

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

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **Агроекологічна оцінка впливу змін клімату на
перспективи вирощування біоенергетичної культури міскантусу
в Лісостепу України**

Виконала студентка 2 курсу групи МАЕ-23
спеціальності 101 «Екологія», _____
(шифр і назва)

Освітня програма Агроекологія _____
(назва)

Нестеренко Юлія Костянтинівна _____
(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 _____
Кічук Наталія Сергіївна _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Одеса 2018 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра агрометеорологія та агрометеорологічних прогнозів
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 101 «Екологія»
(шифр і назва)
Освітня програма Агроекологія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів
Польовий А.М.
“ 26 ” березня 2018 року

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

Нестеренко Юлії Костянтинівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Агроекологічна оцінка впливу змін клімату на перспективи вирощування біоенергетичної культури міскантусу в Лісостепу України
керівник роботи Вольвач Оксана Василівна, к.геогр.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від « 9 » березня 2018 року № 47 - С
2. Строк подання студентом роботи 01 червня 2018 року
3. Вихідні дані до роботи Метеорологічні дані за сценарієм RCP4.5 зміни клімату за періоди 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050 рр. та фактичні середньобагаторічні метеорологічні дані (середня декадна температура повітря, декадні суми опадів, число годин сонячного сяння, дефіцит вологості повітря, випаровування) за базовий період 1981-2010 рр.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вивчити фізико-географічні та агрокліматичні особливості території Вінницької області; ознайомитись з методологією оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур за допомогою динамічної моделі А.М. Польового; вивчити агроекологічні особливості нової для України біоенергетичної культури - міскантусу; оцінити зміни агрокліматичних умов вирощування міскантусу у Вінницькій області у зв'язку зі зміною клімату; визначити вплив можливих змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та урожайність біомаси міскантусу другого року життя в Вінницькій області за умов реалізації сценарію RCP4.5 зміни клімату.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Графік ходу ФАР протягом вегетаційного періоду міскантусу, графік динаміки приростів ПУ, динаміка фактичних та сценарних середньодекадних температур, графіки динаміки умов зволоження вегетаційного періоду, динаміка середньодекадних приростів ММУ та ДМУ біомаси міскантусу, динаміка накопичення виробничих урожаїв міскантусу другого року за сценарними та базовими умовами.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 26 березня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання, формування бази даних для виконання проекту. Написання теоретичної частини проекту.	26.03.2018 р. - 6.04.2018 р.	90	5(відмінно)
2	Розрахунки основних агрокліматичних показників вегетаційного періоду міскантусу за базовими та сценарними даними.	7.04.2018 р. - 29.04.2018 р.	90	5(відмінно)
3	Рубіжна атестація	30.04.2018 р. -6.05.2018 р.	90	5(відмінно)
4	Розрахунки приростів агроекологічних категорії урожаїв посівів міскантусу за допомогою динамічної моделі за базовими даними та за умов реалізації сценарію RCP4.5.	7.05.2018 р. - 17.05.2018 р.	90	5(відмінно)
5	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.	18.05.2018 р. -27.05.2018 р.	90	5(відмінно)
6	Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи і презентаційного матеріалу до публічного захисту	28.05.2018 р. -1.06.2018 р.	90	5(відмінно)
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90,0	

Студентка

(підпис)

Нестеренко Ю.К.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Вольвач О.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Нестеренко Ю.К. Агроекологічна оцінка впливу змін клімату на перспективи вирощування біоенергетичної культури міскантусу в Лісостепу України

Актуальність обраної теми зумовлена тим, що для отримання сталих і високих урожаїв будь-якої сільськогосподарської культури, зокрема, нової біоенергетичної культури міскантусу, 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 міскантусу на прикладі однієї з лісостепових областей України – Вінницької.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *завдання*: - розрахувати основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду міскантусу другого року життя в Вінницькій області за базовими умовами та врахуванням змін клімату за періоди 2021-2030, 2031-2040 та 2041-2050 рр.;

- визначити вплив можливих змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та урожайність міскантусу другого року життя за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5;

- провести оцінку продуктивності агрокліматичних ресурсів для міскантусу.

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

Предмет дослідження - оцінка впливу агрокліматичних умов на урожайність міскантусу в Вінницькій області.

Метод дослідження - метод математичного моделювання продукційного процесу рослин.

Вперше: встановлені закономірності впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування міскантусу та продуктивність культури в Вінницькій області.

Отримані результати можуть бути використані при виконанні комплексної оцінки агрокліматичних ресурсів стосовно вирощування міскантусу та оптимізації розміщення його посівних площ за умов реалізації сценарію RCP4.5 зміни клімату в лісостепу.

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань. Повний обсяг роботи становить 68 сторінок, 12 рисунків, 3 таблиці. Список використаних літературних джерел містить 39 найменувань.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: міскантус, модель продуктивності, зміна клімату, агрокліматичні умови, урожай біомаси.

SUMMARY

Nesterenko Yu.K. Agroecological assessment of the impact of climate change on the prospects of growing the bioenergy culture of the Miscanthus in the forest-steppe of Ukraine.

The relevance of the chosen topic due to the fact that to obtain stable and high yields of any crops, particularly new biochemical culture of the Miscanthus, 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 productivity of Miscanthus by the example of Ukrainian forest-steppe region - Vinnitsa.

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

- to calculate the basic agroclimatic indicators of vegetation period Miscanthus of the second year of life in Vinnitsa region for the baseline conditions and consideration of climate change for the periods 2021-2030, 2031-2040 and 2041-2050 years;

- to determine the effect of possible changes in climate on photosynthetic productivity and Miscanthus of the second year of life yields in the conditions of climate change RCP4.5 scenario realization;

- to evaluate the performance of agro-climatic resources for Miscanthus.

The object of study - agroclimatic conditions of Miscanthus yield formation in conditions of climate change.

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

Research method - method of mathematical modeling producing process plants.

For the first time: the regularities of the effect of climate change on agroclimatic conditions for Miscanthus cultivation and its productivity in Vinnitsa region.

The results can be used when performing a comprehensive assessment of agroclimatic resources in relation to Miscanthus cultivation and optimize the placement of the acreage in the conditions of realization of RCP4.5 scenario of climate change in the Ukrainian forest-steppe.

The work consists of an introduction, four chapters, conclusions, list of references. Full body of work is 68 pages, 12 figures, 3 tables. List of used literature contains 39 items.

KEY WORDS: Miscanthus, productivity model, climate change, agro-climatic conditions, the yield of biomass.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ТА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	9
1.1 Фізико-географічна характеристика та особливості геологічної будови.....	9
1.2 Кліматичні умови.....	13
2 БОТАНІЧНА ТА БІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КУЛЬТУРИ МІСКАНТУСУ.....	17
2.1 Міскантус як перспективна енергетична рослина в Україні	17
2.2 Ботанічна та біологічна характеристика міскантусу.....	20
3 БАЗОВА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР А.М. ПОЛЬОВОГО.....	24
3.1 Блок вхідної інформації.....	26
3.2 Блок показників сонячної радіації і волого-температурного режиму..	26
3.3 Блок функцій впливу фази розвитку і метеорологічних факторів на продукційний процес рослин.....	28
3.4 Блок родючості ґрунту і забезпеченості рослин мінеральним живленням.....	30
3.5 Блок агроекологічних категорій урожайності.....	34
3.6 Блок узагальнених оціночних характеристик.....	
4 ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ ТА ФОРМУВАННЯ ЙОГО ВРОЖАЙНОСТІ.....	37
4.1 Сучасний стан досліджень впливу зміни клімату на сільськогосподарське виробництво.....	37
4.2 Агрокліматичні умови вирощування міскантусу при реалізації сценарію RCP4.5.....	40
4.3 Вплив змін агрокліматичних умов на динаміку приростів урожайності міскантусу за умов реалізації сценарію RCP4.5.....	44
4.4 Оцінка продуктивності агрокліматичних ресурсів для міскантусу....	57
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	66
ДОДАТКИ.....	70

ВСТУП

Найбільш актуальними завданнями, що стоять перед державою, є скорочення споживання досить дорогого імпортного палива – природного газу та нафти і пошук власних альтернативних відновлюваних джерел енергії з одночасним вирішенням екологічних проблем та розвитком енергоощадних технологій. Відомо, що через 5-10 років розвідані запаси нафти будуть вичерпані на 60-65 %, видобуток скоротиться на 30-40 %, а потреба у споживанні збільшиться. Тому все більше виникає необхідність залучати нетрадиційні джерела енергії, в тому числі створені на основі біоенергетичної сировини.

Активне нарощування промислового виробництва призводить до забруднення навколишнього середовища (води, ґрунту, повітря). Досить шкідливим та небезпечним для живих організмів є забруднення природного середовища токсичними речовинами, важкими металами, а викиди в атмосферу великої кількості CO₂ промисловими підприємствами спричиняють велику небезпеку для навколишнього середовища та призводять до парникового ефекту.

Але останніми роками все більше уваги почали приділяти біопаливу, що виробляється з високопродуктивних енергетичних культур. Джерелом енергетичної сировини можуть бути як побічні продукти рослинного походження (солома, соняшникове лушпиння, стебла кукурудзи тощо), так і спеціально призначені для цього рослини – «енергетичні рослини», які є головним абсорбентом вуглекислого газу та утворюють високі врожаї біомаси, яку можна було б використати на енергетичні цілі для виробництва біопалива.

Тому, враховуючи високу залежність країни від імпортних енергоносіїв, в першу чергу, природного газу, біоенергетика для нашої держави є одним із стратегічних напрямків розвитку сектору відновлюваних джерел енергії. Також на користь розвитку виробництва біопалива говорить

великий потенціал біомаси в Україні, доступної для виробництва енергії. Нажаль, темпи розвитку вітчизняної біоенергетики досі істотно відстають від європейських.

Залучення даного потенціалу до виробництва енергії може задовольнити близько 12-15% потреб України в первинній енергії. Велика кількість рослин була досліджена для визначення потенційної можливості використання їх як енергетичних культур, але тільки небагато видів досягли комерційного рівня і вирощуються на великих площах. Серед них найбільш поширеними є: міскантус, світчграс (лозоподібне просо), верба, тополя (висаджуються приблизно на 10-15 років (до 30 років). Підготовка ґрунту не потребує великих енергетичних затрат, врожай збирається взимку або навесні з використанням звичайної сільськогосподарської техніки [1].

Представники роду *Miscanthus* мають широкі адаптаційні можливості, можуть ефективно вирощуватися в різних ґрунтово-кліматичних умовах помірної широти, забезпечують високу продуктивність при мінімальних витратах на їх вирощування.

З огляду на це види роду *Miscanthus* є перспективними енергетичними рослинами для умов України, проте відсутність комплексних досліджень біологічних, екологічних та біохімічних особливостей рослин, високопродуктивних, адаптованих до місцевих умов сортів, а також технологій вирощування та використання сировини для виробництва різних видів біопалива унеможливають широке впровадження представників цього роду в культуру.

Крім того, на теперішній час відсутні зональні науково-обґрунтовані технології культивування міскантусу залежно від еколого-географічних та агрокліматичних особливостей. Остаточо не з'ясовано вимоги рослин до умов довкілля, особливості росту та розвитку, продуктивність основної та побічної продукції, якісні та кількісні характеристики сировини, енергетичний потенціал нових форм, гібридів та сортів.

Також повністю відсутні наукові напрацювання стосовно перспектив вирощування культури з врахуванням майбутніх змін клімату. Тому тема магістерського дослідження є вельми актуальною. Для виконання розрахунків були використані дані вітчизняних та іноземних літературних джерел щодо вимог міскантусу до агрометеорологічних та агрокліматичних умов, дані Агрокліматичного довідника по Вінницькій області та метеорологічні дані за сценарієм RCP4.5 змін клімату. Магістерська кваліфікаційна робота виконувалась згідно до рекомендацій, наданих у Методичних вказівках [2].

1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ТА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Вінницька область – одна з областей зони Лісостепу України. Лісостепова зона простягається смугою понад 1 тис. км від Карпат до східних кордонів України. Загальна площа її становить понад 20,1 млн. га, або 33,6% території держави. Порівняно м'яка зима, помірно вологе й тепле літо та родючі ґрунти створюють найсприятливіші в Україні умови для одержання високих і сталих урожаїв майже всіх тепло- і вологолюбних культур.

При плануванні й проведенні заходів по дальшому розвитку та інтенсифікації сільського господарства необхідно враховувати агрокліматичні умови території. Це дасть змогу максимально використовувати природні ресурси та послабити вплив несприятливих метеорологічних умов на сільськогосподарські культури.

1.1 Фізико-географічна характеристика та особливості геологічної будови

Вінницька область утворена 27 лютого 1932 року. Обласний центр - місто Вінниця. Розташована на правобережжі Дніпра в межах Придніпровської та Подільської височин. На заході межує з Чернівецькою та Хмельницькою, на півночі з Житомирською, на сході з Київською, Кіровоградською та Черкаською, на півдні з Одеською областями України та з Республікою Молдова, в тому числі частина кордону приходиться на Придністров'я. Площа області 26513 км². Область займає майже 4,5% території України [3].

В геоструктурному плані основна частина території області припадає на південно-західну окраїну Українського кристалічного масиву, складеного архей-протерозойськими метаморфічними породами і тільки її південно-

західна окраїна розташована на Волино-Подільській плиті, де породи фундаменту перекриті відносно потужною товщею більш молодих, переважно осадових відкладів.

Подільське плато займає більшу частину області. Воно продовжується далі на захід на території Хмельницької і Тернопільської областей. Зниження в рельєфі, по якому течуть ріки Снівода, Соб і Південний Буг, відокремлює Подільське плато від Придніпровської височини, частина якої заходить на територію області.

На території Вінницької області Подільське плато має найбільшу висоту у Шаргородському районі. Максимальна висота – 384 м над рівнем моря. Поблизу села Степашки (Барський район) окрема ділянка плато має відмітку 382 м.

Взагалі плато не становить суцільної рівної поверхні і дуже порізане долинами численних невеликих річок та ярами. Та частина Подільського плато, що має нахил у бік Дністра, відзначається дуже великою роздробленістю на окремі пасма. Верхів'я річок Лядова, Немія, Жван, Мурафа, що течуть по дну широких розложистих балок, мають пологі схили, і тому рельєф цієї місцевості має вигляд хвилястої рівнини, а з наближенням долин річок до Дністра всі вони стають типово подільськими. Ріки глибоко врізаються в осадові породи, долини каньйоноподібні, цілком позбавлені терас, схили утворюють круті урвища з частими відшаруваннями вапняків та пісковиків. Глибокі долини річок Придністров'я надають цій частині області вигляду гірської місцевості. Східна і північно-східна частини Подільського плато в межах області значно менше розчленовані долинами річок.

У північно-східній частині області, від верхів'я Сніводи до Гірського Тікичу, лежить Придніпровська височина. Найбільш підвищена частина її має середню висоту 300 м. У північно-західній частині області Придніпровська височина має середню висоту від 250 до 300 м. Окремі підвищення є на північний захід від Вінниці (середня висота 300 м), на південь від Хмільника (середня висота - 300 м, найбільша - 345 м).

Низовин в межах області немає. Є окремі рівні ділянки території, що лежать нижче навколишньої місцевості. На північному заході області, між Південним Бугом і його притокою Згаром, лежить дуже заболочена Летичівська низина, її абсолютні висоти не перевищують 300 м [4].

Вінницька область багата нерудними корисними копалинами. Господарське значення мають родовища каолінів і будівельного каменю. Найбільші з родовищ каоліну - Глуховецьке, Турбівське та Великогадомінецьке. На території області виявлено близько 50 родовищ гранітів, гнейсів, піщаників, найбільші з них - Вітовське, Гніванське, Стрижавське, Жежельівське. Є також родовища фосфоритів (Жванське), крейди, гіпсу, глини, піску. Паливні ресурси області обмежені і представлені торфом і бурим вугіллям. Ці ресурси мають місцеве значення. На території області відкриті джерела мінеральних вод - в Хмільнику (радонові води), у селі Житники, поблизу міста Козятин і в селі Липовці. Таким чином, мінерально-сировинні ресурси Вінницької області створюють гарну базу для швидкого розвитку її промисловості [3].

У Вінницькій області є густа мережа річок, що належать до басейнів трьох великих рік – Південного Буга (приблизно 62% території), Дністра (28%) та Дніпра (10%). Вони мають переважно снігове й дощове живлення і належать до типу рівнинних. Взагалі у області протікає 241 річка. Найбільшою річкою, що на значному протязі (317 км) протікає по території області і ділить її на дві майже рівні частини, є Південний Буг, який у межах області приймає 14 приток з лівого боку і стільки ж з правого. Найбільші притоки: Згар, Рів, Дохна, Соб, Снивода, Постолова, Десна [4].

На південному заході, на межі з Чернівецькою областю і Молдовою, протікає друга за розмірами річка України – Дністер. Притоки: Мурафа, Немиця, Лядова. До басейну Дніпра належать річки крайнього північного сходу області. Вони тільки частково протікають по території області: Рось, Оріхова і Роставиця.

До внутрішніх вод області належать численні ставки та водосховища. Тут налічується більше 2500 ставків, загальна площа їх перевищує 20 тис. га. В області розташовано 60 водосховищ. Найбільші водосховища – Ладжинське, Сандрацьке, Сутиське і Дмитренківське.

Болота на території Вінничини розташовані по долинах річок. Найбільше боліт у північній і середній частинах області. Найбільші площі боліт є вздовж Згару, Рову, Рівця, Собі, Соврані, Постолової, Десни [3, 4].

Найбільш поширеними ґрунтами в області є опідзолені ґрунти (приблизно 1318,6 тис. га), з яких 351,2 тис. га чорноземи опідзолені. Орні землі становлять 82%. Середній вміст гумусу в ясно - сірих та сірих опідзолених ґрунтах – 1,85%, темно - сірих опідзолених – 2,77% і чорноземах опідзолених – 3,39%. Чорноземи типові займають площу приблизно 494 тис. га, з яких 91% розорані. Середній вміст гумусу - 4,01%. 36,3 тис. га припадає на інші типи чорноземних ґрунтів. На площі 14,8 тис. га поширені дерново - слабопідзолисті ґрунти, середній вміст гумусу яких становить 0,90%. 9,1 тис. га цих земель зайняті малопродуктивними сільськогосподарськими вгіддями, з них 59% розорюється. Решта типів ґрунтів поширені переважно на незначних площах і становлять 115,3 тис. га.

Середній вміст гумусу в ґрунтах області – 2,94%. Найвищий вміст його мають ґрунти Липовецького (3,99%), Хмільницького (3,87%), Калиновського (3,65%), Козятинського (3,87%) районів, найнижчий – у Барському (1,86%), Жмеринському (1,94%), Тиврівському (1,92%) і Муровано-Куриловецькому (1,97%) районах [4].

Вінницька область лежить у межах лісостепової зони. Рослинність області характерна для лісостепу. Лісистість території складає 14,2%. Ліси Вінничини належать до типу середньоевропейських лісів. Основу лісової рослинності становить граб, а до звичайних тутешніх дерев належать: дуб, ясен, липа, клен, явір, берест, осика, тополя, дика груша, дика яблуня, черемха, черешня та інші.

Ґрунти в основному опідзолені (близько 65%). На північному сході області переважають чорноземи, в центральній частині - сірі, темно-сірі, світло-сірі, на південному сході і в Придністров'ї - чорноземи і опідзолені ґрунти. Більш 70% території області зорано.

В області дуже різноманітна фауна: водиться багато як лісових звірів (лосі, олені, зубри, дикі свині, бобрі, вовки, лиси, кози, їжаки, борсуки, куниці, тхори, зайці), так і степових (гризуни) та водяних (норка, видра). Багато водяного, болотяного, лісового й степового птаства (дикі гуси й качки, чорногуз, чапля, журавель, голуби, перепелиця), бджоли в липових лісах, а в річках і озерах – розмаїття риби (короп, лящ, сом, щупак тощо).

В сільському господарстві представлені всі галузі сільськогосподарського виробництва, навіть такі унікальні як хмільництво. У галузевій структурі сільського господарства рослинництво становить 61,6%, тваринництво – 38,4%. Провідні зернові культури: озима пшениця, ячмінь, зернобобові, кукурудза, з технічних культур – цукрові буряки.

У тваринництві переважає молочно-м'ясне скотарство й свинарство. Розвинені птахівництво, ставкове рибництво та бджільництво. Тваринництво має сприятливу кормову базу, яку забезпечують відходи харчової промисловості (цукрової, спиртової), кормові культури [5].

1.2 Кліматичні умови

Клімат області – помірно-континентальний. Середня температура січня: $-3,5^{\circ}\text{C}$, середня температура липня: $19,9^{\circ}\text{C}$. Річна кількість опадів складає 611 мм, з них 73% випадають в теплий період. Зима характеризується тривалими й інтенсивними відлигами з підвищенням температури в окремі роки до $12-14^{\circ}\text{C}$. Характерною рисою термічного режиму взимку є порівняно невеликі зміни температури з місяця в місяць. Найбільше підвищення температури по всій зоні спостерігається в періоди

березень-квітень та квітень-травень. Дальше підвищення температури протікає значно повільніше.

Літній період відзначається високими й сталими температурами без значних змін по території області. В найтеплішому місяці - липні - середня температура становить $19,9^{\circ}\text{C}$. Температура серпня відрізняється від температури липня на 1°C . Найінтенсивніші зниження температури відбуваються протягом жовтня-листопада.

Перехід температур через 0°C навесні спостерігається у кінці третьої декади лютого (27.02), а восени - у третій декаді листопада (25.11), отже, зимовий період у Вінницькій області триває близько 90 днів [4].

В агрокліматології початок та закінчення періоду із середньодобовою температурою повітря вище 5°C є ознакою початку та закінчення вегетаційного періоду. Для середньовимогливих до тепла культур початок та кінець вегетації визначається переходом температури через 10°C , а для теплолюбних культур – через 15°C .

Початок вегетаційного періоду у Вінницькій області спостерігається 31 березня, а його закінчення - 31 жовтня, тобто тривалість вегетаційного періоду для невимогливих до тепла сільськогосподарських культур складає 214 днів. Період активної вегетації (період с температурами вище 10°C) триває в середньому по області 169 днів. Його початок спостерігається 19 квітня, а закінчення – 31 жовтня.

Перехід температур через 15°C навесні відзначається 18 травня, а восени – 7 вересня, тобто тривалість вегетаційного періоду для теплолюбних культур складає 111 днів [4, 6].

За сукупністю показників агрокліматичних ресурсів у період активної вегетації сільськогосподарських культур (суми позитивних температур повітря, кількості опадів та гідротермічного коефіцієнта) територію Вінницької області поділено на два агрокліматичних райони (рис.1.1, табл. 1.1): помірного теплозабезпечення та достатнього зволоження й достатнього теплозабезпечення та достатнього зволоження.

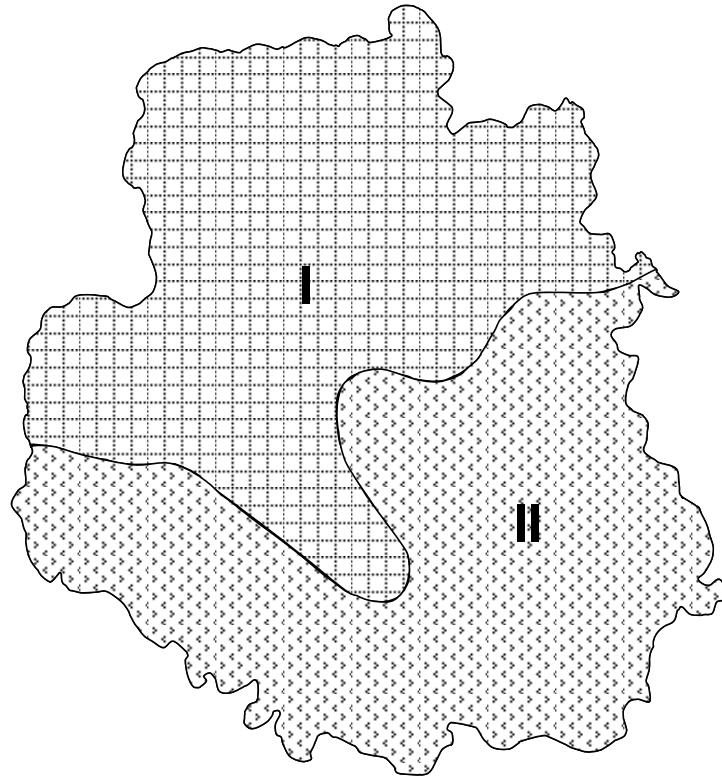


Рисунок 1.1 – Схема агрокліматичного районування території
Вінницької області

Таблиця 1.1 - Показники агрокліматичного районування області [4]

Агрокліматичний район	Показники агрокліматичних ресурсів за період активної вегетації сільськогосподарських культур		
	сума позитивних температур повітря вище 10 °С	кількість опадів, мм	гідротермічний коефіцієнт (ГТК)
I. Помірного теплозабезпечення, достатнього зволоження	2630 – 2780	430 – 480	1,3 – 1,5
II. Достатнього теплозабезпечення, достатнього зволоження	2780 – 2980	400 – 440	1,2 – 1,3

Тривалість беззаморозкового періоду в повітрі становить 173 дні. В південних районах Вінницької області останні весняні заморозки в повітрі в

середньому припадають на другу декаду квітня. У повітрі перші осінні заморозки бувають у середньому в першій декаді жовтня. Проте в окремі роки останні весняні заморозки в повітрі спостерігаються навіть у другій половині травня, а перші осінні - у вересні [4, 6].

2 БОТАНІЧНА ТА БІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КУЛЬТУРИ МІСКАНТУСУ

2.1 Міскантус як перспективна енергетична рослина в Україні

Одним з основних елементів біоенергетики є виробництво рослинної біомаси в якості біологічно відновлювального ресурсу. Європейськими та американськими дослідниками було вивчено велику кількість видів рослин для визначення потенційної можливості їх використання в якості енергетичних культур. Одними з найбільш поширених і перспективних культур для цілей біоекономіки є рослини роду *Miscanthus* родини Poaceae (Gramineae) - Злаки.

Міскантус є одною найперспективніших біоенергетичних культур у порівнянні з іншими видами багаторічних трав. Міскантус являє собою багаторічну кореневищну траву, яка походить з Азії. Батьківщиною міскантусу є простори Японії, Південних Курил, Маньчжурії, Кореї, Таїланду, східного узбережжя США.

На початку V ст. міскантус використовували лише в Китаї як протиерозійну культуру. В Європу він потрапив у XVI ст. Культивувався як декоративна рослина. У 1935 р. датський вчений А. Ольсен завіз у Європу з Японії зразки міскантусу, які було використано в 1983 р. в селекційній роботі на станції селекції рослин у Данії.

Через здатність давати великий приріст біомаси датський селекціонер Карл Фостер дав цій рослині назву *Miscanthus sinensis Giganteus*. У 1993 році ще один відомий датський селекціонер Лінде Лаурсен довів, що *Miscanthus sinensis Giganteus* є триплоїд (плоїдність - число наборів хромосом, що знаходяться в ядрі клітини), тому може розмножуватися генеративно, тобто у рослини стерильний пилок. Під впливом результатів подальших досліджень назву рослини було замінено на *Miscanthus Giganteus* [7].

З того часу проводяться інтенсивні дослідження цієї культури в Німеччині, Великій Британії, Італії, Франції, Іспанії, Польщі, Чехії та інших країнах Європи. Селекційні програми, що розробляються в різних країнах світу націлені як на створення нових так і вдосконалення існуючих форм міскантусу [8, 9].

З точки зору екології міскантус – це ідеальна рослин ще й тому, що належить до C_4 рослин, в яких у процесі фотосинтезу проходить повна утилізація вуглекислого газу, тобто при фотодиханні CO_2 не вивільняється назовні, а знову включається в процес. При спалюванню біомаси вона не створюватиме парникового ефекту, кількість CO_2 не перевищує кількості, раніше абсорбованої рослинами під час фотосинтезу (утворюється замкнений цикл).

Сьогодні міскантус розглядають як одну з найбільш перспективних культур для виробництва лігніно-целюлозної біомаси для використання як поновлюване джерело палива і виробництва композитних матеріалів (замінників дерева і пластмас) [10, 11]. Це пов'язано як з цінними хімічними властивостями його біомаси, так і з характерними для цієї рослини високими темпами зростання і колосальною біологічною продуктивністю, в тому числі - в умовах помірного клімату.

Міскантус містить велику кількість целюлози від 40 до 64-71% та відзначається великою витривалістю до механічних ушкоджень. З огляду на високий вміст целюлози і лігніну міскантус є також цінною сировиною для виробництва будівельних матеріалів, його використовують у целюлозно-паперовій промисловості та сільському господарстві [12].

Треба відзначити, що перша спроба оцінити хімічний склад листа і стебла *Miscanthus sinensis* була зроблена в 1983 р. українськими ученими, які вже розглядали міскантус як сировину для целюлозно-паперової промисловості [13]. Для отримання целюлози П.Г. Кроткевич з колегами використовували пагони чотирирічних рослин, наданих Київським ботанічним садом АН УРСР. Дослідники розділили *Miscanthus sinensis* на

морфологічні частини і, визначивши хімічний склад, виявили різницю у вмісті целюлози в стеблі та листі 40,82% і 33,24% відповідно. Автори виділили зразки целюлози з листа і стебла окремо і показали, що характеристики отриманих целюлоз відповідають вимогам для виробництва різних видів паперу.

Крім того, міскантус має позитивний енергетичний баланс і щодо гумусу, оскільки після чотирьох років вирощування він накопичує 15-20 т підземної біомаси, яка еквівалентна 7,2-9,2 т/га вуглецю. Тому культура не конкурує за землю з продовольчими культурами та може зростати на непродуктивних землях, іноді навіть з перспективою їх рекультивації. Тривалість використання плантації – близько 25 років, а комерційного вирощування – 20 років [14].

Дослідженнями [15] відзначається, що при вирощуванні культури протягом одного вегетаційного періоду відмічається зростання дихальної активності шару ґрунту 0-20 см на 15% у порівнянні з паром. Це свідчить про значне накопичення органічної речовини у ґрунті навіть під однорічною культурою міскантусу.

З погляду селекції найбільш важливі 3 види: *M. sacchariflorus* – міскантус цукроквітковий, *M. sinensis* – міскантус китайський та *M. giganteus* – міскантус гігантський або гігантеус. В Україні селекція міскантусу ведеться, перш за все, на збільшення приросту біомаси, поліпшення її мінерального складу, отримання життєздатного насіння та збереження його протягом тривалого часу. Провідними установами з селекції міскантусу в Україні є Інститут біоенергетичних культур та цукрових буряків НААН, Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НААН та ТОВ «АМАКО Україна». Хоча селекційна робота з міскантусом в Україні почалась значно пізніше, ніж в інших країнах-членах Міжнародного союзу з охорони нових сортів рослин – УПОВ (International Union for the Protection of New Varieties of Plants), кількість його сортів поданих на випробування за останні роки є більшою, ніж у будь-якій іншій країні-

учасниці УПОВ [8]. У результаті інтродукційної і селекційної роботи фахівців Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НААН було створено три сорти міскантусу – Снігопад (*M. Sacchariflorus*), Велетень (*M. Sinensis*) та Гулівер (*M. giganteus*) [9].

Також за останні роки Державною ветеринарною та фітосанітарною службою України занесено до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні та до Державного реєстру прав інтелектуальної власності на сорти рослин три нові вітчизняні сорти міскантусу гігантського – Універсальний, Поліський та Енергетичний, заявниками яких є Товариство з обмеженою відповідальністю «АМАКО Україна» [8].

2.2 Ботанічна та біологічна характеристика міскантусу

Міскантус (*Miscanthus*) або «слонова трава» належить до відділу покритонасінних (*Angiospermae*), класу однодольні (*Monocotyledoneae*), родини злакові (*Gramineae*), роду (*Anders*). Відомо, більш як 20 видів міскантусу, які поширені на теренах тропічної, субтропічної Азії, Африки, Австралії, а також у помірно теплих зонах Сходу Росії. Найбільш розповсюдженими них є 11 видів: *M. floridulus*, *M. intermedius*, *M. longiberbis*, *M. lutarioparius*, *M. oligostachyus*, *M. papiculatus*, *M. sacchariflorus*, *M. sinensis*, *M. tinctorius*, *M. transmorrisonensis*, *M. Giganteus* [8, 9].

Міскантус – багаторічна високостеблова прямостояча рослина, за літературними даними висота стебла становить від 2 до 3,5 м [16]. Генотипи тропічних і субтропічних видів в теплих і вологих кліматичних умовах досягають у висоту 5 м і більше. Стебло стійке до вилягання і може досягати в товщину до 2 см [17].

Рослина формує потужну кореневу систему, що проникає на глибину до 2,5 м і утворює довгі пагони з ростовими бруньками (ризомі). Підземні пагони швидко колонізують ґрунтовий простір, створюючи суцільну і рівну плантацію. Розмноження відбувається виключно вегетативним шляхом.

Верхні листки гладкі, забарвлення світло-зелене, стеблові листя - смарагдові з чітко вираженою по жилці білою смугою, в вузлах - яскраве антоціанове забарвлення. Краї листа зазубрені, форма кінчика - гостра, листова пластинка опушена [16].

Рослинам *M. Sacchariflorus* притаманний кореневищний тип кущіння. Кількість ризом у кущі становить від 18 до 37 шт., їх довжина – 10-15 см. *M. Sinensis* належить до рослин зі щільнокущовим типом кущіння. Окрема рослина може мати до 45 ризом, які сягають 5-8 см завдовжки. Таке унікальне активне коренеутворення дає змогу використовувати цю форму міскантусу для збереження висихаючих озер шляхом посадки рослин по берегах, а також для запобігання обвалам [9].

Рослини *M. giganteus* мають пухкокущовий тип кущіння. Однак селекціонери не виключають можливість появи форм рослин з кореневищним та щільнокущовим типом кущіння [9].

Стосовно продуктивності міскантусу у літературних джерелах є різні відомості. В умовах помірного клімату на третій рік вирощування продуктивність міскантусу становить від 10 до 30 т/га сухої маси, теплотворна здатність – від 14 до 17 мДж/кг [9]. Автори [18, 19] відзначають, що завдяки специфічній організації фотосинтетичної діяльності за шляхом C_4 міскантус характеризується високою ефективністю використання води та колосальною продуктивністю – урожайність сухої біомаси становить 40 т/га.

За даними [20] продуктивність культури становить 20-25 т/га сухої речовини, яку отримують вже на 2-3 рік. Після одноразової посадки культуру можна збирати щорічно протягом 15 і більше років [21].

Міскантус добре зростає та дає високі врожаї на будь-яких ґрунтах - від пісків до високоструктурних органічних ґрунтів. Також він є толерантним до кислотності ґрунтів, але оптимальним для нього є значення показника рН 5,5-7,5. Для вирощування підходять ґрунти середньої щільності з низьким рівнем ґрунтових вод [22, 23]. Міскантус чутливий до якості ґрунту, тому на

родючих ґрунтах урожай може доходити до 30 сух. т/га в рік, а на бідних – ледь досягати 10 сух. т/га/рік [24].

В процесі росту культура потребує невеликої кількості добрив (50-70 кг N /га в рік) завдяки своїй здатності ефективно використовувати поживні речовини [24]. Енергоплантації міскантусу перші 3–4 роки підживлюються з розрахунку 100–200 NPK по д. р. з переважанням азоту. В наступні роки норми внесення добрив зменшуються [16].

У перші два роки вирощування слабо конкурує з бур'янами. У наступні роки немає необхідності в боротьбі з ними, так як опале взимку листя утворює товстий шар мульчі [25]. Дослідження [26] показали, що в умовах недостатнього зволоження найменша продуктивність сирої та сухої маси міскантусу першого року життя відмічалась у рослин, де внесення гербіцидів не проводилося, а найбільша – з внесенням системних гербіцидів. Урожайність сирої маси у першому випадку (без гербіцидів) становила при засушливих умовах 2015 р. 1,3 т/га, а в другому - 3,35 та 5,01 т/га (відповідно при внесенні гербіцидів Магнум та Балерина).

Міскантус не росте при температурі нижче 6°C. Проте це порогове значення значно нижче, ніж, наприклад, для кукурудзи, а отже сезон зростання - більш тривалий [14]. В Європі міскантус починає зростати в квітні, коли температура ґрунту досягає 10-12°C, а закінчує під впливом заморозків в листопаді. Температура, необхідна для початку вегетації, коливається від +5 до +10° С в залежності від генотипу [22].

Небезпеку становлять заморозки в період пізньої весни, в результаті яких гинуть пагони і скорочується загальний період росту культури [22]. Найбільша пошкоджуваність рослин заморозками спостерігається в перший рік зимівлі після посадки. Від вимерзання можуть потерпати до 90% рослин. Малий сніговий покрив або його повна відсутність роблять рослини незахищеними в сильний мороз і сприяють вимерзанню. Мульчування посадок міскантусу соломкою зернових культур дозволяє підвищити рівень перезимівлі до 79-92% [14].

Весняні заморозки призводять лише до незначної втрати врожаю завдяки високій регенераційній здатності рослин. Надалі рослина адаптується і добре переносить зимівлю. В наслідок семирічного досвіду вирощування міскантусу, автори [14] зробили висновок, що, починаючи з другого року життя, проблем із зимівлею посівів не було. Міскантус – культура морозостійка. В умовах України рослини витримують температуру -20°C навіть без снігового покриву [27].

Колосальна біологічна продуктивність, в тому числі - в умовах помірного клімату - пов'язана з підвищеною холодостійкістю рослин і здатністю підтримувати в цих умовах високу інтенсивність фотосинтезу за рахунок термолабільності ключових ферментів фотосинтезу - Рубіско і піруватортофосфатдикінази. В цьому відношенні міскантус вигідно відрізняється від більшості інших C_4 -рослин, включаючи кукурудзу, - у них активність ферментів при зниженні температури падає. Підвищена холодостійкість міскантусу робить його перспективним кандидатом для інтродукції в континентальні райони [18]. Важливо підкреслити, що плантації міскантусу істотно перевершують по ефективності накопичення біомаси найкращі ліси помірної зони Євразії [14].

Для нормального росту та розвитку культури необхідно близько 700 мм опадів на рік [14], а за даними [13] вид Міскантус гігантський може споживати до 900 мм/рік. Такі підвищені вимоги до забезпеченості вологою, незважаючи на незначне поглинання води для продукування 1 кг сухої речовини (близько 250 л), обумовлені великим обсягом біомаси, що отримують з одиниці площі ґрунту [14].

Таким чином, аналіз літератури свідчить про те, що багаторічні види родини *Miscanthus* належать до найперспективніших енергетичних рослин у світі. Будучи рослинами з C_4 -схемою фотосинтезу, вони ефективно використовують сонячну енергію, є посухо-, холодо-, морозо-, зимостійкими та стійкими до затоплення.

3 БАЗОВА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР А. М. ПОЛЬОВОГО

Однією з основних умов високої культури землеробства є найбільш повне використання кліматичних ресурсів. У цьому аспекті вивчення кліматичної забезпеченості формування урожаю сільськогосподарських культур має важливе наукове і практичне значення. При врахуванні впливу клімату на ефективність сільськогосподарського виробництва головним є визначення агрокліматичних ресурсів території, реалізоване шляхом їх агрокліматичного районування.

Базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур заснована на концепції максимальної продуктивності рослин Х.Г. Тоомінга [28, 29], результатах моделювання формування урожаю рослин А.М. Польового [30, 31]. Базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів стосовно зернових злакових, на основі якої виконувались наші розрахунки, має блокову структуру і містить шість блоків (рис. 3.1):

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

Розглянемо більш докладно ці блоки.

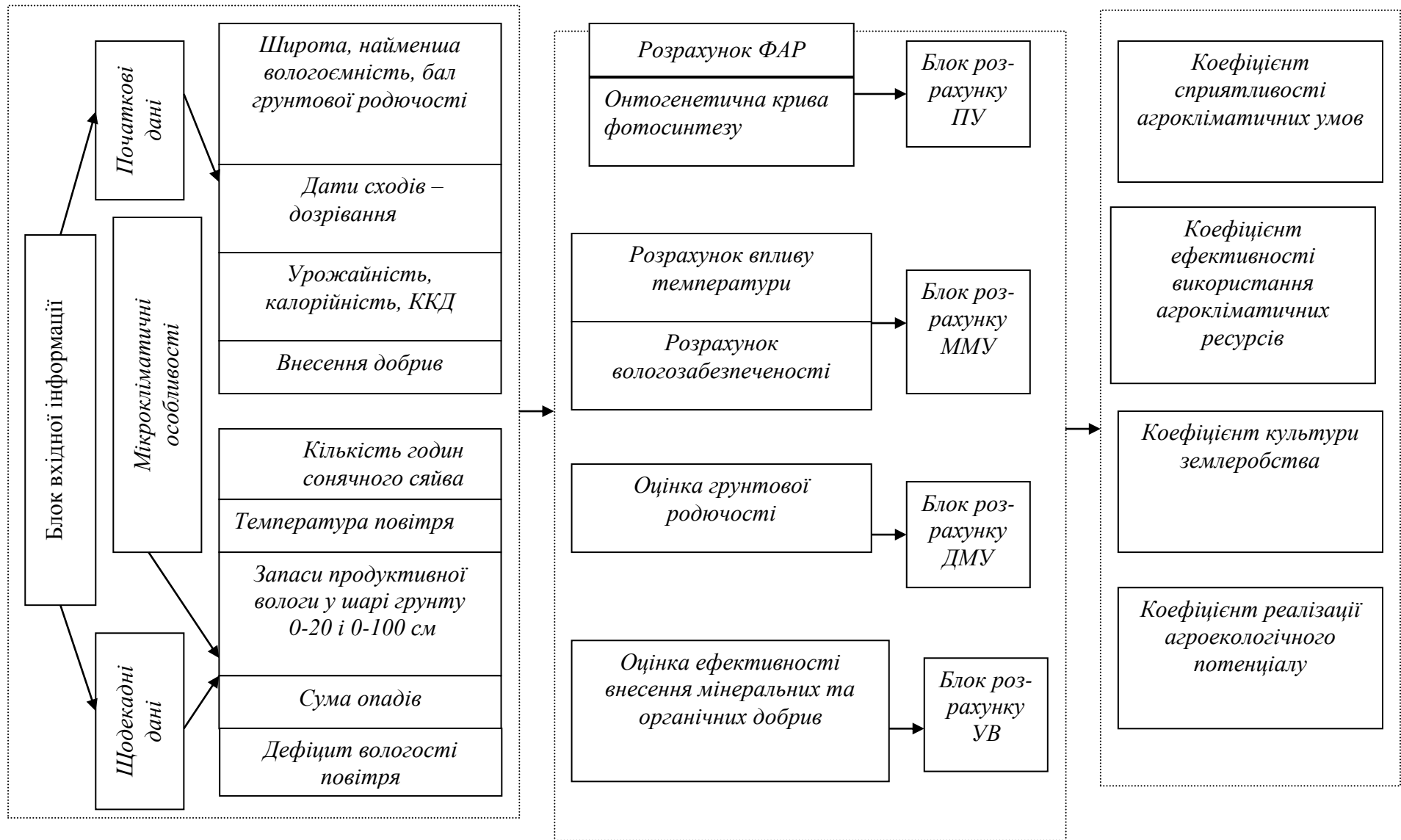


Рисунок 3.1 - Блок-схема агрокліматичної моделі формування урожаю сільськогосподарських культур [30]

3.1 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.

3.2 Блок показників сонячної радіації і волого-температурного режиму

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

$$Q_o^j = 12,66 \cdot (SS^j)^{1,31} + 315 \cdot (A^j + B^j)^{2,1}, \quad (3.1)$$

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:

$$E_o^j = 0,65 \cdot DWW^j \cdot dv^j \cdot 0,75, \quad (3.2)$$

де DWW – середній за декаду дефіцит насичення повітря;
 dv – кількість днів у розрахунковій декаді.

Сумарне випаровування визначається за формулою С.І. Харченко

$$E^j = \frac{2W^j + O_s^j}{1 + \frac{2W_{HB}}{\beta E_o^j}}, \quad (3.3)$$

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

$$F_{it}^j = W^j + O_s^j - E^j - W_{HB}, \quad (3.4)$$

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

Для розрахунку запасів продуктивної вологи на схилі використовується рівняння водного балансу

$$W^{j+1} = W^j + O_s^j - E^j - F_{it}^j. \quad (3.5)$$

3.3 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

$$\alpha_{\Phi}^j = \exp \left[-a_{\Phi} \left(\frac{TS_2 - \Sigma t_1}{10} \right)^2 \right], \quad (3.6)$$

де величина α_{Φ} знаходиться за виразом

$$\alpha_{\Phi} = \frac{-100 \cdot \ln \alpha_{\Phi}^o}{(\Sigma t_1)^2}, \quad (3.7)$$

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, °С;

TS_2 – сума ефективних температур, °С.

Функція впливу температури повітря на продукційний процес рослин визначається як

$$\psi_{\Phi} = \begin{cases} 13,7 \cdot \sin(0,077 \cdot x_1^j) & \text{при } (T^j - T_{\Phi}) < T_{opt1}^j, \\ 1 & \text{при } T_{opt1} \leq (T^j - T_{\Phi}) \leq T_{opt2}^j, \\ 1,13 \cdot \cos(1,570 \cdot x_2^j) & \text{при } (T^j - T_{\Phi}) > T_{opt2}^j, \end{cases} \quad (3.8)$$

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

T – середньодекадна температура повітря, °С;

T_{ϕ} – середньодекадна температура повітря, при якій починається фотосинтез, °С;

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

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

У рівнянні (3.8) проміжні величини знаходяться за формулами

$$\begin{aligned} x_1^j &= (T_s^j - T_{\phi}) / (T_{opt1}^j - T_{\phi}), \\ x_2^j &= (T_s^j - T_{opt2}^j) / (T_{max}^j - T_{opt2}^j), \end{aligned} \quad (3.10)$$

де T_{max} – середньодекадна температура повітря, при якій припиняється фотосинтез, °С;

T_s – температура повітря на горизонтальній поверхні, °С.

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

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

$$\gamma_{\phi} = \begin{cases} -1,163 \cdot (x_3^j)^2 + 2,187 \cdot x_3^j & \text{при } W^j < W_{opt1}^j, \\ 1 & \text{при } W_{opt1}^j \leq W^j \leq W_{opt2}^j, \\ -0,654 + 3,824 \cdot x_4^j - 2,633 \cdot (x_4^j)^2 + 0,467 \cdot (x_4^j)^3, & \\ \text{при } W^j > W_{opt2}^j, \end{cases} \quad (3.11)$$

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

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

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

$$x_3^j = W^j / W_{opt1}^j, \quad (3.12)$$

$$x_4^j = W^j / W_{opt2}^j. \quad (3.13)$$

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:

$$FW = \left(\gamma_{\Phi}^j \cdot \frac{E^j}{E_0^j} \right)^{0,5}, \quad (3.14)$$

де FW – відносна вологозабезпеченість посівів, відн. од.

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

$$FTW_1 = (\psi_{\Phi} FW)^{0,5}. \quad (3.15)$$

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

$$FTW_2 = \begin{cases} FTW_1 [1 + (1 - \Psi_{\Phi})(1 - FW)] & \text{при } t_n < t_{opt1} \\ FTW_1 & \text{при } t_{opt1} \leq t_n \leq t_{opt2} \\ FTW_1 [1 - (1 - \Psi_{\Phi})(1 - FW)] & \text{при } t_n > t_{opt2} \end{cases}. \quad (3.16)$$

3.4 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

$$FW_{Gum} = (F_{Gum})^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_{Gum})], \quad (3.17)$$

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

$$F_N = \frac{N_m}{N_{opt}}, \quad (3.18)$$

$$FW_N^j = \left\{ (F_N)^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_N)] \right\} \cdot k_{ef}^j, \quad (3.19)$$

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:

$$k_{ef}^j = \begin{cases} 1 & \text{при } \frac{W^j}{W_{opt1}^j} \geq 0,85, \\ 0,8 & \text{при } 0,70 < \frac{W^j}{W_{opt1}^j} < 0,85, \\ 0,6 & \text{при } \frac{W^j}{W_{opt1}^j} \leq 0,70, \end{cases} \quad (3.20)$$

Аналогічно визначається співвідношення дози органічних добрив до їх оптимальної величини і розрачується функція впливу внесення органічних добрив з врахуванням року внесення добрив

$$F_{Org} = \frac{O_{rg}}{O_{rg\ opt}}, \quad (3.21)$$

$$FW_{Org}^j = \left\{ (F_{Org})^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_{Org})] \right\} \cdot k_{Org}^g \cdot k_{ef}^j, \quad (3.22)$$

де FW_{Org} – 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_{Org}^g – коефіцієнт впливу року внесення органічних добрив, відн. од.

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

$$FWM_{ef}^j = \min \left\{ FW_{Org}^j, FW_N^j, FW_P^j, FW_K^j \right\}, \quad (3.23)$$

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

3.5 Блок агроекологічних категорій урожайності

Визначення величини різних агроекологічних категорій урожайності здійснюється з врахуванням внесених модифікацій, із залученням більш повної інформації і наповненням цих категорій новим змістом.

Збільшення потенційної урожайності загальної біомаси за декаду визначається в залежності від інтенсивності фотосинтетично активної

радіації (ФАР) і біологічних особливостей культури з врахуванням зміни здатності рослин до фотосинтезу протягом вегетації

$$\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} = \alpha_\phi^j \frac{\eta \cdot Q_{\phi ap}^j \cdot d\nu^j}{q}, \quad (3.24)$$

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.

Приріст метеорологічно-можливої урожайності загальної біомаси являє собою приріст потенційної урожайності, який буде обмежений впливом волого-температурного режиму:

$$\frac{\Delta ММУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} \cdot FTW_2, \quad (3.25)$$

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

FTW_2 – узагальнена функція впливу волого-температурного режиму з корекцією на сполучення різних екстремальних умов, відн. од.

Формування дійсно можливої урожайності загальної біомаси обмежується рівнем природної родючості ґрунту:

$$\frac{\Delta ДМУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ММУ^j}{\Delta t} B_{nl} F_{Gum}, \quad (3.26)$$

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

$B_{пл}$ – бал ґрунтового бонітету, відн. од.

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

$$\frac{\Delta UB^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ДМУ^j}{\Delta t} k_{земл} FWM_{ef}^j, \quad (3.27)$$

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.

Різні агроекологічні категорії врожаю біомаси міскантусу при його стандартній 20 %-ій вологості визначаються за виразом

$$ПУ = ПУ \cdot K_{зосн.}^{ПУ} 1,20 \cdot 0,1 \quad (3.28)$$

де $ПУ$ – потенційний урожай біомаси, ц/га;

$K_{зосн.}^{ПУ}$ – частка зерна в загальній масі потенційного врожаю, відн. од., яка визначається в залежності від розмірів врожаю загальної біомаси.

Аналогічно визначаються відповідно метеорологічно-можливий $ММУ$, дійсно можливий $ДМУ$ і урожай у виробництві $УВ$.

3.6 Блок узагальнених оціночних характеристик

Аналіз різноманітних агроекологічних категорій врожайності ($ПУ$, $ММУ$, $ДМУ$, $УВ$), а також їхніх співвідношень і відмінностей дозволяє судити про природні й антропогенні ресурси сільського господарства, а також про ефективність господарського використання цих ресурсів стосовно

вирощування сільськогосподарських культур.

Розглянемо п'ять узагальнених характеристик:

1. Ступінь сприятливості метеорологічних умов вирощування культури міскантусу характеризує співвідношення метеорологічно-можливої урожайності і потенційної урожайності його загальної надземної маси (стебел та листя)

$$K_m = MMU/ПУ, \quad (3.29)$$

де K_m – коефіцієнт сприятливості метеорологічних умов, відн. од.

2. Сприятливість ґрунтових умов показує відношення дійсно можливої урожайності до метеорологічно-можливої урожайності

$$K_2 = ДМУ/ММУ, \quad (3.30)$$

де K_2 – коефіцієнт сприятливості ґрунтових умов, відн. од.

3. Співвідношення урожайності у виробництві і метеорологічно можливої урожайності встановлює ефективність використання агрокліматичних ресурсів. Якщо це співвідношення розраховується за середніми багаторічними даними, то воно відображає ефективність використання агрокліматичних ресурсів

$$K_{акл} = УВ/ММУ, \quad (3.31)$$

де $K_{акл}$ – коефіцієнт ефективності використання агрокліматичних ресурсів, відн. од.

4. При реальних ґрунтових умовах співвідношення урожайності у виробництві і дійсно можливої урожайності можна розглядати як показник досконалої агротехнології

$$K_{земл} = UB/ДМУ, \quad (3.32)$$

де $K_{земл}$ – коефіцієнт ефективності використання існуючих агрометеорологічних і ґрунтових умов (характеризує рівень культури землеробства з погляду ефективності господарського використання існуючого комплексу агрометеорологічних і ґрунтових умов), відн. од.

5. Величина відношення урожайності у виробництві до потенційної урожайності характеризує рівень реалізації агроекологічного потенціалу

$$K_{аек.пот} = UB/ПУ, \quad (3.33)$$

де $K_{аек.пот}$ – коефіцієнт реалізації агроекологічного потенціалу, відн. од.

Підвищення рівня UB і доведення його до $ДМУ$ вимагає ретельного дотримання всіх засобів агротехніки, виконання їх у повній відповідності з агрометеорологічними умовами на конкретному полі. Це є першочерговою задачею програмування урожаїв, спрямованого на усунення дії різноманітних господарських факторів, які знаходяться у мінімумі.

Наближення $ДМУ$ до $ММУ$ вимагає виконання різноманітних заходів для підвищення родючості ґрунту. Різниця між $ММУ$ і $ПУ$ компенсується за рахунок меліоративних заходів, а також внаслідок правильного підбору сортів і культур, що краще пристосовані до особливостей конкретного клімату. Підвищення рівня $ПУ$ забезпечується головним чином шляхом селекції нових сортів, які будуть мати більш високий рівень урожайності за рахунок ефективного використання сонячної радіації.

Формули (3.1)–(3.33) дозволяють визначити основні агроекологічні категорії урожайності сільськогосподарських культур, що формуються під впливом ґрунтово-кліматичних умов та виконати для цих територій оцінку агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур.

4 ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ ТА ФОРМУВАННЯ ЙОГО ВРОЖАЙНОСТІ

4.1 Сучасний стан досліджень впливу зміни клімату на сільськогосподарське виробництво

Сучасний розвиток аграрного сектора економіки базується на концепції сталого розвитку, яка охоплює економічні, екологічні та соціальні виклики, що наразі постають перед суспільством, змінюючи традиційні погляди на сільське господарство. В умовах зростання кількості світового населення сільське господарство посилює свої позиції як основний постачальник ресурсів для забезпечення людства продовольством та доходами з метою покращення їх життєвого рівня. Разом із тим сільське господарство є значним джерелом викидів в атмосферу парникових газів – основного чинника глобальних кліматичних змін. Таким чином, із подальшим нарощуванням обсягів аграрного виробництва загострюється проблема посилення його негативного впливу на навколишнє середовище.

З іншого боку, кліматичні зміни збільшують ризики сільськогосподарського виробництва. Отже, перед суспільством постає необхідність модернізації традиційної моделі аграрного виробництва з урахуванням глобальних кліматичних змін. Зміна клімату – найважливіше питання, пов'язане із глобальною продовольчою безпекою, ефективно забезпечення якої можливе за умови удосконалення способів управління сільськогосподарськими системами і наявними природними ресурсами. Майбутнє продовольчої безпеки напряму залежить від природних ресурсів, стану навколишнього середовища та зміни клімату [32, 33].

Вирішення проблеми продовольчої безпеки можливе якщо сільськогосподарським виробникам буде створено відповідні умови для адаптації до сучасних змін. Трансформації в аграрному секторі повинні

відбуватися таким чином, щоб прогодувати зростаюче населення планети (за прогнозами Світового банку, до 2050 р. кількість населення збільшиться до дев'яти мільярдів, а виробництво продовольства в усьому світі – на 70–100%), сприяти скороченню його бідності, а також забезпечити економічне зростання, не завдаючи шкоди природно-ресурсному потенціалу.

Клімат у світі змінюється швидше, ніж свого часу прогнозували науковці. У кінці 2015 р. на 21-й Конференції сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату було прийнято Паризьку кліматичну угоду, яку від імені України підписали у квітні 2016 р. у Нью-Йорку [34]. Ця угода замінює Кіотський протокол до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату. Зібрання учасників саміту в Парижі мало на меті обґрунтування стратегії щодо стабілізації парникових газів у атмосфері на рівні, який дозволить запобігти небезпечному антропогенному втручанню в кліматичну систему.

Результати досліджень науковців свідчать, що зростання температури на Землі на 2°C порівняно з доіндустріальним періодом матиме небезпечний і непередбачуваний вплив на клімат (більш швидке танення льодовиків призведе до затоплення прибережних міст і дрібних островів, зникнення багатьох видів тварин та інших руйнівних кліматичних явищ). З 1850 р. середня температура повітря зросла на 1°C, при узгодженій безпечній межі для глобального потепління – 2°C. Також після промислової революції на 30% зріс рівень CO₂, з 1979 р. прискорилося танення льоду у Північному Льодовитому океані (4% за 10 років), на нове століття припадають дев'ять із десяти найспекотніших років [35].

Тому завданням Паризького саміту було виробити шляхи обмеження викидів парникових газів, водночас давши можливість країнам економічно розвиватися й надалі, забезпечувати підтримку найменш розвинених територій, а також тих, які найбільш потерпають від підвищення температури. У рамках Паризької угоди встановлено глобальну ціль щодо недопущення підвищення температури понад 2°C від доіндустріального рівня, а також означено прагнення знизити таку температуру до 1,5°C [35].

Головним аргументом для ратифікації такої Угоди в нашій державі став той факт, що питання скорочення викидів парникових газів для України перебуває в одній площині зі зменшення частки використання викопного палива, забезпеченням енергонезалежності країни, диференціації постачання енергоресурсів та сталого розвитку країни в цілому [35].

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 [36]. Згідно з проведеними дослідженнями, до кінця 21 століття очікується статистично

значуще збільшення температури повітря і осадків на території Європи, і в тому числі України.

У даному дипломному проекті для кліматичних розрахунків використовується один з набору 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 [37].

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) [37, 38].

4.2 Агрокліматичні умови вирощування міскантусу при реалізації сценарію RCP4.5

Як теоретична основа для дослідження впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування та урожайність міскантусу була використана розроблена А.М. Польовим модель оцінки агрокліматичних ресурсів, яка передбачає розрахунки агроекологічних категорій врожаїв сільськогосподарських культур [30].

Треба відзначити, що міскантус є новою культурою для України, тому на сьогоднішній день у агрометеорологів немає багаторічних матеріалів спостережень за міскантусом. Крім того, літературні відомості щодо фаз розвитку культури, є досить суперечливими. Так, автори [26] вважають, що в умовах Центральної Європи міскантус цвіте, однак схожого насіння не утворюється. В умовах Середнього Поволжя культура не дає генеративних

органів, тому виділити фази розвитку неможливо. Закінчення вегетаційного періоду відзначається з настанням постійних заморозків, тому всі спостереження автори пропонують проводити по календарним строкам (на кінець місяця).

Дослідники Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка та Сибірського науково-дослідного інституту рослинництва та селекції відмічають настання у рослин міскантусу тих фаз розвитку, що зазвичай спостерігаються у будь-якої злакової культури, а саме: сходи (відростання у рослин другого та подальших років життя), кушіння, вихід у трубку, поява волоті, цвітіння та плодоношення. Однак настання фази поява волоті у рослин *M. giganteus* залежить від року життя рослин та умов вегетації. Вона може настати на 3-4 рік життя, але не у віх рослин [9, 15].

Дослідженнями особливостей росту і розвитку рослин різних видів, форм та сортозразків встановлено, що залежно від видових особливостей та року життя рослини завершують вегетацію у фазу виходу в трубку (*M. giganteus*), у фазу поява волоті (*M. Sinensis*) або у фазі цвітіння-плодоношення (*M. Sacchariflorus*) [9].

Тому для ідентифікації параметрів моделі були використані дані літературних джерел [9, 26, 39]. Також слід відзначити, що посіви міскантусу першого року вирощування накопичують досить невелику біомасу, тому зазвичай його не скошують. Як правило посіви починають експлуатувати з другого-третього року життя і вони щорічно протягом 15-20 років забезпечують врожай сухої біомаси 10–14 т/га, що еквівалентно 8–11 тонам кам'яного вугілля [16]. Тому у якості об'єкту дослідження було обрано посіви міскантусу другого року життя.

У таблиці 4.1 представлені основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду міскантусу для Лісостепу України (на прикладі Вінницької області). Дослідження впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування та урожайність міскантусу проводилися шляхом порівняння показників за базових умов (період 1981-2010 рр.) та сценарних

варіантів. Розглядався сценарій зміни клімату RCP4.5 і три сценарних періоди:

- 2021-2030 рр. (перший сценарний період);
- 2031-2040 рр. (другий сценарний період);
- 2041-2050 рр. (третій сценарний період).

У якості основних агрокліматичних характеристик температурного режиму та умов зволоження вегетаційного періоду міскантусу були розглянуті:

- суми активних температур повітря за період вегетації.
- суми опадів за вегетаційний період в абсолютних та відносних величинах;
- сумарне випаровування та випаровуваність за вегетаційний період;
- вологозабезпеченість за період вегетації.

Таблиця 4.1- Агрокліматичні умови вирощування міскантусу за базовими даними (1981-2010 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5

Період	Сума активних температур, °С	Сума опадів		Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Вологозабезпеченість, %
		мм	% від клім. норми			
Базові дані						
1981-2010	2812	391	100	543	666	81
Сценарій RCP4.5						
2021-2030	2433	280	72	393	619	63
Різниця	-379	-111	-28	-150	-47	-18
2031-2040	2421	302	77	423	619	68
Різниця	-391	-89	-23	-120	-47	-13
2041-2050	2605	288	74	409	656	62
Різниця	-207	-103	-26	-134	-10	-19

Аналіз даних таблиці 4.1 дозволяє зробити висновок, що на території Вінницької області сценарні суми температур за вегетаційний період міскантусу будуть дещо меншими, ніж базові. Так, сума температур за

базових умов становить 2812°C . За умов реалізації сценарію RCP4.5 протягом двох сценарних періодів (першого та другого) очікується її значення майже на 400°C менше: 2433°C протягом 2021-2030рр. і 2421°C протягом 2031-2040 рр. В третій сценарний період різниця між базовою та сценарною сумою температур буде дещо менше - 207°C , а сума температур за вегетацію міскантусу становитиме 2605°C .

У цілому можна сказати, що умови теплозабезпеченості вегетаційного періоду міскантусу у період 2021-2050 рр. на території Вінницької області зміняться несуттєво і посіви цієї нової енергетичної культури будуть забезпечені теплом повністю.

Значних змін за умов реалізації сценарію RCP4.5 зазнають умови вологозабезпечення посівів. З таблиці 4.1 видно, що кількість опадів за вегетаційний період на території дослідження суттєво зменшиться.

На території Вінницької області базова сума опадів за вегетаційний період становить 391 мм. За умов реалізації сценарію RCP4.5 сценарні суми опадів зміняться більш суттєво. Так, кількість опадів за перший сценарний період (280 мм) буде меншою від базової на 111 мм або на 28 %. Сума опадів за другий сценарний період становитиме 302 мм, що на 89 мм або на 23% менше за базову. Сума опадів за третій сценарний період становитиме 288 мм, що на 103 мм або на 26% менше за базову.

Зменшення сценарної кількості опадів за вегетаційний період призведе до зменшення сумарного випаровування в порівнянні з базовим по території дослідження.

У Вінницькій області базове значення становить 543 мм. Сумарне випаровування зменшиться за умов реалізації сценарію RCP4.5 до 393, 423 та 409 мм (у відповідності з сценарними періодами). Різниця з базовими умовами становить відповідно 150, 120 та 134 мм.

Також за умов реалізації сценарію RCP4.5 дещо зміниться і величина випаровуваності. Для Вінницької області базове значення становить 666 мм. Випаровуваність за першим сценарієм зменшиться

до 619 мм (2021-2030 рр. та 2031-2040 рр.) і до 656 мм (2041-2050 рр.). Різниця у цьому випадку становить 47 мм та 10 мм. Таким чином, випаровуваність за першим сценарієм зменшиться не дуже суттєво.

Основним показником, що характеризує умови зволоження вегетаційного періоду будь-якої сільськогосподарської культури, є вологозабезпеченість, тобто відношення величини сумарного випаровування до величини випаровуваності.

Умови зволоження вегетаційного періоду міскантусу в Вінницькій області за умов реалізації сценарію RCP4.5 протягом 2021-2050 рр. суттєво погіршаться. Про це свідчать значення вологозабезпеченості в межах 62-76 %, тоді як базове значення вологозабезпеченості складає 81 %.

Вологозабезпеченість за сценарієм зменшиться до 63 % (2021-2030 рр.), до 68% (2031-2040 рр.) і до 62% (2041-2050 рр.). Різниця у цьому випадку становить 18, 13 та 19 % відповідно. Таким чином, вологозабезпеченість за першим сценарієм зменшиться дуже суттєво.

Таким чином, можна зробити висновок, що за сценарієм RCP4.5 у період 2021-2050 рр. на досліджуваній території не очікується значних змін температури повітря, то ж і теплозабезпечення вегетаційного періоду міскантусу найімовірніше суттєво не зміниться.

Але у зв'язку із суттєвим зменшенням кількості опадів вегетаційного періоду, яке прогнозується за сценаріями, ймовірне значне погіршення вологозабезпечення посівів міскантусу по всій території України.

4. 3 Вплив змін агрокліматичних умов на динаміку приростів урожайності міскантусу за умов реалізації сценарію RCP4.5

При оптимальній забезпеченості рослин вологою, теплотою і мінеральним ґрунтовим живленням максимальний урожай фітомаси посівів міскантусу визначається приходом протягом вегетації ФАР і коефіцієнтом її використання.

Хід декадних сум ФАР у посівах міскантусу протягом вегетаційного періоду за умов реалізації сценарію RCP4.5 у порівнянні з базовими умовами представлений на рис 4.1.

Описуючи загальний хід сум ФАР можна відмітити наступне: величини ФАР протягом базового періоду набагато більше, ніж за умов сценарних періодів. Так, у початковий період вегетаційного циклу, який за даними [6], як правило починається у рослин другого року життя наприкінці квітня з відростання, рівень ФАР за базовими умовами складає $192 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{дек})$, а за умов всіх трьох сценарних періодів ця величина не перевищує $160 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{дек})$.

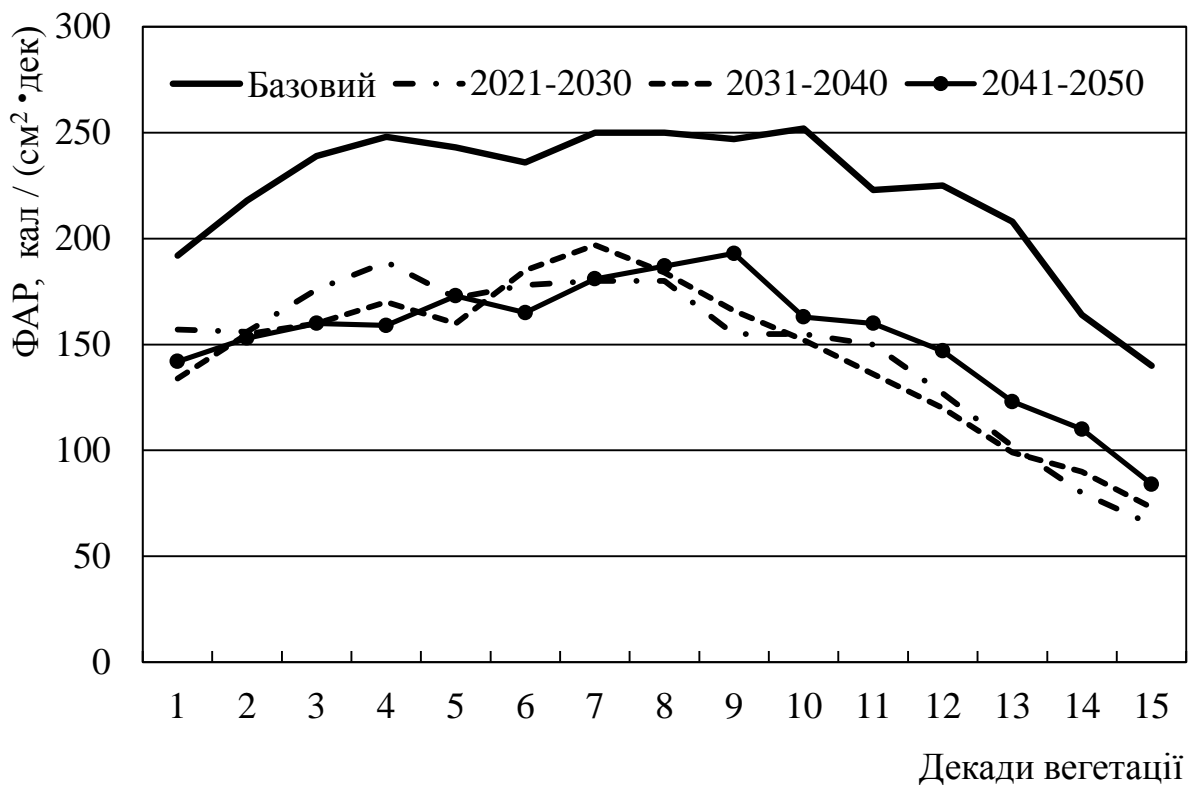


Рисунок 4.1 - Хід сум ФАР середніх за декаду за вегетаційний період міскантусу за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовими умовами

Кущіння, як правило, відбувається у II-III декадах червня й характеризується зростанням кривої до $250 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{дек})$ у базовий період та до $180\text{-}200 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{дек})$ протягом сценарних періодів. Вихід у трубку у

рослин міскантусу спостерігається, згідно з дослідженнями [9], у II-III декадах серпня. У цей період величина ФАР за базових умов зменшується до $225 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{дек})$, а за сценарних – до $120\text{-}150 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{дек})$.

Такий хід ФАР обумовив декадні прирости потенційної урожайності (ПУ) міскантусу, які представлені на рис. 4.2. В першій декаді вегетації $\Delta\text{ПУ}$ за всіх періодів становить $200\text{-}240 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$. У міжфазний період кушіння – вихід у трубку криві зростають до максимальних значень. За базових умов максимальний приріст ПУ відзначається у десятю декаду вегетації і становить $529 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$. У перший та другий сценарні періоди максимальний приріст ПУ спостерігається у дев'яту декаду вегетації і становить відповідно 508 та $561 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$. У третій сценарний період максимальний приріст ПУ відзначається також у десятю декаду вегетації і становить $563 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$. З цього моменту та до кінця вегетації $\Delta\text{ПУ}$ зменшується до $84 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$ за базових умов і до $150\text{-}170 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$ за сценарних.

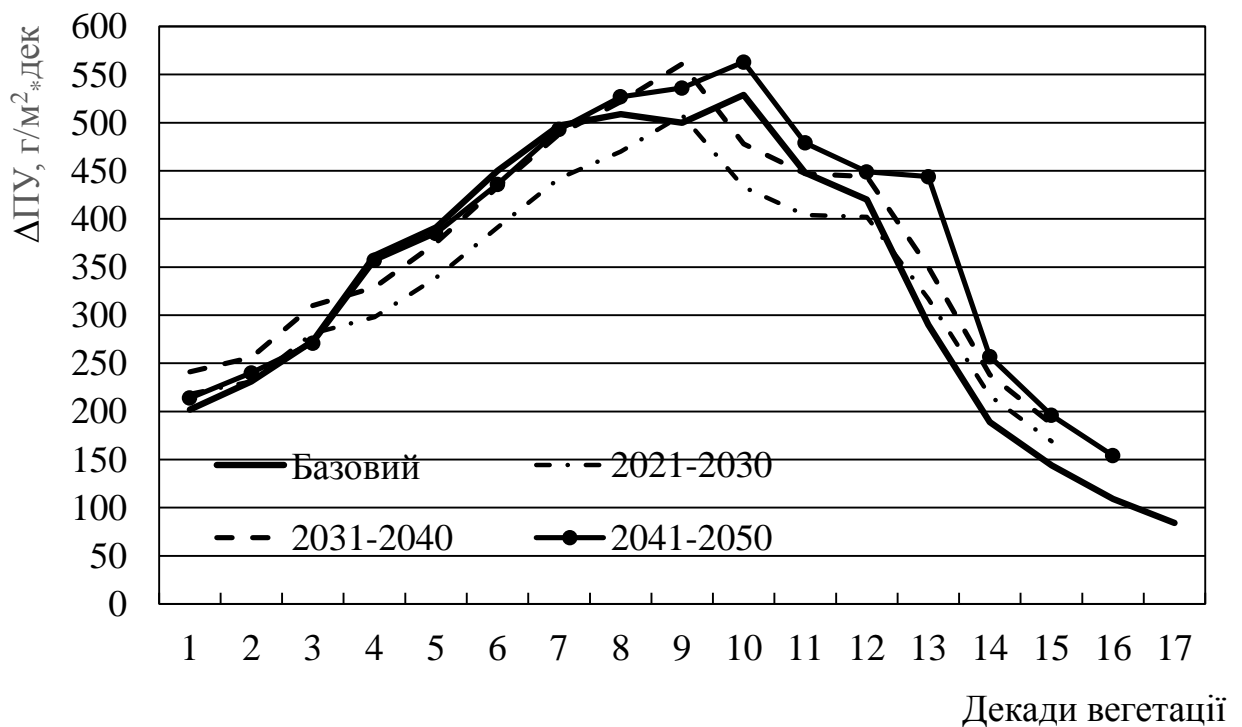


Рисунок 4.2 - Динаміка декадних приростів потенційної урожайності ($\Delta\text{ПУ}$) міскантусу за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовими умовами

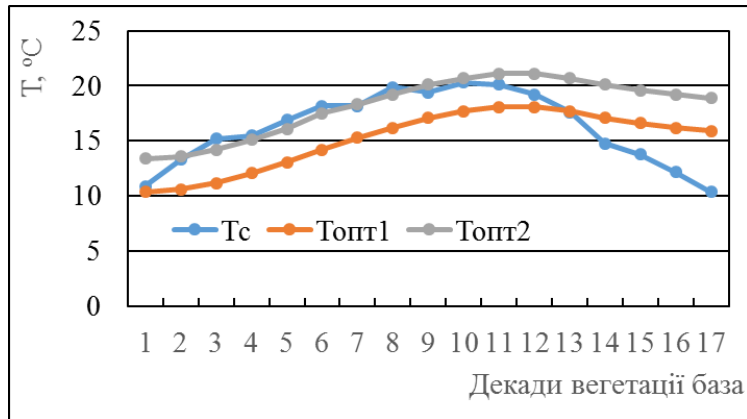
Другою характеристикою екологічних врожаїв є метеорологічно можливий урожай (ММУ). Визначають величини приростів ММУ температурний режим та режим зволоження території. Метеорологічно-можлива урожайність відображає комплексний вплив основних метеорологічних чинників і є інтегральною характеристикою агрометеорологічних ресурсів [30, 31]. На рисунку 4.3 представлено динаміку середньодобових температур за вегетаційний період міскантусу за базових та сценарних умов.

Як видно з рис. 4.3а, в базових умовах на дату відростання середньодекадна температура повітря співпадає з нижньою межею температурного оптимуму T_{opt1} і становить $10,9^{\circ}\text{C}$. Плавню піднімаючись, вона досягає максимуму $20,3^{\circ}\text{C}$ протягом періоду виходу у трубку (у десятю декаду вегетації). Весь цей час фактична середньодекадна температура перебуває в границях верхньої межі оптимальних температур T_{opt2} , яка, у свою чергу, починається з позначки $13,4^{\circ}\text{C}$, досягає максимуму $21,1^{\circ}\text{C}$ практично в той же період, що й T_{opt1} – в 11-12 декади. До 13 декади вегетації крива середньодекадної температури повітря входить в інтервал температурного оптимуму, але починаючи з чотирнадцятої декади, її значення поступово знижуються і вегетаційний період закінчується при температурі $10,4^{\circ}\text{C}$, тоді як оптимальні температури знаходяться у інтервалі $16-19^{\circ}\text{C}$.

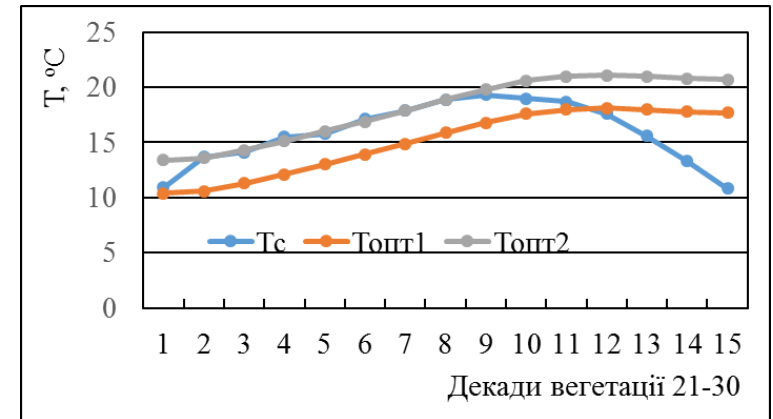
На рис. 4.3 також представлена динаміка середньодекадних температур повітря та їх оптимальні границі для трьох сценарних періодів. Можна бачити, що перші п'ять декад вегетації, коли проходить активне відростання надземної частини рослин, за умов змін клімату для всіх сценарних періодів проходить при температурах, що входять у межі температурного оптимуму.

Протягом першого (2021-2030 рр., рис. 4.3б) та третього (2041-1050рр., рис. 4.3г) сценарних періодів, до 9-10 декад вегетації сценарні значення

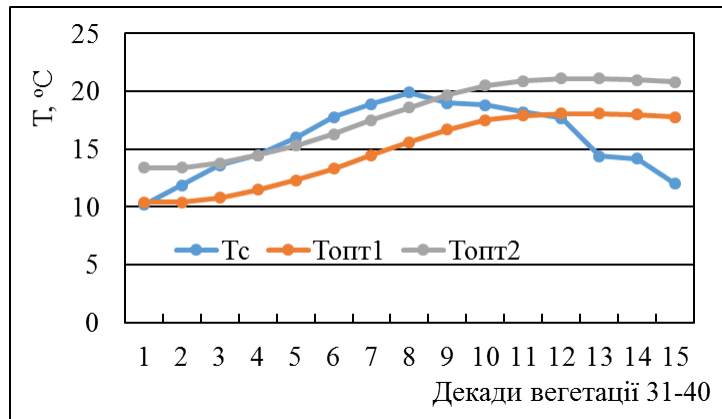
температур співпадають з верхнім температурним оптимумом. Температури дев'ятої-тринадцятої декад вегетації входять до інтервалу оптимальних



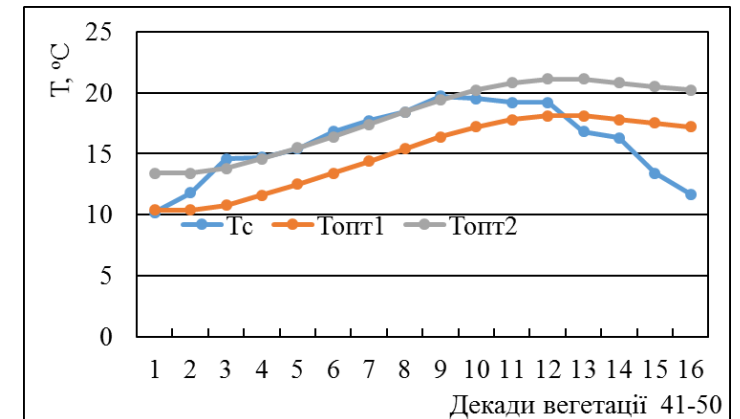
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.3 - Динаміка середньодеканої температури повітря за період вегетації міскантусу за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовим

температур, а заключна частина вегетаційного періоду міскантусу, як і за базових умов, проходить за умов, коли сценарні температури є меншими за оптимальні на 3-10°C .

Протягом другого сценарного періоду (2031-2040 рр., рис. 4.3в) ситуація дещо інша. Якщо початок вегетації (відростання) починається з температури, що дорівнює нижньому температурному оптимуму (10°C), то період кушіння

у цьому випадку проходить при температурах, які є дещо вищими навіть за верхню межу температурного оптимуму (на 1,5°C вище). Наприкінці вегетаційного періоду сценарні температури є також нижчими за оптимальні, як і в інших розглянутих випадках.

Як вже відзначалось [14], міскантус є такою культурою, що вимоглива до вологи, але здатна економно її витратити. Тому для визначення рівня ММВ були визначені показники зволоження вегетаційного періоду.

На рисунках 4.4-4.7 представлені у динаміці показники зволоження вегетаційного періоду міскантусу - добові величини випаровування (E, мм) та випаровуваності (E₀, мм) та добові значення вологозабезпеченості у вигляді співвідношення E/E₀, відн.од. за базовий та сценарні періоди.

За базових умов (рис. 4.4) сумарне випаровування в перші декади вегетації (період відростання) становить 14 мм за декаду, потім поступово зростає і у дев'яту декаду досягає максимального значення - 32 мм. Протягом наступних декад випаровування зменшується і на кінець вегетації його значення становить 13 мм. Динаміка випаровуваності посіву протягом вегетації свідчить про те, що її значення, тобто вологопотреба рослин, є набагато більшими, ніж значення випаровування, тобто фактичного вологоспоживання. Про це свідчить й хід значення вологозабезпеченості. На початку вегетації міскантусу крива відношення E/E₀ знаходиться на позначці 0,74 відн.од. Далі значення поступово зменшуються, досягаючи найнижчого 0,51 відн.од. в третю декаду вегетації, потім до восьмої декади значення

вологозабезпеченості поступово зростають, досягаючи свого максимуму – 0,87 відн.од.

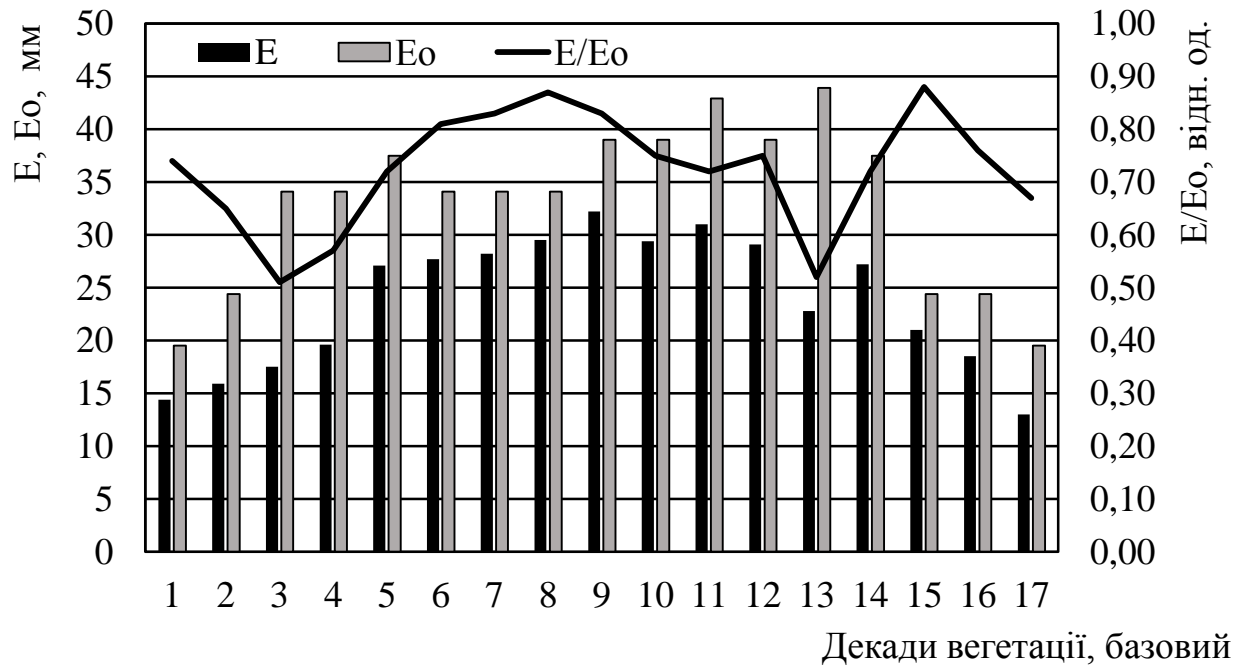


Рисунок 4.4 - Хід добових величин випаровування та випаровуваності протягом вегетації міскантусу, базовий період

Після восьмої декади вегетації значення E/E_o знову зменшуються і у середині серпня, коли у рослин відбувається вихід у трубку, спостерігається другий мінімум вологозабезпеченості, значення якої становить 0,52 відн.од. Наприкінці вегетації, завдяки зниженню добових температур та збільшенню кількості опадів у вересні, спостерігається збільшення вологозабезпеченості посівів до 0,88 відн.од. і в останню декаду вегетації вологозабезпеченість становить 0,67 відн.од.

За умов першого сценарного періоду (рис. 4.5) сумарне випаровування в першу декаду вегетації (початок відростання) є мінімальним і досягає всього 10 мм, але протягом наступних декад спостерігається поступове зростання його значень і у десятю декаду воно становить - 34 мм. Протягом наступних декад значення випаровування різко зменшується і на кінець вегетації не перевищують 20 мм.

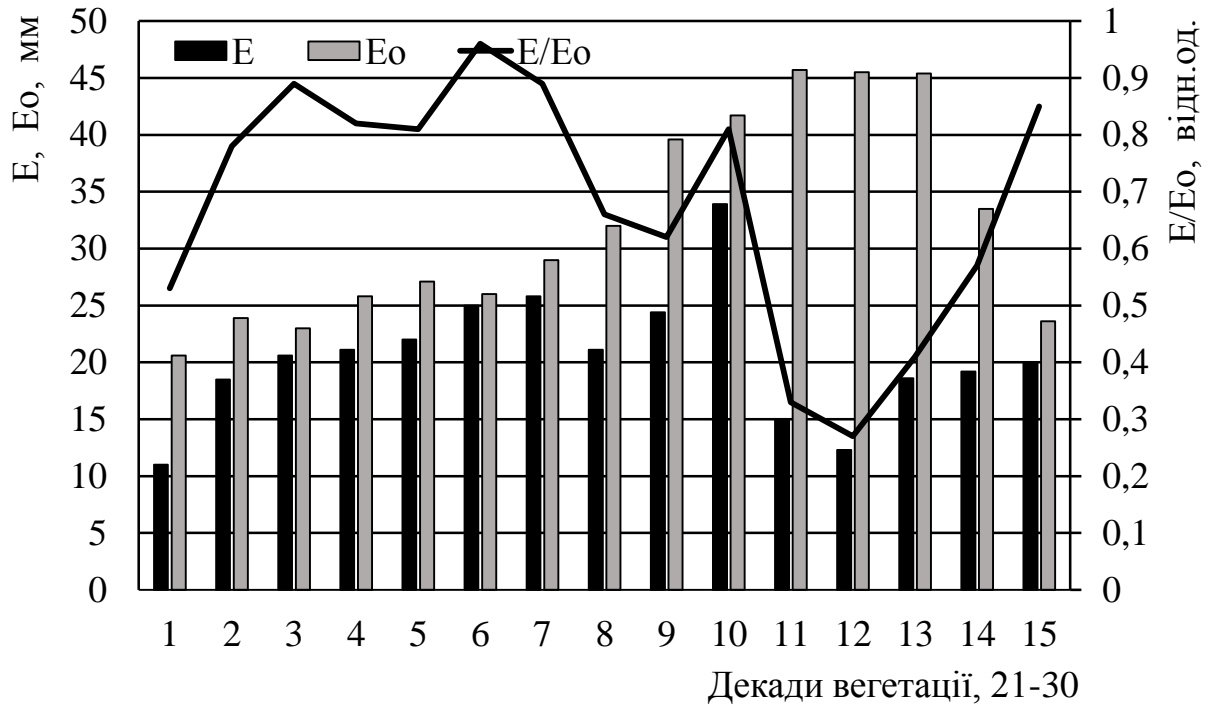


Рисунок 4.5 - Хід декадних величин випаровування та випаровуваності протягом вегетації міскантусу, 2021-2030 рр.

Динаміка випаровуваності посіву протягом вегетації, як і у базовий період, свідчить про те, що її значення, тобто вологопотреба рослин, є набагато більшими, ніж значення випаровування, тобто фактичного вологоспоживання. Особливо це можна бачити у другій половині вегетації, коли протягом 11-13 декад вологопотреба посіву перевищувала його фактичне вологоспоживання у 3-4 рази. Про таку суттєву невідповідність умов зволоження потребам рослин свідчать значення вологозабезпеченості, які протягом цих декад не перевищували 0,30 відн.од. Але, у той же час треба відзначити, що період кушіння, який відбувається у міскантусу протягом II-III декад червня проходив при оптимальних умовах зволоження, про свідчать значення E/E_o у межах 0,89-0,96 відн.од.

На рисунку 4.6 представлені характеристики зволоження вегетаційного періоду міскантусу за умов реалізації сценарію RCP4.5 у другий сценарний період (2031-2040 рр.).

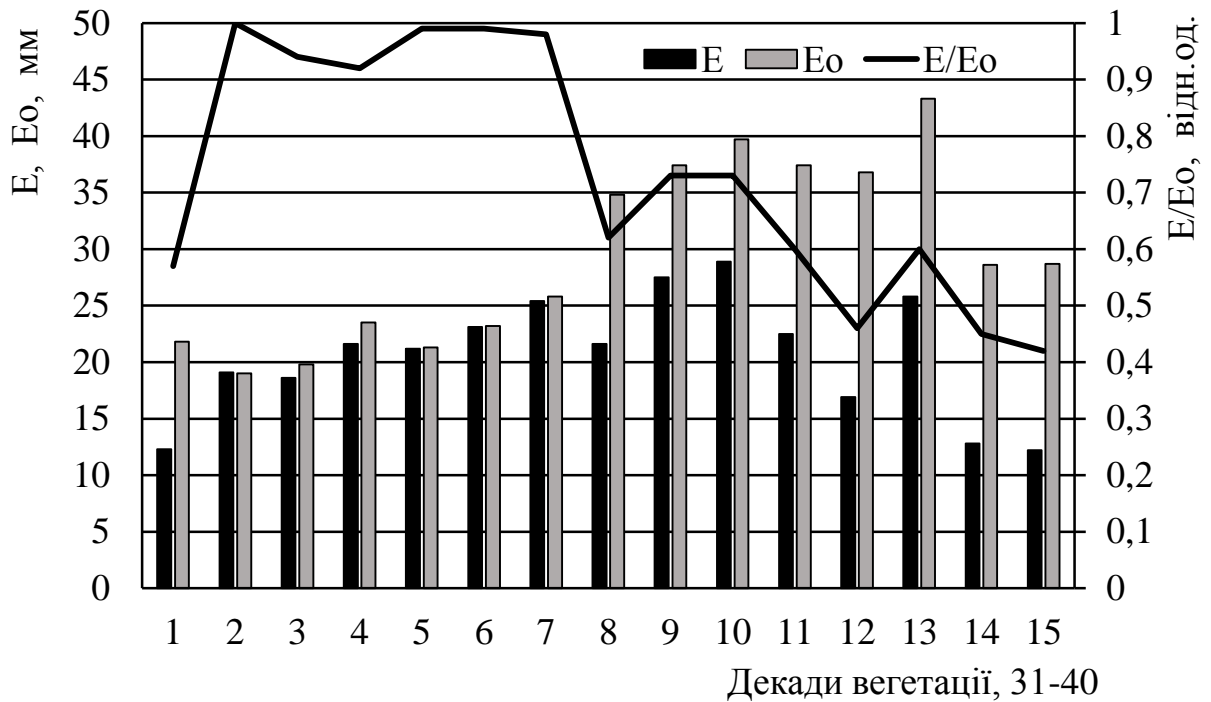


Рисунок 4.6 - Хід декадних величин випаровування та випаровуваності протягом вегетації міскантусу, 2031-2040 рр.

Аналізуючи цей графік, можна зробити висновок, що на відміну від попередніх випадків, протягом третього сценарного періоду очікуються набагато кращі умови зволоження. Так, перша половина вегетації буде проходити при оптимальних умовах, коли потреби рослин у воді будуть майже співпадати з їх фактичним вологоспоживанням. Про це свідчать величини вологозабезпеченості у межах 0,92-0,99 відн.од. Лише протягом двох останніх декад показники вологозабезпеченості зменшуються до 0,42-0,45 відн.од., але це суттєво не впливатиме на посіви, оскільки період активного накопичення біомаси у рослин вже закінчиться і їх потреби у воді –також.

На рисунку 4.7 представлені характеристики зволоження вегетаційного періоду міскантусу за умов реалізації сценарію RCP4.5 у третій сценарний період (2041-2050 рр.).

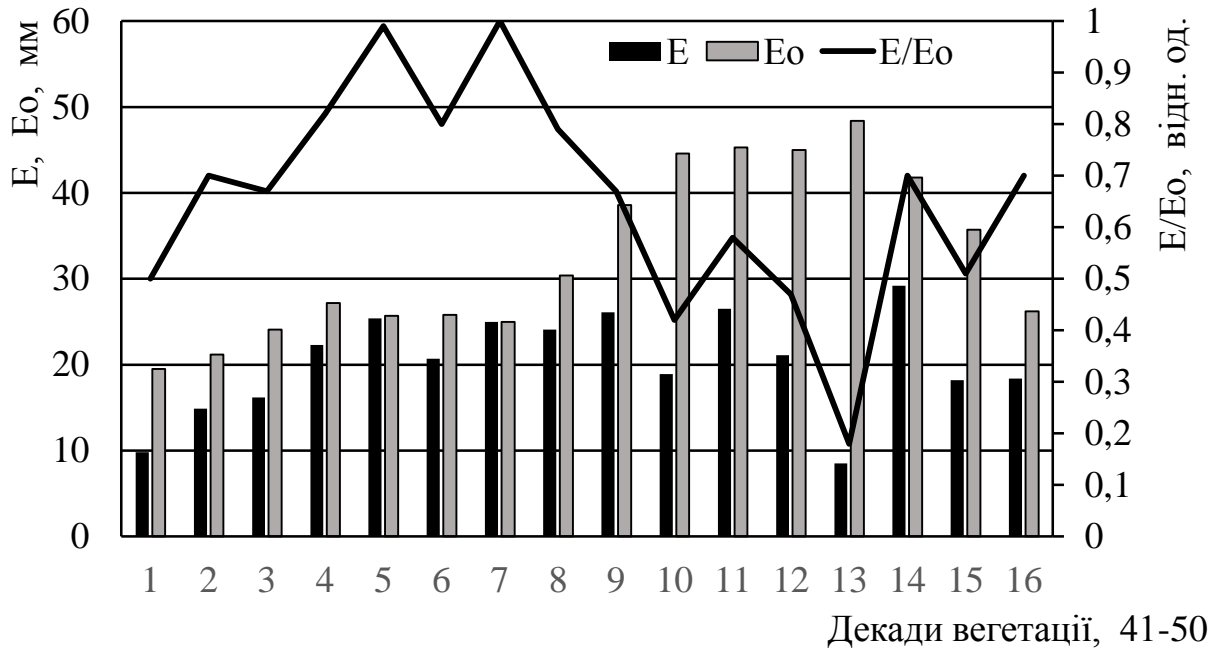


Рисунок 4.7 - Хід декадних величин випаровування та випаровуваності протягом вегетації міскантусу, 2041-2050 рр.

Аналіз представлених даних свідчить про те, що протягом саме третього сценарного періоду очікуються найбільш нестабільні умови зволоження. Так, якщо період кущіння буде проходити за оптимальних умов зволоження (значення E/E_o становитимуть 0,8-1,0 відн.од.), то у період початку виходу у трубку фактичне вологоспоживання становитиме у дванадцяту декаду 21мм, тоді як вологопотреба рослин у цей період оцінюється величиною 42 мм, тобто удвічі більше. Ще гірше будуть умови зволоження наприкінці виходу у трубку - фактичне вологоспоживання становитиме у тринадцяту декаду вегетації 8,5мм, тоді як вологопотреба рослин у цей період оцінюється величиною 48,5 мм, тобто майже у шість разів більше. Тому й значення вологозабезпеченості у цей період очікується найнижче – всього 0,18 відн.од, що характеризує вкрай несприятливі умови для рослин.

Описуючи величину ΔMMU міскантусу у Вінницькій області у базовий та сценарний періоди, відзначимо, що в початковий період відростання за базових умов він становить 129 г/(м² ·дек.) (рис. 4.8). За умов реалізації

сценарію RCP4.5 ця початкова величина буде дещо менше - від 60 до 85 г/(м²·дек.) в залежності від сценарних періодів. Протягом всього міжфазного періоду відростання-кущіння за базових умов спостерігається плавне її зростання до максимального значення 506 г/(м²·дек.) у восьму декаду. З дев'ятої декади спостерігається східчастоподібне зниження приросту ММУ, причому якщо протягом 9-11 декад це зниження відбувається досить повільно - з 506 до 464 г/(м²·дек.), то в кінці вегетаційного циклу воно відбувається досить інтенсивно – від 464 до 58 г/(м²·дек.) протягом п'яти декад.

Динаміка приростів ММУ протягом сценарних періодів в цілому аналогічна базовим умовам. Так, до шостої декади вегетації за всіма сценарними періодами спостерігається збільшення величин приростів. Вони становлять у перший сценарний період 335 г/(м²·дек.), у другий - 371 г/(м²·дек.), у третій - 398 г/(м²·дек.), в той час, як за базових умов ця величина дорівнює у шосту декаду вегетації 401 г/(м²·дек.).

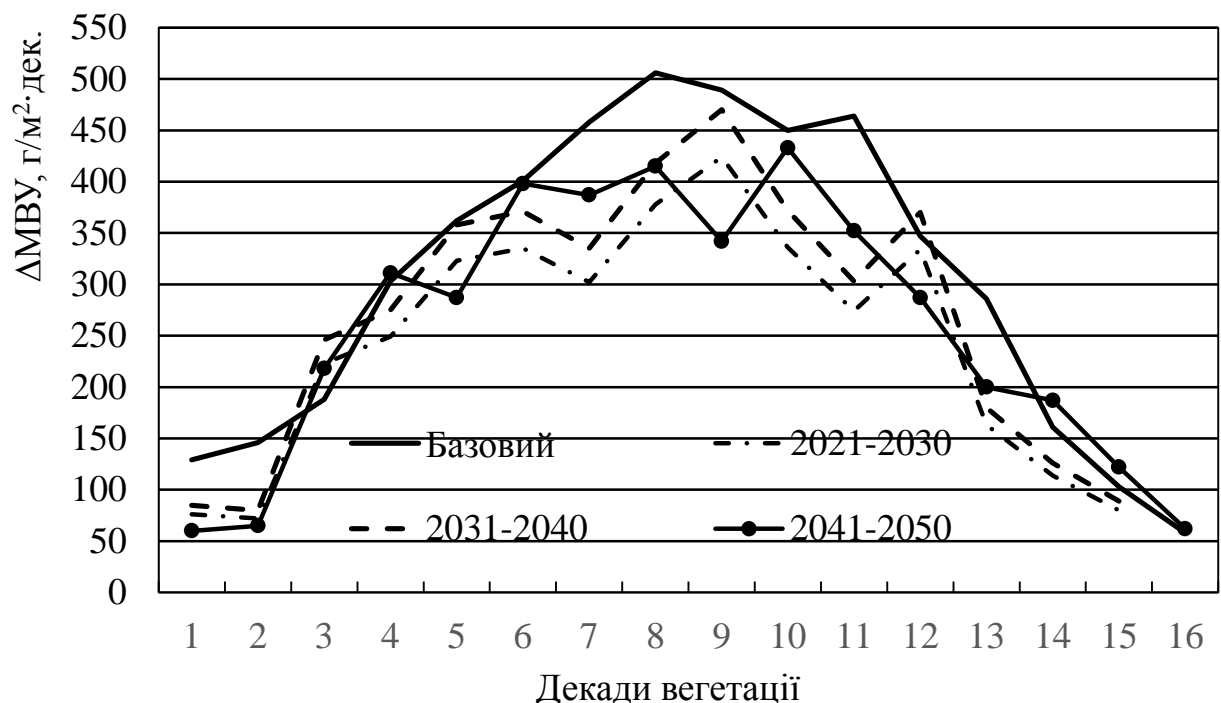


Рисунок 4.8 - Динаміка середньодекадних приростів метеорологічно-можливої урожайності (ΔММУ) міскантусу за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовими умовами

У цьому декаду вегетації сценарні прирости дещо зменшуються, але протягом восьмої - дев'ятої декади за умов першого і другого сценарного періодів вони досягають максимальних значень – 424 та 470 г/(м²·дек.) відповідно. На відміну від попередніх випадків, у третій сценарний період у дев'яту декаду відбувається різке зменшення приросту до 342 г/(м²·дек.), що, ймовірно, пов'язано з погіршенням умов зволоження у цей час, але у десятю декаду досягається максимальне значення приросту ММУ – 433 г/(м²·дек.).

Після дванадцятої декади вегетації протягом всіх сценарних періодів відбувається поступове зниження приростів ММУ і наприкінці вегетації вони складають 80 г/(м²·дек.) у перший сценарний період, 89 г/(м²·дек.) у другий сценарний період і 62 г/(м²·дек.) у третій сценарний період.

Хід кривої приростів ДМУ аналогічний з ходом кривої приростів ММУ (рис. 4.9). За базових умов від початку вегетації (відростання) до восьмої декади спостерігається плавне зростання приростів до максимального їх значення 350 г/(м²·дек.), після чого відбувається плавне зниження приростів і наприкінці вегетації вони становлять лише 40 г/(м²·дек.). За умов зміни клімату спостерігається більш різке східчастоподібне зростання приростів до максимальних значень 293-324 г/(м²·дек.), які спостерігаються у дев'ятій (перший та другий сценарний період) та десятій (третій сценарний період) декадах. Далі, до кінця вегетації, відбувається також стрибкоподібне зниження приростів до 43-61 г/(м²·дек.).

На рисунку 4.10 представлена динаміка формування урожаю біомаси міскантусу у виробництві. Можна бачити, що за базових умов урожай сирової маси міскантусу другого року життя становить 279 ц/га. За умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 у період 2021-2030 рр. очікується зменшення урожаю до 212 ц/га, у період 2031-2040 рр. - зменшення урожаю до 234 ц/га, у період 2041-2050 рр. - зменшення урожаю до 243 ц/га. Таким чином, в умовах змін клімату урожаї міскантусу зменшаться на 24%, 16% та 13% в залежності від сценарного періоду.

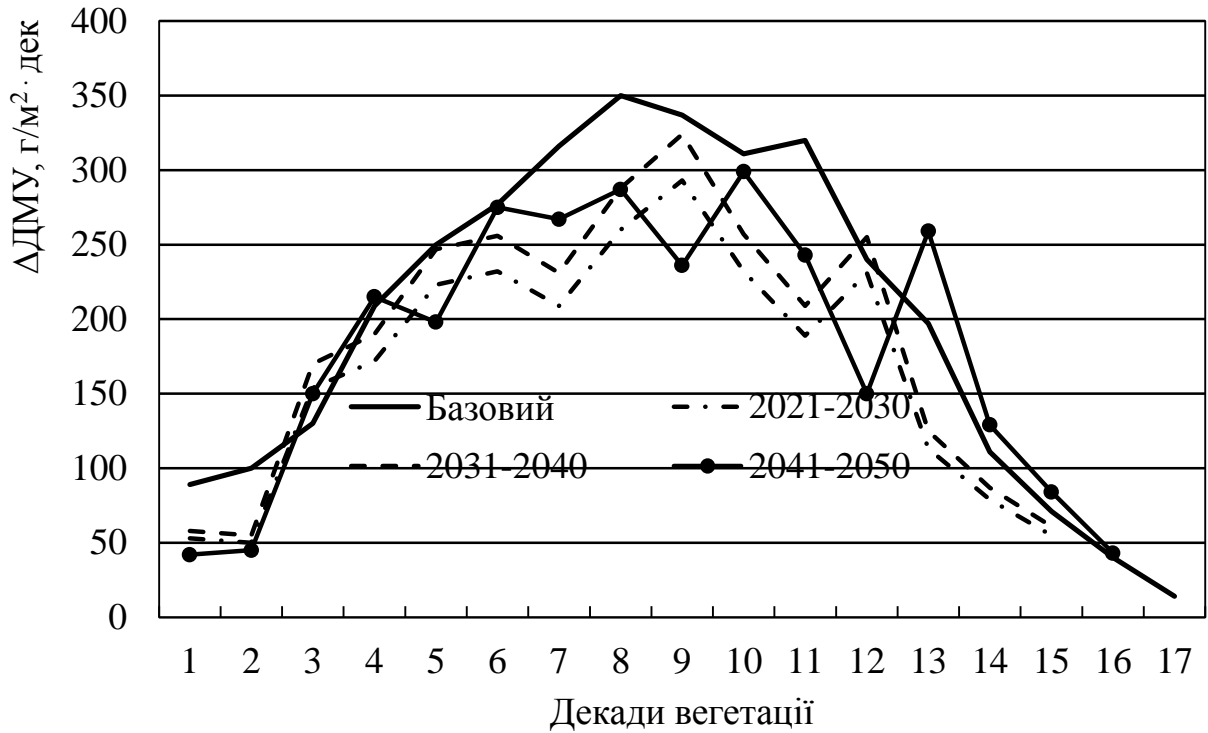


Рисунок 4.9 - Динаміка середньодекадних приростів дійсно-можливої урожайності (ΔДМУ) міскантусу за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовими умовами

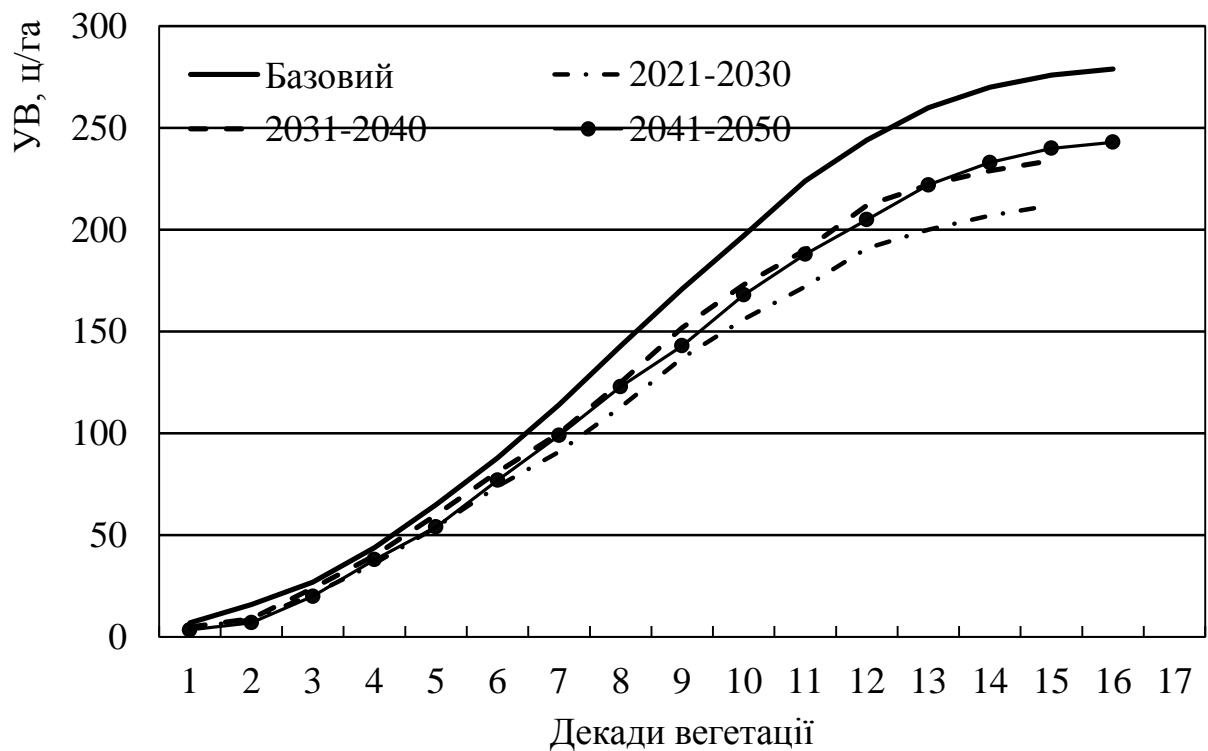


Рисунок 4.10 - Динаміка накопичення виробничих урожаїв міскантусу другого року за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовими умовами

Однак, треба відзначити, що, виходячи з біологічних особливостей міскантусу, за умов реалізації сценарію RCP4.5 у Вінницькій області складатимуться умови, досить сприятливі для посівів міскантусу, тому існують досить оптимістичні перспективи вирощування цієї нової енергетичної культури.

4.4 Оцінка продуктивності агрокліматичних ресурсів для міскантусу

Оцінка узагальнюючих характеристик ґрунтових та агрокліматичних умов формування продуктивності міскантусу зроблена на основі виконаних нами розрахунків. Рівень родючості ґрунтів Вінницької області нами прийнято за 0,69 відн.од.

В табл. 4.2 наводяться узагальнені характеристики агрокліматичних умов вирощування міскантусу в різні сценарні періоди. Узагальнені характеристики розраховані для кожного з сценарних періодів та за базових умов і частково описані в розділі 4.1.

Зволоження території залежить не тільки від кількості опадів, а й від того, скільки їх витрачається на випаровування та стік, тобто від ГТК. Гідротермічний коефіцієнт по періодах дослідження змінюється від 1,11 відн.од. у третій сценарний період до 1,38 відн.од. за базових умов.

Оцінки ступеня сприятливості кліматичних умов території Вінницької області для вирощування міскантусу (K_m) дуже неоднорідні. Так, ця оцінка найвища у базовий період і становить 0,866 відн. од. У сценарні періоди вона змінюється до 0,730 відн. од. у перший період, до 0,720 відн. од. у другий період і до 0,706 відн. од. у третій сценарний період.

Коефіцієнт $K_{земл}$ характеризує рівень культури землеробства з погляду ефективності господарського використання існуючого комплексу агрометеорологічних і ґрунтових умов. Його значення також суттєво

Таблиця 4.2 - Оцінка продуктивності агрокліматичних ресурсів для міскантусу в умовах зміни клімату

Загальні показники за вегетаційний період	Періоди			
	Базовий	2021-2030 рр.	2031-2040 рр.	2041-2050 рр.
Сума активних температур вище 10°C	2812	2433	2421	2605
Сума ФАР, КДж/період	136	135	134	133
Тривалість вегетаційного періоду, дні	160	140	140	160
Сума опадів, мм	391	280	302	288
Потреба рослин у воді, мм	543	393	423	409
Сумарне випаровування, мм	666	619	619	656
ГТК, відн.од.	1,38	1,15	1,25	1,11
Оцінка ступеня сприятливості кліматичних ресурсів, <i>Км</i>	0,866	0,730	0,720	0,706
Оцінка рівня культури землеробства, <i>Кземл</i>	4,487	4,440	4,164	4,010
Оцінка рівня реалізації агро-екологічного потенціалу, <i>Каек.пот</i>	3,888	3,242	3,000	2,831
ПВ, всієї сухої біомаси, г/м ²	5627	5118	5662	6000
ММВ, всієї сухої біомаси, г/м ²	4875	3687	4079	4235
ДМВ, всієї сухої біомаси, г/м ²	3364	2544	2814	2922
УВ, ц/га	279	212	234	243

відрізняються в залежності від періоду дослідження. Так, у базовий період $K_{земл}$ становить 4,487, у період 2021-2030 рр. $K_{земл}$ становить 4,440 і у подальші сценарні періоди його значення ще зменшуються – до 4,164 у 2031-2040 рр. і до 4,010 у 2041-2050 рр.

Величина відношення урожайності у виробництві до потенційної урожайності характеризує рівень реалізації агроекологічного потенціалу і оцінюється показником $K_{аек.пот}$. Значення цього коефіцієнту також змінюються протягом досліджуваних періодів. Так, у базовий період $K_{аек.пот}$ становить 3,888, у період 2021-2030 рр. $K_{аек.пот}$ становить 3,242 і у подальші сценарні періоди його значення ще зменшуються – до 3,000 у 2031-2040 рр. і до 2,831 у 2041-2050 рр.

Розподіл потенційного врожаю всієї сухої біомаси міскантусу по часовим періодам також досить неоднорідний. Найменші ПВ 5118 г/м² очікуються у перший сценарний період. У базовий період вони становлять 5627 г/м². У другий сценарний період ПВ складають 5662 г/м². Найбільші потенційні урожаї сухої біомаси міскантусу очікуються у третій сценарний період – 6000 г/м².

Рівні ММВ визначаються впливом волого-температурного режиму, тому їх розподіл у часі дещо відрізняються від розподілу ПВ. Найвищі рівні ММВ сухої загальної біомаси міскантусу спостерігаються у базовий період - 4875 г/м². За умов зміни клімату вони збільшуються від першого до третього сценарних періодів: в перший сценарний період очікуються значення ММВ 3687 г/ м², в другий сценарний період – 4079 г/м², в третій сценарний період – 4235г/м².

Рівні ДМВ сухої біомаси міскантусу на території Вінницької області мають розподіл подібний до розподілу ММВ. Найнижчі значення відзначаються у перший сценарний період і становлять 2544 г/м², у другий сценарний період очікується деяке зростання значень ММВ сухої біомаси міскантусу – до 2814 г/м², а в третій сценарний період – до 2922 г/м². Найбільше ж значення ММВ відзначається протягом базового періоду і

складає 3364 г/м².

Розподіл урожайності сирової біомаси міскантусу у виробництві (УВ) по часових періодах подібний до розподілу ММВ і ДМВ. Найнижчі врожаї у виробництві очікуються у перший сценарний період - 212 ц/га, у період 2031-2040 рр. вони дещо зростуть до 234 ц/га, у період 2041-2050 рр. очікується ще більше збільшення урожаю - до 243 ц/га. А найвищі виробничі урожаї досягають 279 ц/га у базовий період.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз агрокліматичних умов вирощування міскантусу за базовим і трьома сценарними варіантами показав, що на території Вінницької області сценарні суми температур за вегетаційний період міскантусу будуть дещо меншими, ніж базові. Так, сума температур за базових умов становить 2812°C. За умов реалізації сценарію RCP4.5 протягом трьох сценарних періодів очікується її значення 2433°C, 2421°C та 2605°C відповідно.

У цілому можна сказати, що умови теплозабезпеченості вегетаційного періоду міскантусу у період 2021-2050 рр. на території Вінницької області зміняться несуттєво і посіви цієї нової енергетичної культури будуть забезпечені теплом повністю.

2. Значних змін за умов реалізації сценарію RCP4.5 зазнають умови вологозабезпечення посівів. Базова сума опадів за вегетаційний період становить 391 мм. За умов реалізації сценарію RCP4.5 очікуються сценарні суми опадів 280 мм, 302 мм, та 288 мм відповідно. Це відповідно на 28 %, 23% та 26% менше за базову суму.

У Вінницькій області базове значення становить 543 мм. Сумарне випаровування зменшиться за умов реалізації сценарію RCP4.5 до 393, 423 та 409 мм (у відповідності з сценарними періодами). Також за умов реалізації сценарію RCP4.5 дещо зміниться і величина випаровуваності. Базове значення становить 666 мм. Випаровуваність за сценарієм зменшиться до 619 мм (2021-2030 рр. та 2031-2040 рр.) і до 656 мм (2041-2050 рр.).

Базове значення вологозабезпеченості складає 81 %. Вологозабезпеченість за сценарієм зменшиться до 63, 68 та 62% відповідно. Таким чином, вологозабезпеченість за сценарієм зменшиться дуже суттєво.

3. Найвищі показники приростів агроєкологічних категорій урожайності міскантусу спостерігаються в дев'яту-десяту декади вегетації, в цей час у посівів відбувається вихід у трубку. Так, в першій декаді вегетації ДПУ за всіх періодів становить 200-240 г/(м²·дек). Найбільші прирости

потенційного урожаю становлять $529 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$ для базового варіанту; 508 та $561 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$ для першого та другого сценарних періодів відповідно й $563 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$ для третього сценарного періоду

Прирости метеорологічно-можливого урожаю залежать від умов тепло- та вологозабезпеченості вегетаційного періоду. В початковий період відростання за базових умов він становить $129 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$, за умов реалізації сценарію RCP4.5 ця початкова величина буде дещо менше - від 60 до $85 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$ в залежності від сценарних періодів. Динаміка приростів ММУ протягом сценарних періодів в цілому аналогічна базовим умовам. За базових умов максимальне значення становить $506 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$, за умов першого і другого сценарного періодів прирости досягають максимальних значень 424 та $470 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$ відповідно. У третій сценарний період максимальне значення приросту ММУ становить $433 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$.

Хід кривої приростів ДМУ аналогічний з ходом кривої приростів ММУ. За базових умов у восьму декаду спостерігається максимальне їх значення $350 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$, після чого відбувається плавне зниження приростів і наприкінці вегетації вони становлять лише $40 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$. За умов зміни клімату спостерігається більш різке східчато-подібне зростання приростів до максимальних значень 293 - $324 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$, які спостерігаються у дев'ятій (перший та другий сценарний період) та десятій (третій сценарний період) декадах. Далі, до кінця вегетації, відбувається також стрибкоподібне зниження приростів до 43 - $61 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$.

За базових умов урожай сирі маси міскантусу другого року життя становить $279 \text{ ц}/\text{га}$. За умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 у період 2021-2030 рр. очікується зменшення урожаю до $212 \text{ ц}/\text{га}$, у період 2031-2040 рр. - зменшення урожаю до $234 \text{ ц}/\text{га}$, у період 2041-2050 рр. - зменшення урожаю до $243 \text{ ц}/\text{га}$. Таким чином, в умовах змін клімату урожаї міскантусу зменшаться на 24% , 16% та 13% в залежності від сценарного періоду. Однак, треба відзначити, що, виходячи з біологічних особливостей міскантусу, за

умов реалізації сценарію RCP4.5 у Вінницькій області складатимуться умови, досить сприятливі для посівів міскантусу, тому існують досить оптимістичні перспективи вирощування цієї нової енергетичної культури.

Оцінка ступеня сприятливості кліматичних умов території Вінницької області для вирощування міскантусу найвища у базовий період і становить 0,866 відн. од. У сценарні періоди вона змінюється до 0,730 відн. од. у перший період, до 0,720 відн. од. у другий період і до 0,706 відн. од. у третій сценарний період.

У базовий період $K_{земл}$ становить 4,487, у перший сценарний період $K_{земл}$ становить 4,440 і у подальші сценарні періоди його значення ще зменшуються – до 4,164 у другий і до 4,010 у третій.

У базовий період $K_{аек.пот}$ становить 3,888, у період 2021-2030pp. $K_{аек.пот}$ становить 3,242 і у подальші сценарні періоди його значення ще зменшуються – до 3,000 у 2031-2040 pp. і до 2,831 у 2041-2050 pp.

Розподіл потенційного врожаю всієї сухої біомаси міскантусу по часовим періодам також досить неоднорідний. Найменші ПВ 5118 г/м² очікуються у перший сценарний період. У базовий період вони становлять 5627 г/м². У другий сценарний період ПВ складають 5662 г/м². Найбільші потенційні урожаї сухої біомаси міскантусу очікуються у третій сценарний період – 6000 г/м².

Найвищі рівні ММВ сухої загальної біомаси міскантусу спостерігаються у базовий період - 4875 г/м². За умов зміни клімату вони збільшуються від першого до третього сценарних періодів: в перший сценарний період очікуються значення ММВ 3687 г/ м², в другий сценарний період – 4079 г/м², в третій сценарний період – 4235г/м².

Рівні ДМВ сухої біомаси міскантусу на території Вінницької області мають розподіл подібний до розподілу ММВ. Найнижчі значення відзначаються у перший сценарний період і становлять 2544 г/м², у другий сценарний період очікується деяке зростання значень ММВ сухої біомаси міскантусу – до 2814 г/м², а в третій сценарний період – до 2922 г/м².

Найбільше ж значення ММВ відзначається протягом базового періоду і складає 3364 г/м².

Розподіл урожайності сирової біомаси міскантусу у виробництві (УВ) по часових періодах подібний до розподілу ММВ і ДМВ. Найнижчі врожаї у виробництві очікуються у перший сценарний період - 212 ц/га, у період 2031-2040 рр. вони дещо зростуть до 234 ц/га, у період 2041-2050 рр. очікується ще більше збільшення урожаю - до 243 ц/га. А найвищі виробничі урожаї досягають 279 ц/га у базовий період.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хіврич О. Б. Енергетичні рослини як альтернатива традиційним видам палива / О. Б. Хіврич, В. М. Квак, В. В. Каськів, В. В. Мамайсур, А. С. Макаренко // *Агробіологія*. - 2011. - Вип. 6. - С. 153-157.
2. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційних робіт для студентів 2 курсу денної та заочної форми навчання зі спеціальності 101 «Екологія», спеціалізація «Агроекологія», зі спеціальності 103 «Науки про Землю», спеціалізація «Агрометеорологія». Рівень вищої освіти - магістр. Укладачі: Польовий А.М., Барсукова О.А., Толмачова А.В., Одеса, ОДЕКУ, 2017 р., с. 40, укр. мовою.
3. Географічна енциклопедія України: В 3-х т./ Редкол.: О.М. Маринич (відповід. редактор) та інш. - К. : “Українська Радянська енциклопедія” ім. М.П. Бажана, 1989. - Т.1: А-Ж. - 416 с.: іл.
4. Агрокліматичний довідник по Вінницькій області (1986 – 2005 рр) / за ред. І.З. Федика, Т.І. Адаменко. [Електронний ресурс]: Вінниця, 2013. 214 с. 1 електрон. опт. диск (CD-R).
5. Географія Вінницької області, В.Є. Любченко, А.С. Космина, Вінниця, ЕкоБізнесЦентр, 1996.
6. Агрокліматичний довідник по території України / за ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіді, А.Л. Прокопенка- Кам'янець-Подільський: ПП Галагодза Р.С., 2011. – 108 с.
7. Анисимов А.А., Хохлов Н.Ф., Тараканов И.Г. Эколого-физиологические основы продукционного процесса различных видов мискантуса (*Miscanthus spp.*) / Материалы конференции "Экспериментальная биология растений: фундаментальные и прикладные аспекты". М: «Соцветие», 2017. – С. 94.
8. Роїк М.В., Гонтаренко С.М., Лашук С.О. Сучасний стан розвитку селекції та реєстрації представників роду *Miscanthus* в Україні та світі // *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур та цукрових буряків*. - 2014 . – Вип. 21. – С. 249-254.

9. Рахметов Д.Б., Щербакова Т.О., Рахметова С.О. Перспективні енергетичні рослини роду *Miscanthus Anderss*, інтродуковані в Національному ботанічному саду ім. М.М. Гришка НАН України // Інтродукція рослин. – 2015. №1(65). – С. 3-18.
10. Lewandowski, I., Scurlock, J.M.O., Lindvall, E., Christou, M. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe // *Biomass and Bioenergy*. – 2003. V. 25. - P. 335-361.
11. Heaton, E.A., Flavell, R.B., Mascia, P.N., Thomas, S.R., Dohleman, R.G., Long, S.P. Herbaceous energy crop development: recent progress and future prospects // *Current Opinion in Biotechnology*. – 2008. V. 19. - P. 202-209.
12. Гисматулина Ю.А., Будаева В.В., Вепрев С.Г., Сакович Г.В., Шумный В.К. Особенности целлюлоз из различных морфологических частей мискантуса сорта Сорановский // *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 2014, Том 18, № 3. – С. 553-563.
13. Кроткевич П.Г., Шумейко К.И., Волошина Л.А., Нестерчук Е.Н., Петрунь И.И. Морфологические особенности и химический состав *Miscanthus sinensis Anderss*. как сырья для целлюлозно-бумажной промышленности // *Растит. ресурсы*. 1983. Т. XIX . Вып. 3. С. 321–323.
14. Зинченко В., Яшин М. Энергия мискантуса // *ЛесПромИнформ*. – 2011. – № 6 (80). – С. 61-68.
15. Капустянчик С.Ю., Лихенко И.Е., Данилова А.А. Продуктивность мискантуса сорта Сорановский первого года вегетации и дыхательная активность почвы // *Пермский аграрный вестник*. – 2016. - № 4(16). – С.82-87.
16. Купцов Н.С., Попов Е.Г. Энергоплантации. Справочное пособие по использованию энергетических растений. Минск: Тэхналогія, 2015. – 128 с.
17. Тараканов И.Г., Хохлов Н.Ф., Чижова М.Н. Эколого-физиологические особенности мискантуса, перспективной культуры для биоэкономики. [Электронный ресурс]: miscanthus-biotech.com/wp-content/uploads/.../ctatya-10.04.13Tarakanov-i-dr.rtf

18. Clifton-Brown J.C., Lewandowski I. Water use efficiency and biomass partitioning of three different *Miscanthus* genotypes with limited and unlimited water supply // *Annals of Botany*. – 2000. - V. 86. - P. 191-200.
19. Heaton E.A., Dohleman F.G., Long S.P. Meeting US biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus* // *Global Change Biol.* – 2008. - V. 14. – P. 2000-2014.
20. Макаренко В. Слонова трава – прорив в сільському господарстві / В. Макаренко // *Агро Перспектива*. – 2012. – № 1. – С. 32-37.
21. Аналітична записка БАУ № 10 (2014). «Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні». Публікація доступна на: www.uabio.org/activity/uabio-analytics.
22. Planting and growing miscanthus. Best practice guidelines. <http://adlib.everysite.co.uk/resources/000/023/838/miscanthus-guide.pdf>
23. Блюм Я.Б., Гелетуха Г.Г., Григорюк І.П. та ін. Новітні технології біоенергоконверсії. – К: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.
24. New dedicated energy crops for solid biofuels. AEBIOM, FP6 RESTMAC project, 2008 http://www.aebiom.org/IMG/pdf/Dedicated_energy_crops_for_solid_biofuels_2008_January.pdf
25. Шумный В.К., Вепрев С.Г., Нечипоренко Н.Н. и др. Новая форма мискантуса китайского (веерника китайского *Miscanthus sinensis* Anders.) как перспективный источник целлюлозосодержащего сырья // *Вестник ВОГиС*. – 2010. – т.14. - №1. – С. 122-126.
26. Гущина В.А., Борисова Е.Н. Рост и развитие мискантуса гигантского первого года жизни в зависимости от гидротермических условий // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2017. – Вып. 1(37). – С. 12-18.
27. Рахметов Д.Б. Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин в Україні. – К.: Аграр Медіа груп, 2011. – 398 с.
28. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая / Х.Г. Тооминг – Л. : Гидрометеоиздат, 1977. – 200 с.

29. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов / Х.Г. Тооминг – Л. : Гидрометеоздат, 1986. – 264 с.
30. Полевой А.Н. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур. / А.Н. Полевой // Метеорология, климатология и гидрология. – 2004. – № 48. – С. 195-31. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем: навчальний посібник / А.М. Польовий. – К. : КНТ, 2007. – 348 с.
32. Нечипоренко О.М. Стан та перспективи адаптації аграрного сектору економіки України до глобальних змін клімату. Економіст. 2016. № 11. С. 10–14.
33. Панасюк Б.Я. Глобальні зміни клімату та економіка. Економіка АПК. 2015. № 11. С. 14–22.
34. Закон України "Про ратифікацію Паризької угоди". URL: <http://zakon3.rada.gov.ua>
35. Прокопенко К.О., Удова Л.О. Сільське господарство України: виклики і шляхи розвитку в умовах зміни клімату. Економіка і прогнозування 2017, 1: С. 92-107
36. 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.
37. 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.
38. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату: підручник / С.М. Степаненко. – Одеса: Екологія, 2013. – 204 с.

39. Гументик М.Я., Квак В.М., Замойський О.І. Урожайність біомаси міскантусу залежно від кліматичних умов, строків і глибини садіння ризомів у Західному Степу України // Біоенергетика. - 2013. - № 2. - С. 32-35.

ДОДАТКИ