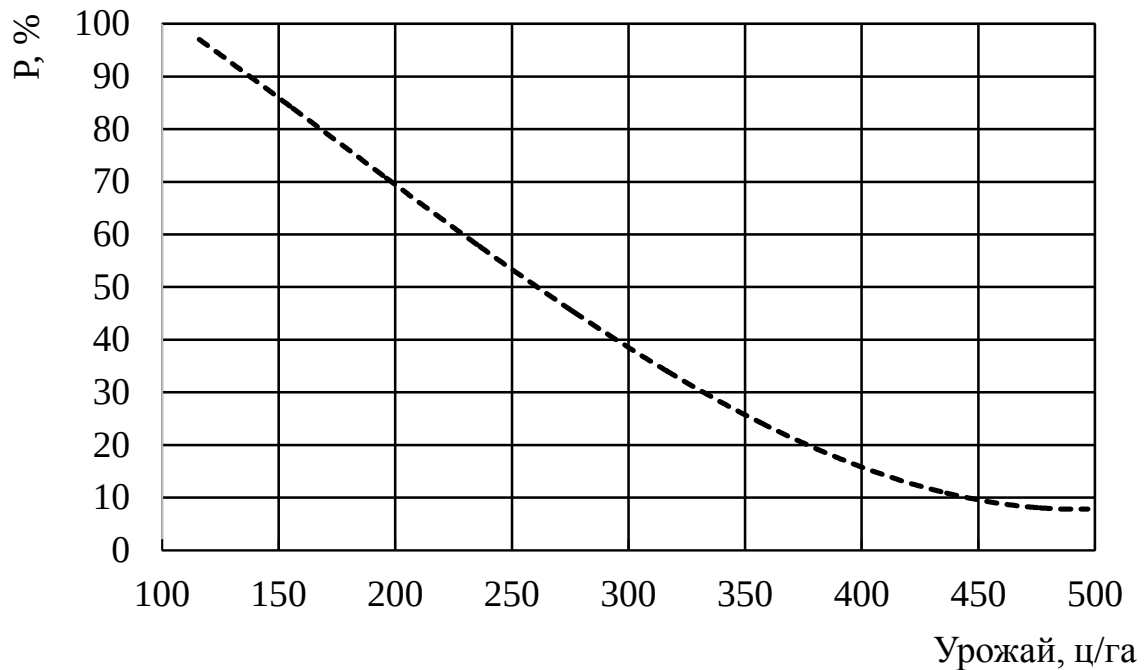


Рисунок 3.3 – Крива ймовірності урожаїв цукрового буряку

В Дніпропетровській області урожаї цукрового буряку порядку 450 ц/га отримують з ймовірністю 10 % (тобто раз в десять років), а щорічно тут забезпечені урожаї лише не вище 120 ц/га. Урожай 330 ц/га можна очікувати у трьох роках з десяти (ймовірність 30 %), а урожай 200 ц/га – у семи випадках з десяти (ймовірність 70 %).

Таблиця 3.3 - Забезпеченість урожаїв цукрового буряку

$\bar{Y}$, ц/га	Забезпеченість, %										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
264	490	450	375	330	300	260	230	200	170	135	120

4 ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ЗРОСТАННЯ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЙОГО ПОСІВІВ

4.1 Сучасний стан досліджень проблеми зміни клімату

Зміна клімату внаслідок глобального потепління є однією із проблем XXI століття. Вона характеризується різними проявами, серед яких провідними є зміна частоти та інтенсивності кліматичних аномалій та екстремальних (небезпечних) погодних явищ. За прогнозами провідних вчених та спеціалістів в найближчі десятиріччя зміни клімату за своїми розмірами та інтенсивністю будуть переважати ті тенденції, які спостерігались в останнє десятиріччя [29].

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

Можливе зростання частоти екстремальних погодних явищ, загальне зниження вологості ґрунтів та зменшення їхньої родючості, виснаження ресурсів прісної води у південних регіонах країни, деградація ґрунтів. Разом з тим, основною особливістю потепління стала нерівномірність випадіння опадів за окремі періоди року, що призвело до збільшення посушливих явищ. Посухи нерідко співпадають з суховіями, спричиняючи пошкодження рослин у різних фазах розвитку та зменшують їхню продуктивність. У зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря у Північній півкулі

продовольча безпека України в значній мірі буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату. Врахуванню кліматично зумовлених природних ресурсів завжди надавалось велике значення, особливо в галузі сільськогосподарського виробництва через те, що зміна клімату спричиняє зміну кліматичних ресурсів.

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

В даний час найбільш актуальні модельні дані з високим просторовим дозволом надає проект EURO-CORDEX. На підставі цих даних був виконаний детальний аналіз майбутніх змін клімату в Європі [30]. Згідно з проведеними дослідженнями, до кінця 21 століття очікується статистично значуще збільшення температури повітря і осадків на території Європи, і в тому числі України.

У даної кваліфікаційної роботі для кліматичних розрахунків використовується набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP). Репрезентативні траєкторії концентрацій – сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів [31].

Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: $2,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP2.6; $4,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP4.5; $6,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP6.0 і $8,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP8.5. Ці чотири RCP містять один сценарій зменшення викидів, який передбачає низький рівень впливу (RCP2.6); два сценарії стабілізації (RCP4.5 і RCP6.0) і сценарій з дуже високими рівнями викидів парникових газів (RCP8.5) [30, 31].

Дослідження, що проводяться в Одеському державному екологічному університеті, стосуються питання майбутньої кліматичної мінливості за допомогою регіональних моделей [32, 33] і охоплюють територію України. Ці дослідження не мають аналогів в Україні та знаходяться на рівні сучасних світових аналогів.

Ці дослідження свідчать про те, що найменші величини змін характерні для найбільш сприятливого сценарію з найменшою концентрацією парникових газів до 2100 р. – RCP2.6, найбільші зміни – для найбільш агресивного сценарію RCP8.5.

4.2 Моделювання урожаїв різних агроекологічних категорії

Визначення впливу змін клімату на продуктивність сівби цукрового буряку проводиться за допомогою базової моделі оцінки агрокліматичних ресурсів. Проводилось порівняння показників, отриманих при розрахунках за базовими даними та за даними сценарними.

Модель заснована на концепції максимальної продуктивності рослин Х.Г. Тоомінга [34], та запропонована в агрометеорології А.М. Польовим [35, 36]. Повне описання структури моделі детально надається в літературі, зупинимось лише на основних моментах моделювання.

Базова модель, на основі якої виконувались наші розрахунки, має блочну структуру і містить такі блоки):

- блок вхідної інформації;
- блок показників сонячної радіації і волого-температурного режиму;
- блок функцій впливу фази розвитку і метеорологічних факторів на продукційний процес рослин;
- блок родючості ґрунту;
- блок агроекологічних категорій урожайності;
- блок узагальнюючих оцінюючих характеристик.

Розглянемо більш докладно основні блоки моделі.

4.2.1 Блок вхідної інформації

Цей блок складається із даних стандартних метеорологічних і агрометеорологічних спостережень і містить у собі всі необхідні для виконання розрахунків характеристики. Вони поділяються на дві групи:

Перша група – запаси продуктивної вологи у ґрунті, середньодекадна температура повітря, середня за декаду кількість годин сонячного сяйва, сума опадів за декаду, середній за декаду дефіцит насичення повітря, кількість днів у розрахунковій декаді.

Друга група – інформація про внесення доз азотних, фосфорних і калійних добрив, дані про оптимальні дози цих добрив, дані про внесення органічних добрив та їхній оптимальній дозі, рік внесення органічних добрив, бал ґрунтового бонітету.

4.2.2 Блок показників сонячної радіації і волого-температурного режиму

Для розрахунку інтенсивності сумарної сонячної радіації використовується формула С.І. Сівкова

$$Q_o^j = 12,66 \cdot (SS^j)^{1,31} + 315 \cdot (A^j + B^j)^{2,1}, \quad (4.1)$$

де Q_o – сумарна сонячна радіація, що приходить на горизонтальну поверхню, кал/см²·доба;

SS – середня за декаду кількість годин сонячного сяйва;

j – номер розрахункової декади;

A і B – проміжні характеристики, що визначаються в залежності від широти місцевості та схилення Сонця.

Для розрахунку випаровуваності E_0 використовується метод

А.М. Алпатьєва:

$$E_o^j = 0,65 \cdot DWW^j \cdot dv^j \cdot 0,75, \quad (4.2)$$

де DWW – середній за декаду дефіцит насичення повітря;

dv – кількість днів у розрахунковій декаді.

Сумарне випаровування визначається за формулою С.І. Харченко

$$E^j = \frac{2W^j + O_s^j}{1 + \frac{2W_{HB}}{\beta E_o^j}}, \quad (4.3)$$

де E – сумарне випаровування, мм;

W_{HB} – найменша вологоємність у шарі ґрунту 0-100 см;

O_s – сума опадів за декаду, мм;

W – запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту, мм;

β – параметр, який залежить від фази розвитку рослин. Його середнє значення для злакових культур складає 2,0.

За допомогою наступного співвідношення розраховується інфільтрація у нижні шари ґрунту

$$F_{ilt}^j = W^j + O_s^j - E^j - W_{HB}, \quad (4.4)$$

де F_{ilt} – інфільтрація в нижні шари ґрунту за декаду, мм.

Для розрахунку запасів продуктивної вологи на схилі використовується рівняння водного балансу

$$W^{j+1} = W^j + O_s^j - E^j - F_{ilt}^j. \quad (4.5)$$

4.2.3 Блок функцій впливу фази розвитку і метеорологічних факторів на продукційний процес рослин

В основі продукційного процесу рослин лежить фотосинтез. Його інтенсивність обумовлюється фазою розвитку рослин і умовами навколишнього середовища. Для розрахунку онтогенетичної кривої фотосинтезу використовується формула

$$\alpha_{\Phi}^j = \exp \cdot \left[-a_{\Phi} \left(\frac{TS_2 - \Sigma t_1}{10} \right)^2 \right], \quad (4.6)$$

де величина α_{Φ} знаходиться за виразом

$$\alpha_{\Phi} = \frac{-100 \cdot \ln \alpha_{\Phi}^o}{(\Sigma t_1)^2}, \quad (4.7)$$

де α_{Φ} – онтогенетична крива фотосинтезу, відн. од.;

α_{Φ}^o – початкове значення онтогенетичної кривої фотосинтезу, відн. од.;

Σt_1 – сума ефективних температур повітря від сходів, при якій спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу рослин, °C;

TS_2 – сума ефективних температур, °C.

Функція впливу температури повітря на продукційний процес рослин визначається як

$$\psi_{\Phi} = \begin{cases} 13,7 \cdot \sin(0,077 \cdot x_1^j) & \text{при } (T^j - T_{\Phi}) < T_{opt1}^j, \\ 1 & \text{при } T_{opt1} \leq (T^j - T_{\Phi}) \leq T_{opt2}^j, \\ 1,13 \cdot \cos(1,570 \cdot x_2^j) & \text{при } (T^j - T_{\Phi}) > T_{opt2}^j, \end{cases} \quad (4.8)$$

де ψ_{Φ} – температурна крива фотосинтезу, відн. од.;

T – середньодекадна температура повітря, °C;

T_{ϕ} – середньодакда температура повітря, при якій починається фотосинтез, °C;

T_{opt1} – нижня межа температурного оптимуму для фотосинтезу, °C;

T_{opt2} – верхня межа температурного оптимуму для фотосинтезу, °C.

У рівнянні (3.8) проміжні величини знаходяться за формулами

$$x_1^j = (T_s^j - T_{\phi}) / (T_{opt1}^j - T_{\phi}), \quad (4.9)$$

$$x_2^j = (T_s^j - T_{opt2}^j) / (T_{max} - T_{opt2}^j), \quad (4.10)$$

де T_{max} – середньодакда температура повітря, при якій припиняється фотосинтез, °C;

T_s – температура повітря на горизонтальній поверхні, °C.

Значення нижньої і верхньої межі температурного оптимуму для фотосинтезу визначаються як функції часу.

Функція впливу вологості ґрунту на фотосинтез γ_{ϕ} знаходиться як

$$\gamma_{\phi} = \begin{cases} -1,163 \cdot (x_3^j)^2 + 2,187 \cdot x_3^j & \text{при } W^j < W_{opt1}^j, \\ 1 & \text{при } W_{opt1}^j \leq W^j \leq W_{opt2}^j, \\ -0,654 + 3,824 \cdot x_4^j - 2,633 \cdot (x_4^j)^2 + 0,467 \cdot (x_4^j)^3, & \\ \text{при } W^j > W_{opt2}^j, \end{cases} \quad (4.11)$$

де W – запаси продуктивної води у метровому шарі ґрунту, мм;

W_{opt1} – нижня межа оптимальних запасів води, мм;

W_{opt2} – верхня межа оптимальних запасів води, мм.

$$x_3^j = W^j / W_{opt1}^j, \quad (4.12)$$

$$x_4^j = W^j / W_{opt2}^j. \quad (4.13)$$

Функція впливу вологозабезпеченості посівів розглядається як сполучення двох функцій. Враховується функція впливу вологості ґрунту на продуктивність рослин (за даними про фактичні запаси вологи) і відношення сумарного випаровування посівів до випаровуваності з врахуванням експозиції і крутості схилів:

$$FW = \left(\gamma_{\phi}^j \cdot \frac{E^j}{E_0^j} \right)^{0,5}, \quad (4.14)$$

де FW – відносна вологозабезпеченість посівів, відн. од.

Аналогічно визначається узагальнена функція впливу термічного режиму і вологозабезпеченості FTW_1 на фотосинтез:

$$FTW_1 = (\psi_{\phi} FW)^{0,5}. \quad (4.15)$$

До цієї функції вводиться корекція на рівень температури в сполученні з вологозабезпеченістю

$$FTW_2 = \begin{cases} FTW_1[1 + (1 - \Psi_{\phi})(1 - FW)] & \text{при } t_n < t_{opt1} \\ FTW_1 & \text{при } t_{opt1} \leq t_n \leq t_{opt2} \\ FTW_1[1 - (1 - \Psi_{\phi})(1 - FW)] & \text{при } t_n > t_{opt2} \end{cases}. \quad (4.16)$$

4.2.4 Блок родючості ґрунту і забезпеченості рослин мінеральним живленням

Функція впливу вмісту гумусу у ґрунті визначається за формулою О.С. Образцова для розрахунку забезпеченості рослин елементами мінерального живлення

$$FW_{Gum} = (F_{Gum})^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_{Gum})], \quad (4.17)$$

де FW_{Gum} – функція впливу вмісту гумусу у ґрунті на формування урожаю, відн. од.

Значення функцій оптимальності азотного, фосфорного і калійного живлення розраховується за методом О.С. Образцова з деякими модифікаціями

$$F_N = \frac{N_m}{N_{opt}}, \quad (4.18)$$

$$FW_N^j = \left\{ (F_N)^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_N)] \right\} \cdot k_{ef}^j, \quad (4.19)$$

де N_m – внесена доза азотних добрив, кг/га;

N_{opt} – оптимальна доза азотних добрив, необхідна для одержання максимального урожаю, кг/га;

FW_N – функції впливу забезпеченості азотом, відн. од.;

k_{ef} – коефіцієнт ефективності добрив в залежності від вологості ґрунту, відн. од.

Аналогічно визначаються функції впливу забезпеченості фосфором FW_P і калієм FW_K .

Вплив режиму зволоження ґрунту на ефективність добрив враховується за виразом:

$$k_{ef}^j = \begin{cases} 1 & \text{при } \frac{W^j}{W_{opt1}^j} \geq 0,85, \\ 0,8 & \text{при } 0,70 < \frac{W^j}{W_{opt1}^j} < 0,85, \\ 0,6 & \text{при } \frac{W^j}{W_{opt1}^j} \leq 0,70, \end{cases} \quad (4.20)$$

Аналогічно визначається співвідношення дози органічних добрив до їх оптимальної величини і розраховується функція впливу внесення органічних

добрих з врахуванням року внесення добрив

$$F_{O_{rg}} = \frac{O_{rg}}{O_{rg_{opt}}}, \quad (4.21)$$

$$FW_{O_{rg}}^j = \left\{ (F_{O_{rg}})^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_{O_{rg}})] \right\} \cdot k_{O_{rg}}^g \cdot k_{ef}^j, \quad (4.22)$$

де $FW_{O_{rg}}$ – функція впливу внесення органічних добрив на урожай;

O_{rg} – внесена доза органічних добрив, т/га;

$O_{rg_{opt}}$ – оптимальна для вирощування сільськогосподарської культури доза внесення органічних добрив, т/га;

$k_{O_{rg}}^g$ – коефіцієнт впливу року внесення органічних добрив, відн. од.

Узагальнена функція впливу родючості ґрунту і внесення мінеральних та органічних добрив розраховується за принципом Лібіха

$$FWM_{ef}^j = \min \{ FW_{O_{rg}}^j, FW_N^j, FW_P^j, FW_K^j \}, \quad (4.23)$$

де FWM_{ef} – функція впливу ефективної родючості на урожай, відн. од.

4.2.5 Блок агроекологічних категорій урожайності

Потенційна урожайність (ПУ) теоретично може бути отримана на високородючих ґрунтах, за оптимального рівня агротехніки та ідеальних погодних умов.

Прирости ПУ загальної біомаси за декаду визначається в залежності від інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР) і біологічних особливостей культури з врахуванням впливу на інтенсивність фотосинтезу посадок віку рослин

$$\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} = \alpha_\phi^j \frac{\eta \cdot Q_{\phi ap}^j \cdot d\nu^j}{q}, \quad (4.24)$$

де $\frac{\Delta ПУ}{\Delta t}$ – приріст потенційної урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²;

α_ϕ – онтогенетична крива фотосинтезу, відн. од.;

η – КПД посівів, відн. од.;

$Q_{\phi ap}$ – середньодекадна за добу сума ФАР, кал/см² доба;

q – калорійність.

Метеорологічно можлива урожайність (ММУ) – це максимальна урожайність, яка досягається в конкретних погодних умовах на високородючих ґрунтах за оптимального рівня складових технології вирощування. Приріст ММУ визначається в залежності від ПУ за рівнянням:

$$\frac{\Delta ММУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} \cdot FTW_2, \quad (4.25)$$

де $\frac{\Delta ММУ}{\Delta t}$ – приріст метеорологічно-можливої урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²; FTW_2 – узагальнена функція впливу волого-температурного режиму, відн. од.

Дійсно-можлива урожайність (ДМУ) – це урожайність, яка може бути досягнута на конкретному полі в конкретних погодних умовах з врахуванням реальної родючості ґрунту:

$$\frac{\Delta ДМУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ММУ^j}{\Delta t} B_{nl} F_{Gum}, \quad (4.26)$$

де $\frac{\Delta ДМУ}{\Delta t}$ – приріст дійсно можливої урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²;

B_{nl} – бал ґрунтового бонітету, відн. од.

Рівень господарської урожайності загальної біомаси обмежується реально існуючим рівнем культури землеробства й ефективністю внесених мінеральних і органічних добрив:

$$\frac{\Delta UB^j}{\Delta t} = \frac{\Delta DMU^j}{\Delta t} k_{земл} FWM_{ef}^j, \quad (4.27)$$

де $\frac{\Delta UB}{\Delta t}$ – приріст урожайності загальної біомаси у виробництві, г/м²;

$k_{земл}$ – коефіцієнт, що характеризує рівень культури землеробства і господарської діяльності, відн. од.;

FWM_{ef} – функція ефективності внесення органічних і мінеральних добрив в залежності від умов вологозабезпеченості декад вегетації, відн. од.

4.3 Оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні умови зростання цукрового буряку та продуктивність його посівів

Сівба цукрового буряку в Дніпропетровській області відбувається за середніми багаторічними (базовими) даними у другій декаді квітня (18 квітня). Як можна бачити з табл. 4.1, за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 сіяти буряк у Дніпропетровській області будуть дещо пізніше - 22 квітня, тобто різниця в термінах становитиме 4 дні.

Прихід фотосинтетично-активної радіації (ФАР) за період сівба – збирання цукрового буряку за середніми багаторічними даними складає 180,1 кДж/см². За сценарієм RCP4.5 очікується досить суттєве збільшення приходу ФАР до 209,9 кДж/см², тобто на 29,8 кДж/см². У відсотковому співвідношенні таке збільшення становить 17% від величини базового приходу ФАР.

Середня за вегетаційний період цукрового буряку температура повітря, яка становила за базовим варіантом $18,0^{\circ}\text{C}$, в сценарний період очікується близькою до середньої багаторічної ($18,7^{\circ}\text{C}$).

За середньобагаторічними даними у вегетаційний період цукрового буряку випадає 245 мм опадів. За кліматичним сценарієм RCP4.5 очікується деяке зменшення суми опадів за вегетацію. Так, протягом 2021-2050 рр. сума опадів становитиме 203 мм, що менше за базову на 42 мм (або на 17 %).

Таке зменшення кількості опадів досить суттєво погіршить показники вологозабезпечення рослин за умов реалізації сценарію RCP4.5. У той час, як базова величина сумарного випаровування (фактичного вологоспоживання) цукрового буряку становить 410 мм, величина цього показника, що очікується, становитиме 327 мм. Це на 83 мм (20%) менше за базове значення.

Базове значення вологопотребі цукрового буряку (випаровуваності) становить 780 мм, тоді як сценарна величина очікується на рівні 839 мм (на 59 мм або на 8% менше). Також за умов реалізації сценарію RCP4.5 збільшиться дефіцит вологи (різниця випаровуваності E_0 та випаровування E) до 512 мм, проти базових 370 мм. Тобто збільшення дефіциту становитиме 43 мм або 38% відповідно. Зменшиться також і відносна вологозабезпеченість цукрового буряку (E/E_0) з 0,51 до 0,38 відн. од., і величина ГТК з 0,88 до 0,69. За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5 сіяти буряк у Дніпропетровській області будуть 21 квітня, тобто різниця з базовим терміном становитиме 3 дні.

Величина суми ФАР за період сівба – збирання цукрового буряку за сценарієм RCP8.5 очікується більше за базову на $30,8 \text{ кДж/см}^2$ (становитиме $210,9 \text{ кДж/см}^2$). У відсотковому співвідношенні таке збільшення становить 17%.

Середня за вегетаційний період цукрового буряку температура повітря, яка становила за базовим варіантом $18,0^{\circ}\text{C}$, за умов реалізації сценарію RCP8.5 також очікується близькою до середньої багаторічної ($18,9^{\circ}\text{C}$).

Таблиця 4.1 – Агрометеорологічні умови вегетації цукрового буряку у Дніпропетровській області в порівнянні з умовами за сценаріями зміни клімату

Період, сценарій	Дата сівби	Середня температура повітря за період, °C	Сума опадів за період, мм	Сумарне випаровування за період (E), мм	Випаровуваність за період, (E ₀), мм	Відносна вологозабезпеченість (E/E ₀), відн.од.	Середній за період ГТК, відн. од.	Сума ФАР, кДж/см ² за період
1980-2010	18.04	18,0	245	410	780	0,51	0,88	180,1
RCP4.5	22.04	18,7	203	327	839	0,38	0,69	209,9
Різниця	4	0,7	-42	-83	59	-0,13	-0,19	29,8
Різниця, %			17	20	8			17
RCP8.5	21.04	18,9	183	275	762	0,36	0,65	210,9
Різниця	3	0,9	-62	-135	-18	-0,15	-0,23	30,8
Різниця, %			25	33	2			17
RCP2.6	11.04	19,1	263	494	1140	0,43	0,84	227,4
Різниця	-7	1,1	18	84	360	-0,08	-0,04	47,4
Різниця, %			7	20	46			26
RCP6.0	9.04	19,2	272	510	1109	0,45	0,87	226,5
Різниця	-9	1,2	27	100	329	-0,06	-0,01	46,4
Різниця, %			11	24	42			26

За кліматичним сценарієм RCP8.5 очікується дуже суттєве зменшення суми опадів за вегетацію цукрового буряку. Так, протягом 2021-2050 рр. очікується сума опадів 183 мм, що менше за базову на 62 мм (25 %). Таке зменшення кількості опадів дуже суттєво погіршить умови вологозабезпечення рослин та збільшить дефіцит вологи. Останній становитиме 487 мм замість 370 мм (тобто різниця становитиме відповідно 117 мм або 32%). При цьому величина E зменшиться відповідно на 135 мм (33%) у порівнянні з базовою і становитиме 275 мм. Величина E_0 також зменшиться до значення 762 мм, що на 18 мм або 2% менше базового значення. Також зменшиться і відносна вологозабезпеченість посівів цукрового буряку (E/E_0) з 0,51 до 0,36 відн. од. Зменшиться й величина ГТК з 0,88 до 0,65 відн. од.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP2.6 строки сівби цукрового буряку у Дніпропетровській області суттєво зміняться у порівнянні з базовими. Сіяти цукровий буряк будуть 11 квітня, тобто різниця в термінах становитиме 7 днів.

Прихід ФАР за вегетаційний період цукрового буряку за сценарієм RCP2.6 очікується найбільший з усіх варіантів – 227,4 кДж/см², що на 47,4 кДж/см² більше. У відсотковому співвідношенні таке збільшення є дуже суттєвим і становить 26%.

Середня за вегетаційний період цукрового буряку температура повітря за умов реалізації сценарію RCP2.6 очікується на 1,1°C вищою за базову, вона становитиме 19,1°C.

За цим сценарієм очікується деяке збільшення суми опадів за вегетацію. Так, очікується сума опадів 263 мм, що більша за базову на 18 мм (7 %). Таке зменшення кількості опадів також суттєво збільшить дефіцит вологи протягом вегетації. Він становитиме 646 мм замість 370 мм (тобто збільшення дефіциту становитиме відповідно 276 мм або 75%). При цьому величина E збільшиться відповідно на 84 мм (20%) у порівнянні з базовою і становитиме 494 мм. Однак і величина E_0 дуже суттєво зросте до значення

1140 мм, що на 360 мм або 46% більше базового значення. У зв'язку з таким суттєвим збільшенням вологопотреби посівів зменшиться і відносна вологозабезпеченість посівів цукрового буряку (E/E_0) з 0,51 до 0,43 відн. од. Зменшиться й величина ГТК з 0,88 до 0,84 відн. од.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP6.0 очікується найбільш ранній з усіх досліджених варіантів термін сівби цукрового буряку - 9 квітня. Таким чином, різниця в термінах у порівнянні з базовим варіантом становитиме 9 днів.

Прихід ФАР за вегетаційний період цукрового буряку за сценарієм RCP6.0 очікується набагато більше за базовий – 226,5 кДж/см², що на 46,4 кДж/см² більше базової суми. У відсотковому співвідношенні таке збільшення, як і за сценарієм RCP2.6, є досить суттєвим і становить 26%.

Середня за вегетаційний період цукрового буряку температура повітря за умов реалізації сценарію RCP6.0 очікується на 1,2°C вищою за базову і становитиме 19,2°C.

Саме за цим сценарієм очікується найбільша кількість опадів за вегетацію цукрового буряку, яка становитиме 272 мм, що більше за базову на 27 мм (11 %). Величина E збільшиться відповідно на 100 мм (24%) у порівнянні з базовою і становитиме 510 мм. Величина E_0 також збільшиться до значення 1109 мм, що на 329 мм або 42% більше базового значення.

Також суттєво збільшиться дефіцит вологи протягом вегетації. Він становитиме 599 мм замість 370 мм (тобто збільшення дефіциту становитиме відповідно 229 мм або 62%). У зв'язку зі збільшенням вологоспоживання та вологопотреби посівів дещо зменшиться відносна вологозабезпеченість вегетаційного періоду (E/E_0) з 0,51 до 0,45 відн. од. Майже не зміниться величина ГТК - з 0,88 до 0,87 відн. од.

Таким чином, як можна бачити, температурні умови вегетаційного періоду цукрового буряку за умов реалізації всіх чотирьох досліджених сценаріїв родини RCP зміняться не більше ніж на 1,2°C. Таким чином,

вегетація буде проходити в температурних умовах, що близькі до середньобагаторічних.

Зміни показників зволоження вегетаційного періоду цукрового буряку на території Дніпропетровській області будуть дуже суттєвими, тому величини вологозабезпеченості, що очікуються, будуть набагато менше за базове значення, яке також не є високим.

У той же час, суми ФАР за вегетаційний період цукрового буряку в Дніпропетровській області за умов реалізації всіх сценаріїв збільшуються у порівнянні з базовими.

Зміни агрокліматичних умов вирощування в зв'язку з очікуваними змінами клімату у Дніпропетровській області зумовлять і зміни показників фотосинтетичної продуктивності посівів цукрового буряку. Зміняться динаміка формування площі листової поверхні та величини фотосинтетичного потенціалу посівів (ФСП), чистої продуктивності фотосинтезу та приростів біомаси.

Зміна цих складових формування урожаю призведе до зміни величини загальної сухої біомаси урожаїв цукрового буряку різних агроекологічних категорій: потенційного (ПУ), метеорологічно-можливого (ММУ), дійсно можливого (ДМУ) та господарського урожаю коренеплодів.

Оскільки саме ПУ будь-якої сільськогосподарської культури визначається величиною ФАР, збільшення приходу ФАР, яке очікується за усіма сценарними варіантами, обумовить відповідне збільшення величин ПУ загальної сухої біомаси посівів цукрового буряку (табл. 4.2). При середніх багаторічних умовах вона складає 1026 ц/га, в той час як протягом сценарного періоду 2021-2050 рр. за умов реалізації сценарію RCP4.5 вона збільшиться на 68 ц/га - до 1094 ц/га (становитиме 107 % від середньої багаторічної). За сценарними умовами RCP8.5 це збільшення буде практично таким же – до 1098 ц/га (становитиме у порівнянні з базовим варіантом 72 ц/га чи 7%).

Зростання суми ФАР протягом сценарних варіантів RCP2.6 та RCP6.0 очікується більш суттєвим, тому й величини потенційних урожаїв будуть набагато більше. За умов сценарію RCP2.6 загальна суха маса ПУ становитиме 1161 ц/га, а за умов сценарію RCP6.0 – 1115 ц/га. Таким чином, збільшиться величина ПУ відповідно на 136 та на 89 ц/га. У відсотковому співвідношенні це збільшення становитиме 13 та 9%.

На рисунку 4.1 представлена динаміка накопичення відносної площі листа посівів цукрового буряку у Дніпропетровській області в умовах зміни клімату за чотирма сценаріями RCP в порівнянні з базовим періодом (1980-2010 рр.).

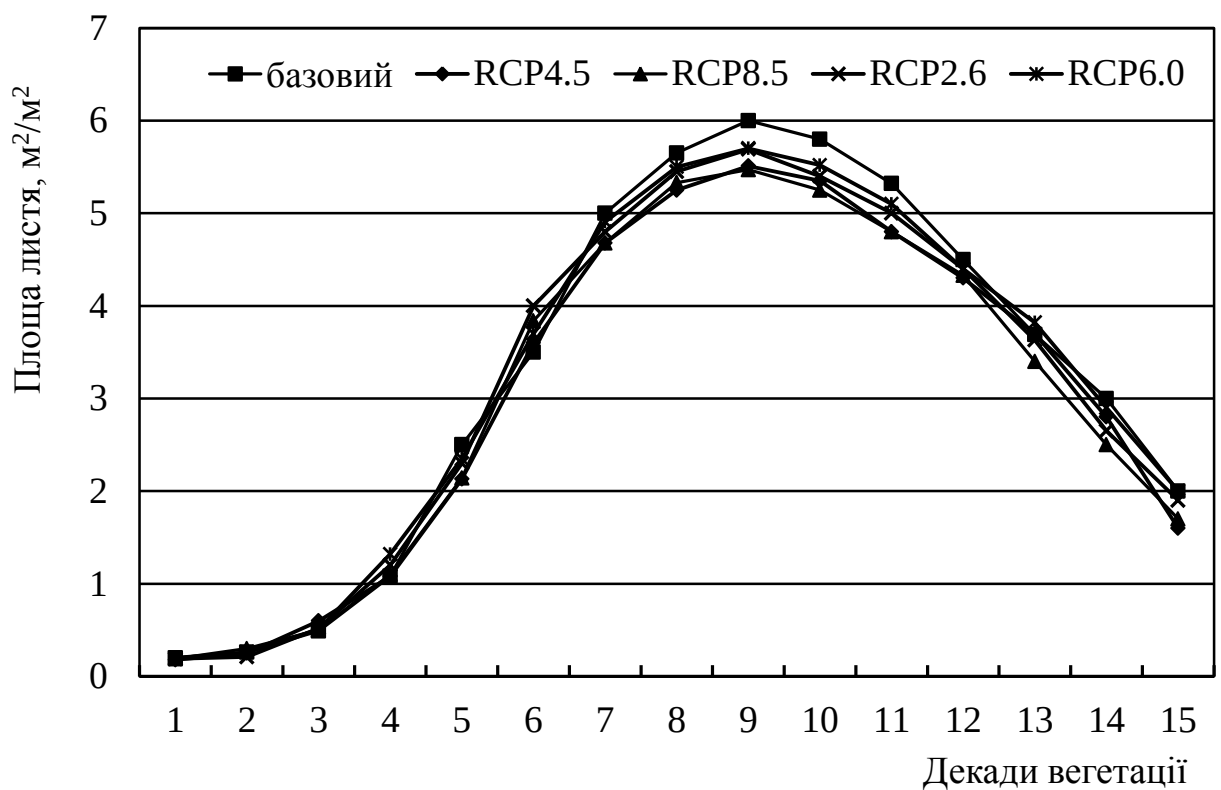


Рисунок 4.1 - Динаміка накопичення відносної площі листа посіву цукрового буряку в умовах зміни клімату за сценаріями RCP у порівнянні з базовим періодом (Дніпропетровська область)

Суттєве зменшення вологозабезпеченості протягом вегетації за всіма чотирма сценаріями групи RCP, завдяки стабільності температурного режиму та збільшенню надходження ФАР, не вплинуло дуже негативно на процес наростання площі листя (LL) посіву. Однак, якщо динаміка сценарного росту площі буде аналогічною динаміці росту за базових умов, то сценарні величини LL будуть дещо нижчими. Якщо в період максимального розвитку (це, як правило, 8-9 декада вегетації) за середніх багаторічних умов площа листя становить $6,00 \text{ м}^2/\text{м}^2$, то для періоду 2021-2050 рр. очікуються її величини 5,51, 5,47, 5,89 та $5,70 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (в залежності від сценарію).

Як видно з табл. 4.2, значення фотосинтетичного потенціалу посіву цукрового буряку за вегетаційний період при середніх багаторічних умовах становить $491 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За першим і другим сценаріями він очікується дещо меншим - становитиме відповідно 458-454 $\text{м}^2/\text{м}^2$, тобто 93% від базового значення. За третім та четвертим, більш сприятливими за вологозабезпеченістю та теплозабезпеченістю сценаріями, фотосинтетичний потенціал сформується дещо більший (471 та 481 $\text{м}^2/\text{м}^2$ відповідно). Таким чином він буде становити 96-98% від базового значення. Дуже суттєве зменшення вологозабезпеченості посівів цукрового буряку в 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 обумовлює зниження рівня метеорологічно можливого урожаю загальної сухої маси в порівнянні з більш сприятливими сценаріями RCP2.6 та RCP6.0. Так, за умовами першого та другого сценарних варіантів очікуються значення ММУ 493 та 491 ц/га, тоді як за базовими даними величина ММУ становить 512 ц/га (тобто сценарні ММУ на 19-21 ц/га або на 4% менші за базовий).

За сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 ММУ становить відповідно 495 і 501 ц/га, це на 17-11 ц/га чи на 3-2% менше за базовий. Можна сказати, у цьому випадку сценарні значення ММУ практично дорівнюють базовому значенню. Такі величини ММУ за умов зменшення вологозабезпеченості посівів пояснюються тим, що значення ПУ за цими сценаріями були досить великими завдяки суттєвому збільшенню сценарних сум ФАР.

З урахуванням природної родючості ґрунту базова величина дійсно можливого урожаю всієї сухої маси посіву цукрового буряку становить 353 ц/га. За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 вона складатиме 340-339 ц/га (96 % від середньої багаторічної). За сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 очікуються величини ДМУ, що практично дорівнюють базовій урожайності, а саме 342-345 ц/га (на 11-8 ц/га чи на 3-4% менше). Урожай коренеплодів при їх стандартній вологості 80 % у Дніпропетровській області становить при середніх багаторічних умовах 445 ц/га (табл. 4.2). За агрометеорологічних умов всіх сценаріїв він буде дещо менше за базовий. Причому це зменшення буде більш суттєвим для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 – урожаї становитимуть 429 та 427 ц/га відповідно (складати 84-82 % від базового). За сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 очікуються урожаї коренеплодів дещо більше – 430 та 435 ц/га (на 2-3 % менше за базовий), тобто можна сказати, що сценарні урожаї у цьому випадку практично дорівнюють базовому.

Таблиця 4.2 – Показники фотосинтетичної продуктивності цукрового буряку у Дніпропетровській області в порівнянні з умовами за сценаріями зміни клімату

Період, сценарій	Загальна суха маса, ц/га			Фотосин- тетичний потенціал, м ² /м ² за період	Урожай корене- плодів, ц/га
	потенцій- ного урожаю	метеоро- логічно можливого урожаю	дійсно можли- вого урожаю		
1980-2010	1026	512	353	491	445
RCP4.5	1094	493	340	458	429
Різниця	68	-19	-13	-33	-16
Різниця, %	7	4	4	7	4
RCP8.5	1098	491	339	454	427
Різниця	72	-21	-14	-37	-18
Різниця, %	7	4	4	7	4
RCP2.6	1161	495	342	471	430
Різниця	136	-17	11	-20	-15
Різниця, %	13	3	3	4	3
RCP6.0	1115	501	345	481	435
Різниця	89	-11	8	-10	-10
Різниця, %	9	2	2	2	2

Урожай коренеплодів при їх стандартній вологості 80 % у Дніпропетровській області становить при базових умовах 445 ц/га. За агрометеорологічних умов всіх сценаріїв він буде дещо менше за базовий. Причому це зменшення буде більш суттєвим для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5, а за сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 можна сказати, що сценарні урожаї практично дорівнюють базовому.

Таким чином, зміни агрокліматичних умов в Дніпропетровській області для посівів цукрового буряку критичними не будуть і можна рекомендувати не скорочувати посівні площі під цією цінною сільськогосподарською культурою. Треба відзначити, що отримані висновки цілком збігаються з результатами наших попередніх досліджень [37], а також з рекомендаціями вчених Інституту цукрових буряків і біоенергетичних культур, які теж рекомендують в умовах сучасних змін клімату не розміщувати посіви цукрових буряків у степових областях за винятком окремих районів Кіровоградської області та північної частини Дніпропетровської області [38].

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз рядів середньообласної урожайності цукрового буряку в Дніпропетровській області за період з 1995 по 2017 роки, отриманих за даними обласного управління статистики, проводився за методом гармонійних вагів.

За досліджуваний період відбувся вельми активний ріст трендової компоненти, що свідчить про суттєве підвищення рівня культури землеробства. Середня за роки досліджень урожайність склала 264 ц/га. Тенденція урожайності, визначена за допомогою методу гармонійних зважувань, додатна і складає 20 ц/га.

У 1998 р. спостерігався найнижчий урожай за досліджуваний період - 116 ц/га. Останні роки характеризуються швидким та інтенсивним ростом урожайності. Так у 2013 та 2017 рр. було зібрано найбільші урожаї цукрового буряку – 494 та 497 ц/га.

Аналіз відхилень від тренду показав, що за погодними умовами найсприятливішим для вирощування цукрового буряку був 2013 р. (додатне відхилення становить 128 ц/га), а найнесприятливішим був 2010 р. (від’ємне відхилення складає 93 ц/га).

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

Ймовірнісний аналіз рядів урожайності показав, що лише один-два рази у десять років можна очікувати високих урожаїв цукрового буряку порядку 375-450 ц/га.

2. Для кліматичних розрахунків використовується набір сценаріїв Representative Concentration Pathways – RCP, а саме “м’який” (RCP2.6), сценарії “стабілізації” (RCP4.5 і RCP6.0) та “жорсткий” (RCP8.5). Всі розрахунки було виконано шляхом порівняння середніх багаторічних

характеристик метеорологічних та агрометеорологічних показників за сценарними даними та за період з 1986 по 2005 рр. (базовий період).

3. Модельні розрахунки показують, що дати сівби цукрового буряку за сценарними варіантами зсунуться у бік як більш пізніх так і більш ранніх термінів. Причому зсув у часі буде не однаковим для всіх сценаріїв і складатиме від 3 до 9 днів.

Вегетація цукрового буряку пройде при середніх температурах, що будуть дещо більше за базові, причому різниця відповідно з сценаріями становитиме від 0,7 до 1,2°C. Таким чином, температурні умови вегетаційного періоду цукрового буряку за умов реалізації всіх сценаріїв залишаться близькими до базових.

Радіаційні ресурси, що виражаються у приході суми ФАР за вегетаційний період зміняться більш суттєво за сценарними умовами у порівнянні з базовими. Найбільші суми (226,5 кДж/см²) очікуються за сценарієм RCP6.0, найменші – за сценарієм RCP4.5 – 209,9 кДж/см². При цьому суми за базовий період будуть найменшими – 180,1 кДж/см².

Найбільш суттєво зміняться умови вологозабезпеченості посівів. За базовий період показник E/E_0 становить 0,51, тоді як за сценарними умовами він дещо зміниться за сценаріями RCP2.6 і RCP6.0 (відповідно до 0,43 та 0,45) і дуже суттєво зміниться за сценаріями RCP8.5 і RCP4.5 (відповідно до 0,36-0,38).

4. Розглядаючи формування урожаїв цукрового буряку різних агроекологічних категорій, можна сказати, що у відповідності до сум ФАР, що очікуються, найбільші величини потенційного урожаю спостерігаються за сценаріями RCP2.6 і RCP6.0, дещо менше – за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 і найменші – у базовий період.

Але з врахуванням впливу на урожайність вологісно-теплових ресурсів (у вигляді інтегрального показника - узагальненої функції впливу термічного режиму і вологозабезпеченості), величини ММУ за всіма сценаріями очікуються дещо меншими за базові. Те ж стосується і дійсно-

можливих урожаїв, тобто урожаїв з поправкою на природну родючість ґрунтів.

Фотосинтетичний потенціал посіву за всі сценарні періоди також очікується меншим за базовий. Всі ці зміни показників фотосинтетичної продуктивності посівів перш за все визначаються зменшенням вологозабезпеченості вегетаційного періоду цукрового буряку.

Урожай коренеплодів, тобто господарський урожай також за сценарними умовами очікується дещо менший за базовий. Найбільші втрати очікуються за умов “жорсткого” сценарію RCP8.5 і становитимуть 18 ц/га, Найменші втрати очікуються за умов сценарію “стабілізації” RCP6.0 і становитимуть 10 ц/га.

Однак ці втрати можна вважати не дуже суттєвими, оскільки в Дніпропетровській області, як показали наші розрахунки за методом гармонійних вагів, досить високий рівень культури землеробства.

Тенденція, що дорівнює 20 ц/га, свідчить, що за рахунок досконалої культури землеробства можна отримувати щорічно підвищення урожаїв на 20 ц/га. Тобто за умов строгого дотримання всіх заходів у процесі вирощування цукрового буряку, а також за впровадження у бурякосійний процес нових сортів цукрового буряку, адаптованих до змін клімату, що очікуються, можна звести до мінімуму вплив дещо погіршених сценарних агрометеорологічних умов.

Отже, можна рекомендувати не скорочувати посівні площі під вельми цінною сільськогосподарською культурою – цукровим буряком в Дніпропетровській області.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паламарчук В.Д., Поліщук І.С., Каленська С.М., Єрмакова Л.М. Біологія та екологія сільськогосподарських рослин: монографія. Вінниця, 2013. 724 с.
2. Гоменюк В.О. Буряківництво: навч. посіб. Вінниця: Континент-ПРИМ, 1999. 276 с.
3. Петров В.А., Зубенко В.Ф. Свекловодство: монографія. Москва: Агропромиздат, 1991. 189 с.
4. Технічні культури: підручник / А. С. Малиновський, В. Г. Дідора, М. В. Грищак, О. А. Саюк [та ін.]; за ред. А. С. Малиновського. Житомир: Держ. агрокол. ун-т, 2007. 305 с.
5. Бондар В.С. Цукрові буряки, як відновлювальне джерело біоенергетики // Вісник цукровиків України. 2014. № 1 (92). С. 22-25.
6. Цукрові буряки (виращування, збирання, зберігання) Під. заг. ред. Д. Шпаара. - К: ННЦ ІАЕ, 2005. - 340 с.
7. EU sugar industry upbeat about ethanol beets // International Sugar & Sweetener Report. - Ratzerburg (Germany): F.O. LICHTS, 2008. № 21. Vol. 140.
8. Калетнік Г.М. Перспективи економічного зростання вітчизняного буряко-цукрового виробництва // Вісник аграрної науки. - 2009. № 11. С. 68-70.
9. Сінченко В.М., Пирків В.І. Управління процесами біоадаптивної технології виробництва цукрових буряків // Цукрові буряки. 2013. №3. С. 6-13.
10. Агрокліматичний довідник по Дніпропетровській області (1986-2005 рр.). За редакцією Т. І. Адаменко. Дніпропетровськ, 2013. – 195 с.
11. Сайт Головного управління статистики Дніпропетровської області Електронний ресурс. Режим доступу: <http://dneprstat.gov.ua>.
12. Біологічні особливості та технологія вирощування буряка цукрового // Фермерське господарство. 2010. № 33. С. 14.
13. Рослинництво: підручник / О.І. Зінченко, В.Н. Салатенко, М.А. Білоножко. Київ: Аграрна освіта, 2001. 591 с.

14. Зубенко В.Ф., Шаповал М.П., Нориця Є.І. Цукрові буряки: монографія. Київ: Урожай, 1983. 144 с.
15. Роїк М.В. Буряки: монографія. Київ: XXI вік-РІА ТРУД-КИЇВ, 2001. 320 с.
16. Рожков А.О., Огурцов Є.М. Рослинництво: навч. посібник. Харків: Тім Пабліш Груп, 2017. 363 с.
17. Глеваский І.В. Буряківництво. – К.: Вища школа, 1991. 305 с.
18. Посыпанов Г.С. Растениеводство. Москва: Колос, 1997. 448 с.
19. Красочкин В.Т. Свекла - Beta (L.), раздел: Биология и отношение к условиям среды. В: Культурная флора СССР. Под ред. Жуковского П.М. Том XX: Корнеплодные растения. Ленинград: Колос, 1971. 232 с.
20. Орловский Н. И. Сколько воды требуется сахарной свекле // Сахарная свекла. 1965. Вып. 10. С. 37-38.
21. Кошкин Е.И., Гатаулина Г.Г., Дьяков А.Б. и др. Частная физиология полевых культур / Под ред. Е.И. Кошкина. Москва: КолосС, 2005. 344 с.
22. Гойса Н.И., Гаценко Р.В. Режим ФАР в посевах сахарной свеклы // Труды УкрНИГМИ. Погода и урожай. 1987. Вып. 223. С. 67-72.
23. Зубенко В.Ф., Шаповал М.П., Нориця Є.І. Цукрові буряки: монографія / Київ: Урожай, 1983. 144 с.
24. Українська технологія вирощування цукрових буряків (методичні рекомендації). Вид-во Житомирського національного агроекологічного університету, 2011. 20 с.
25. Обухов В.М. Урожайность и метеорологические факторы. – М.: Госпланиздат, 1949. 318 с.
26. Польовий А.М. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. 319 с.
27. Пасов В.М. Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур. Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 128 с.
28. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. 362 с.

29. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: монографія / За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: «ТЕС», 2015. 520 с.
30. Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Christensen O.B., Bouwer L.M., Braun A., Colette A., Déqué M. et al. EURO-CORDEX: new highresolution climate change projections for European impact research // *Regional Environmental Change*. 2014. Vol. 14, Issue 2. P. 563–578.
31. Climate Change 2013: The Physical Science Basis / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor [et al.] // *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
32. Степаненко С.М., Польовий А.М. та ін. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України: монографія / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: Екологія, 2011. 696 с.
33. Степаненко С.М., Польовий А.М. та ін. Оцінка кліматичних ризиків для галузей економіки України в умовах глобальних змін клімату: монографія / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: Екологія, 2018. 604 с.
34. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. 264 с.
35. Полевой А.Н. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур // *Метеорология, климатология и гидрология*. 2004. № 48. С. 195-205.
36. Полевой А.Н. Моделирование фотосинтеза зеленого листа у растений типа C_3 и C_4 при изменении концентрации CO_2 в атмосфере. // В сб.: *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. Москва: ИГКЭ, 2010. Том XXIII. С. 297-315.
37. Колосовська В.В., Вольвач О.В., Гребенюк Б.М. Вплив змін клімату на агрокліматичні умови вирощування цукрового буряку в Дніпропетровській області. Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної інтернет-

конференції «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії». Переяслав-Хмельницький, 31 травня 2019 р. С. 16-19.

38. Сінченко В.М., Пиркін В.І., Широкоступ О.В. Біологічні особливості розвитку буряків цукрових в Україні // Цукрові буряки. 2018. №3. С. 4-7.