

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра агрометеорології та
агроекології

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **Вплив змін клімату на перспективи вирощування**
міскантусу в Степу України

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

Освітня програма «Агрометеорологія»
(назва)

Ткаченко Олександр Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

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

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

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

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут гідрометеорологічний
Кафедра агрометеорології та агроєкології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма Агрометеорологія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
агрометеорології та агроєкології
Польовий А.М.
« 28 » жовтня 2019 року

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

Ткаченку Олександрю Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вплив змін клімату на перспективи вирощування міскантусу в Степу 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 «18» жовтня 2019 року № 235«С»

2. Строк подання студентом роботи 09 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи: Метеорологічні дані за сценаріями RCP6.0 та RCP8.5 зміни клімату за період 2021-2050 рр. (середньодадні температури повітря, декадні суми опадів, середньодадній дефіцит вологості повітря, відносна вологість повітря, число годин сонячного сяяння, інтенсивність сонячної радіації). Середньобагаторічні метеорологічні дані по Дніпропетровській області.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вивчити фізико-географічні та агрокліматичні особливості території Північного Степу (на прикладі Дніпропетровської області); ознайомитись з методологією динамічного моделювання продукційного процесу; вивчити біологічні особливості міскантусу; оцінити зміни агрокліматичних умов вирощування міскантусу в Дніпропетровській області у зв'язку зі зміною клімату; визначити вплив змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та урожайність міскантусу за умов реалізації сценаріїв RCP6.0 та RCP8.5.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Графіки динаміки площі листя посіву міскантусу, приростів потенційної

урожайності, показників зволоження вегетаційного періоду міскантусу за умов реалізації сценаріїв зміни клімату у порівнянні з базовими умовами.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 28 жовтня 2019 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання. Формування бази даних для виконання магістерської роботи. Оформлення текстової частини першого та другого розділів магістерської роботи.	28.10.2019 р. - 04.11.2019 р.	85	4 (добре)
2	Розрахунки сценарних агрокліматичних показників вегетаційного періоду міскантусу.	05.11.2019 р. - 17.11.2019 р.	85	4 (добре)
3	<i>Рубіжна атестація</i>	18.11.2019 р. - 23.11.2019 р.	85	4 (добре)
4	Розрахунки показників фотосинтетичної продуктивності посівів та урожаїв міскантусу різних агроекологічних категорій за базовими даними та за умов реалізації сценарію RCP6.0.	24.11.2019 р. - 29.11.2019 р.	96	5 (відмінно)
5	Розрахунки показників фотосинтетичної продуктивності посівів та урожаїв міскантусу різних агроекологічних категорій за базовими даними та за умов реалізації сценарію RCP8.5.	30.11.2019 р. - 5.12.2019 р.	92	5 (відмінно)
6	Узагальнення отриманих результатів. Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.	06.12.2019 р. - 09.12.2019 р.	97	5 (відмінно)
7	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту.			
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		91,0	

Студент _____ Ткаченко Олександр Сергійович
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Ткаченко О.С. Вплив змін клімату на перспективи вирощування міскантусу в Степу України

Актуальність обраної теми зумовлена тим, що розвиток біоенергетики сприятиме посиленню енергонезалежності України у сучасних складних економічних умовах. Україна має виключні агрокліматичні та ґрунтові ресурси для отримання сталих і високих урожаїв біоенергетичних культур, зокрема, міскантусу. Тому необхідне детальне вивчення агрокліматичних умов його вирощування на досліджуваній території з метою раціонального використання цих умов і найбільш оптимального розміщення посівів. Особливого значення набуває вирішення цього питання у зв'язку зі змінами клімату.

Метою даного дослідження є оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні ресурси стосовно умов формування продуктивності міскантусу на прикладі однієї з степових областей України – Дніпропетровської.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *завдання*:

- розрахувати основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду міскантусу третього року життя в Дніпропетровській області за базовими умовами та врахуванням змін клімату за сценаріями RCP6.0 та RCP 8.5;

- визначити вплив можливих змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та урожайність міскантусу за умов реалізації сценаріїв зміни клімату RCP6.0 та RCP8.5;

- провести оцінку продуктивності агрокліматичних ресурсів для міскантусу.

Об'єкт дослідження - енергопосадки міскантусу в Північному Степу.

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

Метод дослідження - метод математичного моделювання продукційного процесу рослин.

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

Отримані результати можуть бути використані при виконанні комплексної оцінки агрокліматичних ресурсів стосовно вирощування міскантусу та оптимізації розміщення його посівних площ за умов реалізації сценаріїв RCP6.0 та RCP8.5 зміни клімату в степу.

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань. Повний обсяг роботи становить 70 сторінок, 13 рисунків, 5 таблиць. Список використаних літературних джерел містить 38 найменувань.

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

SUMMARY

Tkachenko O.S. The impact of climate change on the prospects of growing miscanthus in the Ukraine Steppe

The relevance of the chosen topic is due to the fact that the development of bioenergy will contribute to the strengthening of Ukraine's energy independence in today's difficult economic conditions. Ukraine has exceptional agro-climatic and soil resources for sustainable and high yields of bioenergy crops, in particular, miscanthus. Therefore, it is necessary to study in detail the agro-climatic conditions of its cultivation in the study area for the purpose of rational use of these conditions and the most optimal placement of crops. Addressing this issue in relation to climate change is of particular importance.

The aim of this study is to assess the impact of climate change on agro-climatic resources relative to the conditions of formation of productivity of miscanthus on the example of one of the steppe regions of Ukraine – Dnipropetrovsk.

To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

- calculate the main agro-climatic indicators of the growing season of miscanthus of the third year of life in the Dnipropetrovsk region for the basic conditions and taking into consideration climate change scenarios RCP6. 0 and RCP 8.5;

- to determine the impact of possible climate change on photosynthetic productivity and productivity of miscanthus, provided the implementation of climate change scenarios RCP6. 0 and RCP8.5;

- to assess the productivity of agro-climatic resources for miscanthus.

The object of the study is the energy plantations of miscanthus in the Northern Steppe.

The subject of the study is the influence of possible climate changes on agro-climatic conditions of cultivation and productivity of energy plantations in Dnipropetrovsk region.

The research method is a method of mathematical modeling of the production process of plants.

For the first time: regularities of influence of climate changes on agro-climatic conditions of cultivation of miscanthus and productivity of culture in Dnepropetrovsk region are established.

The results obtained can be used in the implementation of a comprehensive assessment of agro-climatic resources in relation to the cultivation of miscanthus and optimization of acreage in the conditions of implementation of scenarios RCP6. 0 and RCP8.5 climate change in the steppe.

The work consists of an introduction, 4 sections, conclusions, a list of references. The full volume of the work is 70 pages, 13 figures, 5 tables. The list of references contains 38 titles.

KEYWORDS: miscanthus, productivity model, climate change, agro-climatic conditions, yield biomass.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИХ ТА АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1 Фізико-географічна характеристика.....	10
1.2 Кліматичні та агрокліматичні умови	14
2 БОТАНІЧНА, БІОЛОГІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КУЛЬТУРИ МІСКАНТУСУ	19
2.1 Міскантус як перспективна енергетична рослина в Україні	19
2.2 Ботанічна та біологічна характеристика міскантусу.....	22
3 ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ МІСКАНТУСУ (MISCANTHUS)	26
3.1 Сучасні дослідження змін клімату.....	26
3.2 Зміна агрокліматичних умов вегетаційного періоду міскантусу за сценарієм RCP6.0.....	28
3.3 Зміна агрокліматичних умов вегетаційного періоду міскантусу за сценарієм RCP8.5.....	34
4 ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ МІСКАНТУСУ	39
4.1 Базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів.....	39
4.1.1 Блок вхідної інформації.....	39
4.1.2 Блок показників сонячної радіації і волого-температурного режиму.....	40
4.1.3 Блок функцій впливу фази розвитку і метеорологічних факторів на продукційний процес рослин.....	41
4.1.4 Блок родючості ґрунту і забезпеченості рослин мінеральним живленням.....	44
4.1.5 Блок агроекологічних категорій урожайності.....	46
4.2 Вплив змін агрокліматичних умов на фотосинтетичну продуктивність міскантусу за умов реалізації сценарію RCP6.0.....	48
4.3 Вплив змін агрокліматичних умов на фотосинтетичну продуктивність міскантусу за умов реалізації сценарію RCP8.5.....	54
4.4 Узагальнена оцінка впливу змін клімату на перспективи вирощування міскантусу в Північному Степу.....	59
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	66

ВСТУП

Протягом останніх десятиліть змінюється світова енергетична політика. Якщо раніше безперечна перевага надавалася викопному паливу, то тепер з'явилася тенденція до вирівнювання можливостей розвитку всіх видів виробництва енергії і джерел постачання палива. Наша держава також підтримує цей шлях енергетичного розвитку. Стратегічні орієнтири розвитку паливно-енергетичного комплексу України прописані в Енергетичній стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”, схваленій розпорядженням Кабінету Міністрів № 605-р від 18 серпня 2017 р. [1]. Також цим керівним документом віддається перевага підвищенню енергоефективності й використанню енергії із відновлюваних та альтернативних джерел. Одним з пріоритетних напрямків розвитку енергетики нашої країни проголошено впровадження заходів її адаптації до зміни клімату.

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) - це ресурси, що утворюються на основі природних процесів (існуючих постійно або виникаючих періодично), а також протягом життєвих циклів рослинного чи тваринного світу та життєдіяльності людського суспільства. В назві цих ресурсів відображені джерела їх виникнення (енергія сонячна, вітрова, хвильова, приливна і ін.) або вид енергоносія (біомаса та ін.) [2]. Практичне використання відновлюваних джерел енергії отримало сьогодні інтенсивний розвиток в багатьох країнах світу.

Найбільш доступною і такою, що не вимагає значних капітальних вкладень в устаткування, є енергія, яку видобувають при спалюванні біомаси. Використання енергетичних рослин становить певний інтерес як одне з відновлювальних джерел палива. Суттєвою перевагою використання біомаси в енергетиці є те, що при її спалюванні вивільняється вуглекислий газ в кількості, що дорівнює

поглиненій за час життя рослини, тобто за умови її безперервного відновлення збільшення в атмосфері концентрації CO₂ не відбувається.

Енергія біомаси для України, за деякими оцінками, становить близько 50 млн т умовного палива. Основні сподівання в області біоенергетики пов'язані із спеціально призначеними для отримання сировини рослинами – «енергетичними рослинами (культурами)» [3].

Енергетичні культури – це рослини, які спеціально вирощуються для використання в якості палива або для виробництва біопалива [4].

Площі енергетичних посадок у світі, починаючи з 90-х років минулого століття, мають неухильну тенденцію до зростання, і перш за все це можна пояснити рядом факторів. По-перше, приріст біомаси на одиницю площі і, отже, обсяг її виробництва є стабільним і прогнозованим показником. Крім того, енергетичні культури не потребують використання прісної води для зрошення культури [5].

Другий важливий аспект вирощування енергетичних культур полягає у тому, що їх можна вирощувати на низькородючих, деградованих і забруднених ґрунтах (так званих, маргінальних), що дозволяє їх відновлювати [6]. За даними Всесвітньої біоенергетичної організації, частка площ, що використовуються для виробництва біопалива щорічно зростає на величину 2,9% [7].

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 [3].

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. У 2015 році енергетичні культури в Україні вирощувались лише на 4190 га земель, з яких плантації міскантусу займали

площі у 500 га. На сьогоднішній день в Україні вже є посадки міскантусу в Київській, Львівській, Полтавській, Житомирській, Харківській, Хмельницькій та Дніпропетровській областях [8].

Однак, не дивлячись на те, що міскантус є однією з найперспективніших енергетичних культур для України, на теперішній час в агрометеорологічному та агрокліматичному плані культура вивчена досить слабо. Також відсутні зональні науково-обґрунтовані технології культивування міскантусу залежно від еколого-географічних та агрокліматичних особливостей. Остаточно 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.

Таким чином, задачі кваліфікаційної роботи такі:

1. Вивчити ботанічні та біологічні особливості культури міскантус, а також вимоги до умов навколишнього середовища.

2. Ознайомитись з існуючими сценаріями зміни клімату для України на прикладі репрезентативних траєкторій концентрацій (Representative Concentration Pathways - RCP).

3. Вивчити алгоритм базової моделі оцінки агрокліматичних ресурсів. А.М. Польового та адаптувати параметри моделі стосовно міскантусу.

4. Проаналізувати вплив можливих змін клімату на агрокліматичні умови вегетаційного періоду міскантусу.

5. Проаналізувати вплив можливих змін клімату на показники фотосинтетичної продуктивності трьохрічних посадок міскантусу у Північному Степу (на прикладі Дніпропетровської області), а також на урожаї культури різних агроекологічних категорій.

Для виконання розрахунків були використані дані вітчизняних та іноземних літературних джерел щодо вимог міскантусу до агрометеорологічних та агрокліматичних умов.

Робота виконувалась з використанням даних Агрокліматичного довідника по Дніпропетровській області [9] та метеорологічних даних за сценаріями RCP6.0 (“стабільним”) та RCP8.5 (“жорстким”) змін клімату. Магістерська кваліфікаційна робота виконувалась згідно до рекомендацій, наданих у Методичних вказівках [10].

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИХ ТА АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Фізико-географічна характеристика

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

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

Придніпровська височина займає майже всю правобережну частину області, вклинюється на територію області з північного заходу паралельно течії р. Дніпро, поступово знижуючись і обриваючись в районі порожиистої частини крутим уступом. Височина є вододілом і місцем зародження численних малих і середніх річок. Глибина розчленування рельєфу Придніпровської височини долинами річок становить 70-120 м. Долини річок асиметричні, як правило правосторонні. Спостерігаються виходи гранітних порід кристалічного щита у вигляді скель, каньйонів, порогів у руслах рік,

найбільші з яких – Дніпровські пороги в руслі р. Дніпро, затоплені водами Дніпровського водосховища. Схили долин розрізані чисельними балками, ярами [9].

Придніпровська низовина заходить в межі області в напрямку з півночі на південний схід і займає долини і межиріччя рік Оріль і Самара. Загальний похил низовини направлений зі сходу і північного сходу на захід, південний захід, від Полтавської рівнини до долини р. Дніпро. Середня висота низовини 130 м, найвищі відмітки в межах області – 191 м, найменші – 52–64 м у заплаві Дніпра. Правостороння асиметричність долин річок тут більше виражена, ніж у межах Придніпровської височини. Як правило праві притоки, балки, яри рік короткі і круті, ліві – видовжені і пологі. Добре виражено в межах низовини терасування долин рік Дніпро, Оріль, Самара, в долинах рік багато озер та боліт [9].

На південному сході поверхня поступово підвищується, тут починаються відроги Донецького кряжу і Приазовської височини, звідки витікають річки Самара, Вовча і більшість їх приток. У цьому місці, біля с. Просяна, знаходиться найвища точка Дніпропетровської області – 211 м.

На південному заході області, у межах Широківського і Апостолівського районів, розташована Причорноморська низовина. Загальний похил поверхні низовини направлений з півночі на південь, у напрямку занурення кристалічного щита. Поверхня низовини відзначається неглибоким розчленуванням рельєфу річковими долинами – 50–70 м. Середня відмітка земної поверхні низовини в межах області – 50 м, найменша – 16 м в долині р. Інгулець [9].

Рельєф характеризується широкими плоскими межиріччями, неглибокими, пологими долинами рік і балок. На території низовини по широких межиріччях мають розповсюдження подові форми рельєфу – широкі безстічні зниження, які періодично заповнюються талими водами.

Значний рельєфоутворюючий вплив в межах області здійснюють водосховища Дніпровського каскаду. Завдяки дії хвильової абразії

утворились круті урвисті береги та кручі висотою 5–15 м, іноді до 30 м, виникли намиті пляжі. Вздовж берегів поширені зсувні форми рельєфу. Одним із суттєвих факторів сучасного рельєфоутворення є антропогенний вплив, розвиток гірничорудної промисловості, утворення техногенних форм рельєфу – кар’єрів, відвалів гірських порід тощо.

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

Вся територія Дніпропетровської області відноситься до басейну Дніпра. Головна водна артерія – р. Дніпро перетинає область з півночі на південь, потім протікає вздовж південної межі області зі сходу на захід. Протяжність Дніпра в межах області – 261 км, площа водозбору – 31925 км². Головні притоки Дніпра: лівобережні – Оріль, Самара з Вовчою, Кільчень; правобережні – Мокра Сура, Базавлук, Інгулець з притоками Вісунь і Саксагань (всі вони належать до класу середніх річок). Басейни рік Мокра Сура і Базавлук розташовані повністю в межах області, інші – виходять за її межі [9].

Озер в області нараховується близько 200, їх загальна площа більше 25 км². Озера розташовані переважно в долинах рік Оріль, Самара, Вовча. Найбільші з них: Солоний Лиман біля с. Новотроїцьке – 265 га, Козачий Лиман біля с. Гупалівка – 133 га і Ковпаківський Лиман біля с. Ковпаківка – 130 га.

На території області розташовані частини трьох водосховищ Дніпровського каскаду: Дніпродзержинське, Дніпровське і Каховське, які належать до класу надвеликих (об’єм більше 1 млрд. м³). Крім того, в області розташоване одне велике водосховище (Карачунівське на р. Інгулець), 9 середніх і 96 малих. Загальна кількість водосховищ – 109, їх об’єм становить 8,04 млрд.м³, площа водного дзеркала – 1140 км². Ставків в області нараховується 2,72 тис. шт., загальна площа водного дзеркала 193 км².

По території області проходять траси каналів Дніпро–Донбас і Дніпро–Кривий Ріг. Вони призначені для водопостачання промислових центрів Криворіжжя і Центрального Донбасу. Потужний водогін Дніпро–Західний Донбас забезпечує водопостачання східних районів області [9].

Ґрунти. Ґрунтовий покрив області сформувався в умовах посушливого степового клімату, під впливом переважно степової рослинності – різнотравно-типчакowo-ковилових степів на більшій частині області і типчакowo-ковилових степів – на крайньому південному заході. Материнською породою для розвитку ґрунтового покриву послужили переважно еолово-делювіальні четвертинні відкладення у вигляді суглинків легкого, середнього і важкого мінерального складу, які вкривають майже всю територію області. Частка інших типів підстильних порід незначна.

Основу ґрунтового покриву області складають чорноземи звичайні, що відрізняються як за потужністю гумусового шару, так і за механічним складом – від важкосуглинкових до легкоглинистих. На їхню частку припадає близько 74 % всієї площі сільськогосподарських угідь. Ґрунти мають високу потенційну родючість та здатність забезпечувати сільськогосподарські культури певною кількістю елементів живлення [9].

При переміщенні з півночі на південь області, чорноземи звичайні малогумусні потужні переходять спочатку в середньопотужні, потім – в малогумусні, а останні – у чорноземи південні.

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

Чорноземи південні розповсюджені на правобережжі, на крайньому південному заході області на території Широківського і Апостолівського

районів. Ґрунти також відзначаються високою родючістю і використовуються під рілля.

Чорноземи лучні, лучно-чорноземні та лучні ґрунти розповсюджені у заплавах річок та на надзаплавних терасах. Використовуються під рілля, сінокоси, пасовища [9].

1.2 Кліматичні та агрокліматичні умови

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

Однією з особливостей клімату Дніпропетровщини є значні коливання погодних умов з року в рік. Помірно вологі роки змінюються різко посушливими, які нерідко посилюються дією суховіїв. Взагалі клімат характеризується відносно холодною зимою з нестійким сніговим покривом та жарким, посушливим літом.

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

Абсолютний мінімум температури повітря по області відмічався у січні 1987 року і становив 33,7°C морозу (М Павлоград), абсолютний максимум – 40,4°C тепла відмічався у липні 2002 року (М Лошкарівка) [9].

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

Зимовий період на Дніпропетровщині триває 87–99 днів – з 27 листопада – 1 грудня, коли відбувається стійкий перехід середньої добової температури повітря через 0oC у бік похолодання і починається зима, до 25

лютого – 5 березня, коли відбувається стійкий перехід середньої добової температури повітря через 0°C у бік потепління – починається весна [9].

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

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

Літній період (із середніми добовими температурами повітря 15 °C і вище), триває в області 121–136 днів – з 12–17 травня до 15–25 вересня. Середня сума позитивних температур повітря вище 15°C за цей період змінюється від 2320°C на заході області до 2725°C на півдні.

Середня обласна кількість опадів за рік становить 523 мм, змінюючись по території від 460 до 607 мм. Кількість опадів по роках змінюється від 253 до 914 мм. У теплий період року (квітень–жовтень) опадів випадає 282–386 мм або 60–68 % від річної кількості. У найбільш посушливі роки їх випадає в півтора – два рази менше. Недобір опадів порівняно з нормою, особливо в сукупності з високими температурами, обумовлює ґрунтову засуху [9].

Режим зволоження території області створює в цілому позитивний баланс вологи в ґрунті. Але, значну повторюваність мають ґрунтові засухи, які негативно впливають на розвиток сільськогосподарських культур.

Суворі атмосферна засуха (ГТК становить 0,4–0,6), яка звичайно поєднується із ґрунтовою у період активної вегетації сільськогосподарських культур, буває здебільшого у 10–15% років, на півдні області – у 40% років. У 50–60% років відмічається дуже посушливий липень та серпень (ГТК менше 0,7) [9].

Тривале бездощів'я, що нерідко спостерігається у період активної вегетації рослин, посилює сухість повітря. Відносна вологість повітря у теплий період року по області коливається від 60% весною до 80% восени, а кількість днів із відносною вологістю повітря 30% та менше за цей період становить здебільшого 30–44, лише місцями на сході області – 18–19 днів.

Середня багаторічна дата перших осінніх заморозків по області у повітрі – 5–15 жовтня, а останніх весняних заморозків – 15–26 квітня.

Найпізніший весняний заморозок у повітрі зафіксовано 21 травня 2002 року, а на ґрунті – 27 травня 2001 року. Найбільш ранній осінній заморозок у повітрі відмічався 19 вересня 1987 року, а на ґрунті – 9 вересня 1991 та 1998 року. Середня тривалість беззаморозкового періоду по області у повітрі становить 164–188 днів, на поверхні ґрунту – 140–165 днів [9].

У вегетаційний період на території області відмічається від 11 до 23 днів із суховіями різної інтенсивності. Серед інших несприятливих для сільськогосподарських культур явищ погоди на території області у вегетаційний період відмічаються град, сильний вітер, дуже сильний дощ та зливи.

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

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

Взимку, зазвичай, спостерігаються відлиги, кількість днів з якими за період грудень – лютий по області коливається від 45 до 56. Відлиги, які тривають більше 5 днів поспіль, зумовлюють порушення зимового спокою озимини, що призводить до зниження морозостійкості рослин.

Після тривалих відлиг за наявності снігового покриву існує велика ймовірність його руйнування, що сприяє утворенню льодяної кірки на полях. Небезпечна для посівів льодяна кірка товщиною 10 мм і більше та тривалістю залягання три декади і більше відмічається у 10% років (два рази за 20 років).

За сукупністю показників агрокліматичних ресурсів у період активної вегетації сільськогосподарських культур (суми позитивних температур повітря, кількості опадів та гідротермічного коефіцієнта) територію Дніпропетровської області поділено на три агрокліматичних райони. Карта-схема агрокліматичного районування представлена на рис. 1.1, а легенда до неї – у табл. 1.1 [9].

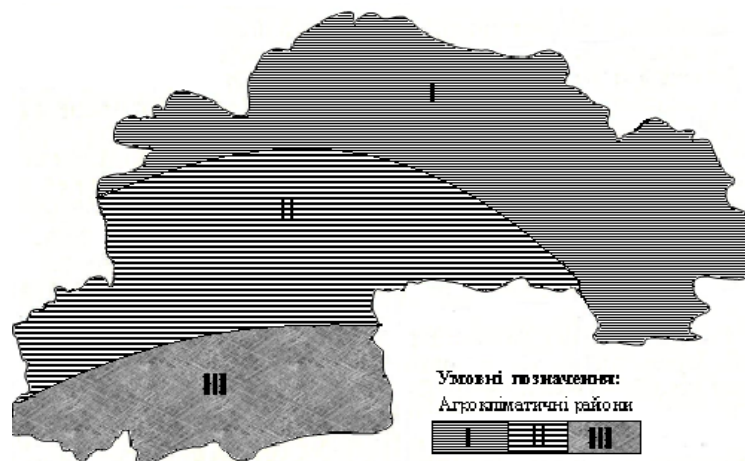


Рисунок 1.1 – Карта-схема агрокліматичного районування території Дніпропетровської області [9]

До північно-східного району відносяться Васильківський, Магдалинівський, Межівський, Новомосковський, Павлоградський,

Петропавлівський, Покровський, Царичанський та Юр'ївський адміністративні райони. Стійкий сніговий покрив відмічається не кожний рік.

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. Північно-східний (високо-го рівня теплозабезпечення, нестійкого зволоження)	3000-3050	300-330	1,0-1,1
II. Центральний (високого рівня теплозабезпечення, недостатнього зволоження)	3060-3160	260-290	0,8-0,9
III. Південний (високого рівня теплозабезпечення, посушливий)	3190-3360	230-240	0,7

Таблиця 1.1 – Показники агрокліматичних районів [9]

До центрального району відносяться Верхньодніпровський, Дніпропетровський, Криворізький, Криничанський, Петриківський, П'ятихатський, Синельниківський, Солонянський та Софіївський адміністративні райони. Стійкий сніговий покрив тут у 20-40% зим відсутній.

У південний район входять Апостолівський, Нікопольський, Томаківський та Широківський адміністративні райони. Стійкий сніговий покрив у 65 % зим у цьому районі відсутній [9].

2 БОТАНІЧНА, БІОЛОГІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КУЛЬТУРИ МІСКАНТУСУ

2.1 Міскантус як перспективна енергетична рослина в Україні

В теперішній час використання деревини в якості біопалива є найменш кваліфікованим напрямком, тому перспективним на світовому ринку є виробництво паливних гранул - пелет. Тривале відновлення лісу вимагає пошуку альтернативних джерел сировини, що містить целюлозу та характеризується високим виділенням теплової енергії, щорічною відтворюваністю, невисокою вартістю і здатністю замінити вирубку деревини на паливні цілі.

Перспективним джерелом отримання пелет є деякі види рослин, в тому числі міскантус гігантський. Ця рослина нового покоління енергетичних культур з підвищеною стійкістю, урожайністю і хімічним складом, застосування якого дозволить отримувати високоякісний енергетичний продукт [11].

Використання біопелет з міскантусу в якості альтернативного джерела енергії дозволить вирішити одночасно як екологічні проблеми, так і проблеми енергоспоживання. Крім того, результати досліджень [12] дозволяють припустити можливість вирощування цієї рослини на ерозійно-небезпечних ділянках, а також характеризувати міскантус як культуру досить стійку до несприятливих умов середовища, володіючи підвищеною ефективністю використання вологи і високою зимостійкістю.

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* [13].

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 [14, 15].

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 спалюванні 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) [16, 17]. Це пов'язано як з цінними хімічними властивостями його біомаси, так і з характерними для цієї рослини високими

темпами зростання і колосальної 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 [18, 19].

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 [11].

Дослідженнями [20] 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.

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». 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*) [15].

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» [14].

Кількість заявок на реєстрацію нових сортів міскантусу, а відповідно, й кількість зареєстрованих сортів з кожним роком стрімко зростає. В 2015 р. науковці ІБКіЦБ отримали свідоцтва про держреєстрацію сортів міскантусу гігантського Осінній зорецвіт і Снігова королева [22].

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 [14, 15].

Міскантус – багаторічна високостеблова прямостояча рослина, за літературними даними висота стебла становить від 2 до 3,5 м [2]. 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 [2].

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, листові пластинки опушені [2].

Рослини *M. giganteus* мають пухкокущовий тип кушіння. Однак селекціонери не виключають можливість появи форм рослин з кореневищним та щільнокущовим типом кушіння [15].

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 [15]. За даними [22] 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 [4].

Дослідження [23] показали, що в умовах Підмосков'я для опалення котеджного селища в 100 будинків необхідна площа землі близько 100 га, щоб виростити необхідну кількість біомаси міскантусу. Якщо вирощувати міскантус недалеко від споживача, наприклад, від котеджного селища, скорочуються витрати на далекі перевезення. В цьому випадку опалення на пелетах стає в 1,7 рази економічно ефективніше, ніж використання дизпалива.

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 [24, 25]. Міскантус чутливий до якості ґрунту, тому на родючих ґрунтах урожай сухої речовини може доходити до 30 т/га за рік, а на бідних – ледь досягати 10 т/га за рік. [26].

В процесі росту культура потребує невеликої кількості добрив (50-70 кг/га азоту в рік) завдяки своїй здатності ефективно використовувати поживні речовини [26]. Енергоплантації міскантусу перші 3–4 роки підживлюються з розрахунку 100–200 NPK по діючій речовині з переважанням азоту. В наступні роки норми внесення добрив зменшуються [2].

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 [27]. Дослідження [28] показали, що в умовах

недостатнього зволоження найменша продуктивність сирії та сухої маси міскантусу першого року життя відмічалась у рослин, де внесення гербіцидів не проводилося, а найбільша – з внесенням системних гербіцидів. Урожайність сирії 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 [11]. 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 [24].

Небезпеку становлять заморозки в період пізньої весни, в результаті яких гинуть пагони і скорочується загальний період росту культури [24]. 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% [11].

Весняні заморозки призводять лише до незначної втрати врожаю завдяки високій регенераційної здатності рослин. Надалі рослина адаптується і добре переносить зимівлю. В наслідок семирічного досвіду вирощування міскантусу, автори [11] 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].

Важливо підкреслити, що плантації міскантусу істотно перевершують по ефективності накопичення біомаси найкращі ліси помірної зони Євразії [11].

Для нормального росту та розвитку культури необхідно близько 700 мм опадів на рік [11], а за даними [29] 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 [11].

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 ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ МІСКАНТУСУ (MISCANTHUS)

3.1 Сучасні дослідження змін клімату

Клімат у світі змінюється швидше, ніж свого часу прогнозували науковці. Після підписання Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату з 2016 р. в Україні вступив у дію Закон № 1469 Про ратифікацію Паризької угоди [30]. 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.

Паризька угода визнає, що зміна клімату є спільною проблемою людства. Головним шляхом зміцнення глобального реагування на загрозу зміни клімату є стримання зростання глобальної середньої температури значно нижче 2° С понад доіндустріальні рівні і докладання зусиль з метою обмеження зростання температури до 1,5° С понад доіндустріальні рівні. Передбачається, що це суттєво знизить ризики та наслідки зміни клімату.

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 [31]. 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 даній кваліфікаційній роботі для кліматичних розрахунків використовується два з набору сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP).

Репрезентативні траєкторії концентрації (RCP) - це набір чотирьох нових шляхів, розроблених в якості основи для довгострокових та короткострокових експериментів з моделювання клімату. Сценарії RCP є продуктом інноваційної співпраці фахівців в галузях моделювання інтегрованої оцінки, кліматичного моделювання, моделювання наземних екосистем та експертів з інвентаризації викидів [32].

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) [332].

За даними Робочої групи Міжурядової групи експертів зі змін клімату, зміна глобальної приземної температури наприкінці XXI-го століття, ймовірно, перевищить $1,5^\circ\text{C}$ в порівнянні з періодом 1850-1900 рр. у всіх сценаріях RCP, крім RCP2.6. Воно перевищить, ймовірно, 2°C в сценаріях RCP6.0 і RCP8.5 і, швидше за ймовірно, ніж ні, перевищить 2°C в сценарії RCP4.5. Потепління триватиме після 2100 року згідно всім сценаріями RCP, крім RCP2.6. Потепління буде продовжувати демонструвати мінливість на інтервалах від року до десятиріччя і в регіональному масштабі не буде однорідним [33]. Також RCP охоплюють дуже широкий діапазон прогнозів сценаріїв використання земель. Використання насаджень та луків за сценарієм RCP8.5 зростає, в основному за рахунок зростаючого світового населення. Урожай також зростає в RCP2.6, але значною мірою внаслідок виробництва біоенергії. Використання пасовищ є більш-менш постійними в RCP2.6, оскільки збільшення виробництва продуктів тваринного походження задовольняється шляхом переходу від екстенсивного до більш інтенсивного

розвитку тваринництва. Сценарій RCP6 передбачає збільшення кількості врожаю, але падіння продуктивності пасовищ. Це зниження відбувається за аналогічною тенденцією, яку відмічали для RCP2.6, але із значно сильнішою реалізацією.

Нарешті, RCP4.5 показує чіткий перелом у глобальному землекористуванні на основі припущення, що вуглець у природній рослинності буде оцінено як частину глобальної кліматичної політики.

В результаті програм лісовідновлення, використання сільськогосподарських земель та пасовищ зменшується після значного збільшення врожаю. В порівнянні з загальною літературою стосовно різних сценаріїв змін клімату, діапазон, на який поширюються RCP, ширший, тому що він включає не лише шляхи постійного розширення використання земель сільськогосподарського призначення, але й ті, які показують скорочення сільськогосподарських земель [32].

3.2 Зміна агрокліматичних умов вегетаційного періоду міскантусу за сценарієм RCP6.0

Як правило дослідження змін агрокліматичних показників вирощування для будь-якої сільськогосподарської культури проводять за міжфазними періодами. 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 [28] 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 [15, 20].

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*) [15].

Тому для визначення окремих фаз розвитку міскантусу ми користувалися даними літературних джерел [15, 28, 34]. 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 [10]. Тому у якості об'єкту дослідження було обрано посіви міскантусу третього року життя.

Хід середньодекадних температур протягом вегетаційного періоду міскантусу за базовими та сценарними даними представлений на рис. 3.1. Можна бачити, що сценарні температури протягом всього вегетаційного періоду мають набагато більші значення за базові. Так, самий жаркий місяць вегетаційного періоду – липень. Подекадно сценарні температури липня становитимуть 24,4, 25,4 і 24,8°C відповідно. У той же час аналогічні значення температури за базовим варіантом становлять 21,3, 22,2 і 22,1°C.

Основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду міскантусу для Північного Степу у таблиці представлені у таблиці 3.1. Розрахунки

виконувались на прикладі Дніпропетровської області. Дослідження впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування та урожайність проводилися шляхом порівняння показників за базових умов та за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP6.0 за період 2021-2050 рр.

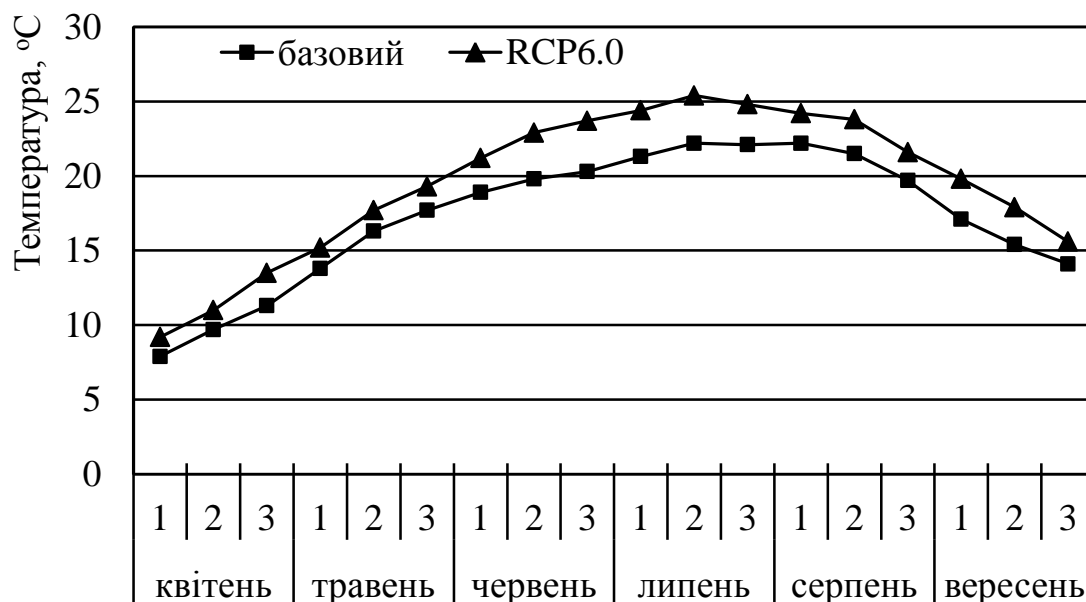


Рисунок 3.1 – Динаміка середньодекадних температур повітря за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з базовим варіантом

Відновлення вегетації плантацій міскантусу в Північному Степу починається за середніми багаторічними даними 18.04. За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP6.0 строки відновлення вегетації міскантусу у Північному Степу суттєво зміняться у порівнянні з базовими. Відновлення вегетації очікується 11 квітня, тобто на 7 днів раніше ніж за базових умов. Сума активних температур, що накопичується за вегетаційний період, становить за базових умов 3114°C. За сценарними умовами вона буде набагато більшою і становитиме 3723°C.

Відповідно збільшується і середня температура за вегетацію. За базових умов вона становить 17,7°C, за сценарних очікується вище на 1,8°C, а саме становитиме 19,5°C. Можна сказати, що температурні умови вегетації за змін клімату дещо покращаться.

Оскільки головним джерелом поповнення запасів ґрунтової вологи є опади, ми порівняли декадні значення суми опадів за базовим та сценарним варіантами. Результати представлені на рис. 3.2. За середньобагаторічними даними протягом вегетаційного періоду міскантусу у Північному Степу випадає 273 мм опадів. За сценарним варіантом їх очікується практично стільки ж – 264 мм. Це всього на 9 мм або 3% менше за базовий варіант.

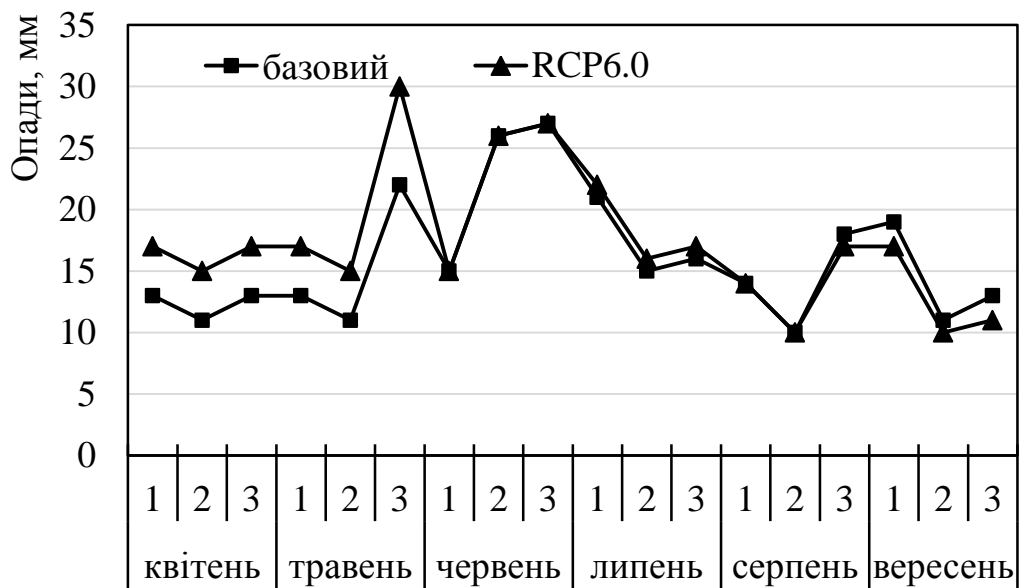


Рисунок 3.2 – Динаміка декадних сум опадів за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з базовим варіантом

Базова величина сумарного випаровування (фактичного вологоспоживання) міскантусу становить 365 мм, базове значення вологопотреби міскантусу (випаровуваності) становить 711 мм. Базове значення дефіциту вологи (різниця випаровуваності E_0 та випаровування E) становить 346 мм. За умов реалізації сценарію RCP6.0 дефіцит вологи протягом вегетації становитиме 487 мм, тобто збільшення дефіциту становитиме відповідно 141 мм або 41%. При цьому величина E збільшиться відповідно на 97 мм (27%) у порівнянні з базовою і становитиме 462 мм. Величина E_0 також збільшиться до значення 949 мм, що на 239 мм або 33%

Таблиця 3.1 – Агрометеорологічні умови вегетації міскантусу у Північному Степу в порівнянні з умовами за сценарієм RCP6.0 зміни клімату

Період, сценарій	Дата відновлення вегетації	Середня температура повітря за період, °С	Сума опадів за період, мм	Сумарне випаровування за період (E), мм	Випаровуваність за період, (E ₀), мм	Відносна вологозабезпеченість (E/E ₀), %	Середній за період ГТК, відн. од.	Сума ФАР, кДж/см ² за період
1980-2010	18.04	17,7	273	365	711	50	0,88	160,4
RCP6.0	11.04	19,5	264	462	949	49	0,87	203,3
Різниця	-7	1,8	-9	97	239	-1	-0,01	42,9
Різниця, %			3	27	33			27

більше базового значення. Тобто величини E та E_0 за сценарієм RCP6.0 майже однаково збільшаться.

У зв'язку з таким суттєвим і однаковим збільшенням обох складових, сценарна вологозабезпеченість вегетаційного періоду міскантусу практично не зміниться і становитиме 49% проти 50% базових. Практично не зміниться і величина ГТК: з 0,88 до 0,87 відн. од.

Динаміка сум ФАР у посадках міскантусу протягом вегетаційного періоду за базовими та сценарними умовами надається на рис 3.3. Описуючи загальний хід сум ФАР можна відмітити наступне: величини ФАР протягом сценарного періоду набагато більше, ніж за базових умов. Так, у початковий період вегетаційного циклу, який, як правило починається у рослин другого року життя наприкінці квітня з відростання, рівень ФАР за базовими умовами складає 190 кал/(см² ·дек), а за умов сценарію RCP6.0 початкове значення ФАР становить 220 кал/(см² ·дек).

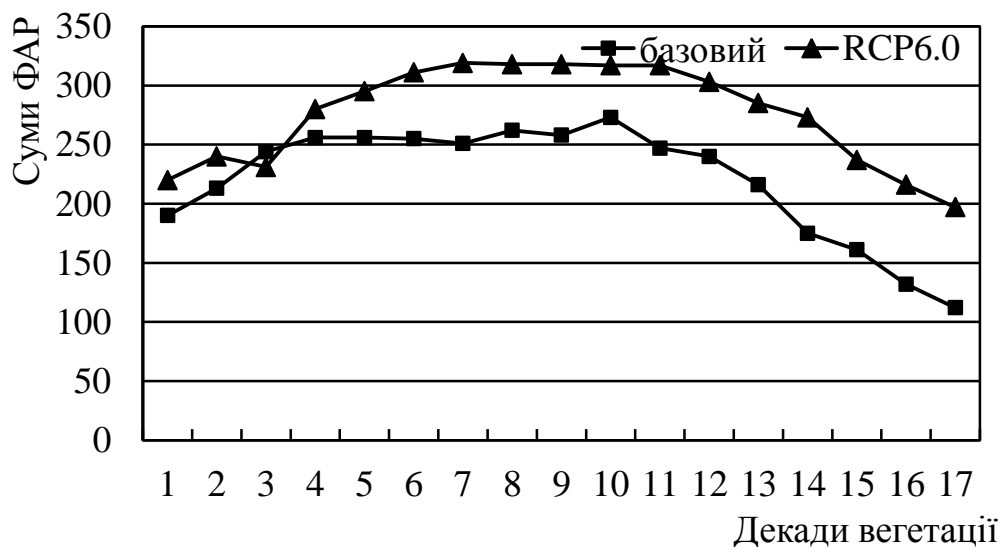


Рисунок 3.3 - Динаміка сум ФАР (кал/см² ·доба) за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з базовими умовами

Кущіння, як правило, відбувається у II-III декадах червня й характеризується зростанням кривої до 251-255 кал/(см² ·дек) у базовий період та до 318-319 кал/(см² ·дек) протягом сценарного періоду. Вихід у

трубку у рослин міскантусу спостерігається, згідно з дослідженнями [15], у II-III декадах серпня. У цей період величина ФАР за базових умов зменшується до $216 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{дек})$, а за сценарних – до $237 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{дек})$.

Загальний прихід ФАР за вегетаційний період за середніми багаторічними даними складає $160,4 \text{ кДж}/\text{см}^2$ (табл. 3.1). За сценарієм RCP6.0 протягом 2021-2050 рр. прихід ФАР очікується набагато більше за базовий – $203,3 \text{ кДж}/\text{см}^2$, що на $42,9 \text{ кДж}/\text{см}^2$ більше. У відсотковому співвідношенні таке збільшення є досить суттєвим і становить 27%.

3.3 Зміна агрокліматичних умов вегетаційного періоду міскантусу за сценарієм RCP8.5

Сценарій RCP8.5 вважається найбільш агресивним зі всієї родини сценаріїв RCP. Він відповідає підвищенню концентрації парникових газів 1370 р.р.м [32]. Агрометеорологічні умови вегетації міскантусу за умов реалізації сценарію RCP8.5 представлені у табл. 3.2. Динаміку середньодекадних температур за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовими значеннями представлено на рис. 3.4. У протилежність попередньому варіанту можна бачити, що сценарні температури дещо менші зв базові у першій половині вегетації і практично дорівнюють базовим у другій половині вегетації. Так, базові температури червня становили 18,9, 19,8 і $20,3^\circ\text{C}$ відповідно. Сценарні температури становитимуть відповідно 17,2, 19,0 і $19,6^\circ\text{C}$, тобто вони будуть на 1,7, 0,8 і $0,7^\circ\text{C}$ менші за аналогічні значення температури за базовим варіантом.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5 очікується дещо більш пізній термін відновлення вегетації міскантусу - 20 квітня. Таким чином, різниця в термінах у порівнянні з базовим варіантом становитиме лише 2 дні. Сума активних температур, що накопичується за вегетаційний період, становить за базових умов 3114°C , за сценарними умовами вона практично не зміниться і становитиме 3092°C .

Таблиця 3.2 – Агрометеорологічні умови вегетації міскантусу у Північному Степу в порівнянні з умовами за сценарієм RCP8.5 зміни клімату

Період, сценарій	Дата відновлення вегетації	Середня температура повітря за період, °С	Сума опадів за період, мм	Сумарне випаровування за період (E), мм	Випаровуваність за період, (E ₀), мм	Відносна вологозабезпеченість (E/E ₀), %	Середній за період ГТК, відн. од.	Сума ФАР, кДж/см ² за період
1980-2010	18.04	17,7	273	365	711	50	0,88	160,4
RCP6.0	20.04	18,0	202	275	787	35	0,65	183,3
Різниця	2	0,3	-71	-90	76	-15	0,23	22,9
Різниця, %			26	25	11			14

Середня за вегетаційний період температура повітря за умов реалізації сценарію RCP8.5 очікується, практично така ж, як і базова – 18,0°C проти базових 17,7°C.

Динаміка декадних сум опадів представлена на рис. 3.5. Можна бачити, що за сценарним варіантом посіви міскантусу отримують набагато меншу кількість опадів.



Рисунок 3.4 – Динаміка середньодадніх температур повітря за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовим варіантом

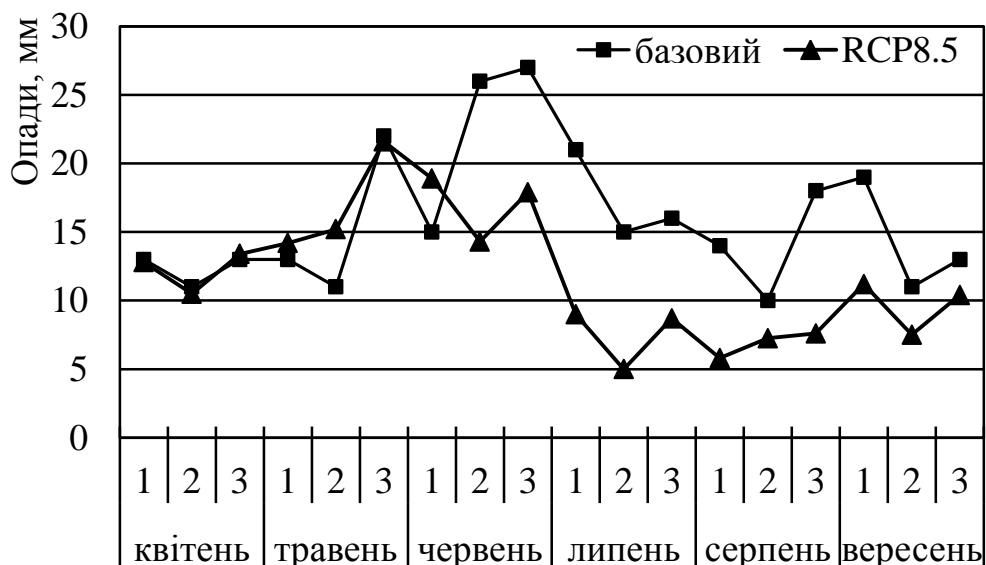


Рисунок 3.5 – Динаміка декадних сум опадів за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовим варіантом

Сценарні декадні суми набагато менші за базові, виключення становлять лише друга декада травня і перша декада червня, коли сценарні опади будуть більше. Також виключення складає третя декада травня, коли базові і сценарні суми опадів були практично однакові.

За цим сценарієм очікується набагато менша кількість опадів за вегетацію міскантусу, яка становитиме лише 202 мм, що менше за базову на 71 мм (26 %). Величина E зменшиться в умовах зміни клімату на 90 мм (25%) у порівнянні з базовою і становитиме 275 мм. Величина E_0 збільшиться до значення 787 мм, що на 76 мм або 11% більше базового значення.

Також суттєво збільшиться дефіцит вологи протягом вегетації. Він становитиме 512 мм замість базового 646 мм (тобто збільшення дефіциту становитиме відповідно 166 мм або 48%). У зв'язку з тим, що сценарна величина випаровування дуже суттєво зменшиться, а сценарна величина випаровуваності дуже суттєво збільшиться, відносна вологозабезпеченість вегетаційного періоду міскантусу за умов реалізації сценарію RCP8.5 також суттєво зменшиться (E/E_0): з 50 до 35 %. Досить суттєво зменшиться і величина ГТК: з 0,88 до 0,65 відн. од.

Динаміка сум ФАР у посадках міскантусу протягом вегетаційного періоду за базовими та сценарними умовами представлена на рис 3.6.

Як вже відзначалось, за базових умов на початку вегетації величина ФАР не перевищує 195 кал/см². дек. Потім спостерігається різке збільшення величини ФАР протягом другої-четвертої декад, і до дев'ятої декади ФАР практично знаходилась на рівні 250 кал/см². дек. У десятю декаду вегетації, максимальне значення становить 258 кал/см². дек, а після десятої декади вегетації інтенсивність ФАР різко зменшується і на кінець вегетації її величини не перевищують 120 кал/см². дек. За сценарієм RCP8.5 у цілому хід сценарних величин ФАР аналогічний базовому. Період максимального надходження ФАР за сценарних умов припадає на 9-11 декади вегетації,

коли її величина становитиме 303-308 кал/см². дек, тобто на 50 кал/см². дек більше.

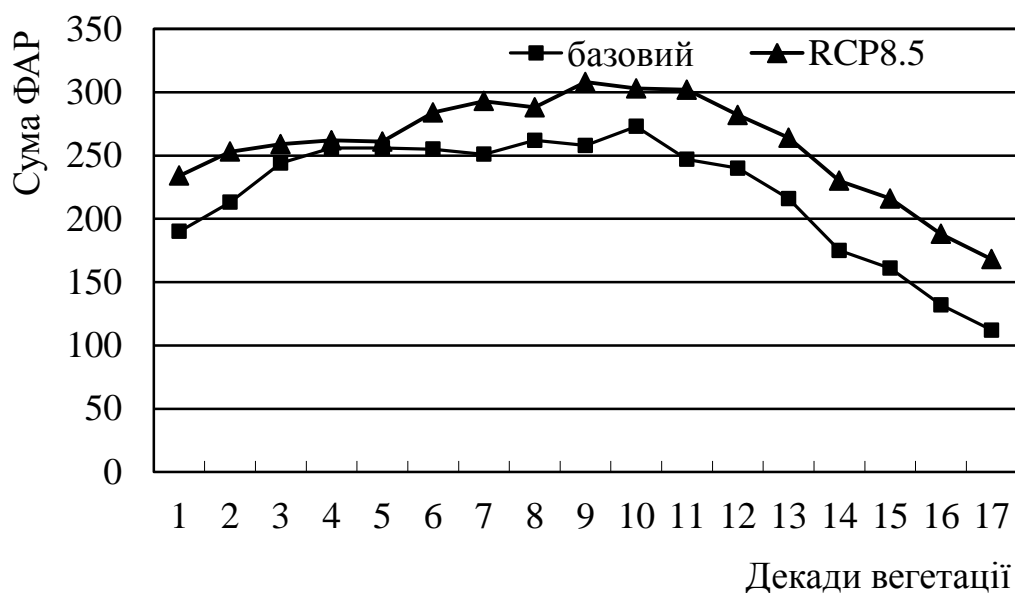


Рисунок 3.6 - Динаміка сум ФАР (кал/см². доба) за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовими умовами

До кінця вегетації подекадна різниця сум ФАР за базовим та сценарним варіантом становитиме близько 50 кал/см². дек. На останню декаду вегетації за базовим варіантом ця величина становить 123 кал/см². дек., а за базовим – 168 кал/см². дек, тобто на 45 кал/см². дек більше.

Сума ФАР за вегетаційний період міскантусу за сценарієм RCP8.5 становить 183,3 кДж/см², що на 22,9 кДж/см² більше базової суми (табл. 3.2). У відсотковому співвідношенні таке збільшення є досить суттєвим і становить 14%.

4 ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ МІСКАНТУСУ

4.1 Базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів

Визначення впливу змін клімату на продуктивність посівів міскантусу проводиться за допомогою базової моделі оцінки агрокліматичних ресурсів. Проводилось порівняння показників, отриманих при розрахунках за базовими даними та за даними сценарними. Для ідентифікації параметрів моделі були використані дані літературних джерел [15, 27, 34].

Модель заснована на концепції максимальної продуктивності рослин Х.Г. Тоомінга [35], та запропонована в агрометеорології А.М. Польовим [36]. Базова модель, на основі якої виконувались наші розрахунки, має блочну структуру і містить такі блоки):

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

Розглянемо більш докладно основні блоки моделі.

4.1.1 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 саява, сума

опадів за декаду, середній за декаду дефіцит насичення повітря, кількість днів у розрахунковій декаді.

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

4.1.2 Блок показників сонячної радіації і волого-температурного режиму

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

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

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

SS – середня за декаду кількість годин сонячного сяйва;

j – номер розрахункової декади;

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

Для розрахунку випаровуваності E_0 використовується метод А.М. Алпатьєва:

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

де DWW – середній за декаду дефіцит насичення повітря;

dv – кількість днів у розрахунковій декаді.

Сумарне випаровування визначається за формулою С.І. Харченко

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

де E – сумарне випаровування, мм;

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

O_S – сума опадів за декаду, мм;

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

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

За допомогою наступного співвідношення розраховується інфільтрація у нижні шари ґрунту

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

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

Для розрахунку запасів продуктивної вологи на схилі використовується рівняння водного балансу

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

4.1.3 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

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

де величина α_{Φ} знаходиться за виразом

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

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

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

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

TS_2 – сума ефективних температур, °С.

Функція впливу температури повітря на продукційний процес рослин визначається як

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

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

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

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

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

T_s – температура повітря на горизонтальній поверхні, °C.

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

Функція впливу вологості ґрунту на фотосинтез γ_ϕ знаходиться як

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

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

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

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

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

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

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

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

де FW – відносна вологозабезпеченість посівів, відн. од.

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

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

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

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

4.1.4 Блок родючості ґрунту і забезпеченості рослин мінеральним живленням

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Аналогічно визначаються функції впливу забезпеченості фосфором FW_P і калієм FW_K .

Вплив режиму зволоження ґрунту на ефективність добрив враховується за виразом:

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

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

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

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

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 розраховується за принципом Лібіха

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

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

4.1.5 Блок агроекологічних категорій урожайності

Потенційна урожайність (ПУ) теоретично може бути отримана на високородючих ґрунтах, за оптимального рівня агротехніки та ідеальних погодних умов. Прирости ПУ загальної біомаси за декаду визначається в залежності від інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР) і біологічних особливостей культури з врахуванням впливу на інтенсивність фотосинтезу посадок віку рослин

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

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

α_ϕ – онтогенетична крива фотосинтезу, відн. од.;

η – КПД посівів, відн. од.;

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

q – калорійність.

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

$$\frac{\Delta \text{ММУ}^j}{\Delta t} = \frac{\Delta \text{ПУ}^j}{\Delta t} \cdot \text{FTW}_2, \quad (4.25)$$

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

FTW_2 – узагальнена функція впливу волого-температурного режиму, відн. од.

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

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

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

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

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

$$\frac{\Delta \text{УВ}^j}{\Delta t} = \frac{\Delta \text{ДМУ}^j}{\Delta t} k_{земл} FWM_{ef}^j, \quad (4.27)$$

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

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

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

4.2 Вплив змін агрокліматичних умов на фотосинтетичну продуктивність міскантусу за умов реалізації сценарію RCP6.0

Зміни агрокліматичних умов вирощування в зв'язку з очікуваними змінами клімату у Північному Степу, описані в розділі 3, зумовлять і зміни показників фотосинтетичної продуктивності посадок міскантусу. Зміняться динаміка формування площі листової поверхні та величини фотосинтетичного потенціалу посівів (ФСП), чистої продуктивності фотосинтезу та приростів біомаси.

Зміна цих складових формування урожаю призведе до зміни величини загальної сухої біомаси урожаїв різних агроєкологічних категорій: потенційного (ПУ), метеорологічно-можливого (ММУ), дійсно можливого (ДМУ) та виробничого урожаю за 19% вологості.

Оскільки саме ПУ будь-якої сільськогосподарської культури визначається величиною ФАР, збільшення приходу ФАР, яке очікується за сценарним варіантом, обумовить відповідне збільшення величин ПУ загальної сухої біомаси посівів міскантусу (табл. 4.1). При середніх багаторічних умовах вона складає 936 ц/га, в той час як за умов реалізації сценарію RCP6.0 вона суттєво збільшиться на 35 ц/га - до 971 ц/га (становитиме 104 % від базової).

На рис. 4.1 представлена динаміка середньодекадних приростів потенційної урожайності (Δ ПУ) міскантусу у залежності від добових сум ФАР. Можна бачити, що хід ФАР обумовлює прирости потенційної урожайності. Величини сум ФАР за базовим варіантом менші за сценарні, отже і базові значення приростів також менше.

Наприклад, майже всі величини базових приростів не перевищують 550 г/(м²·дек), тоді як за сценарним варіантом максимальні прирости ПУ коливаються в межах 650-665 (г/м²·дек). Виключення складає лише третя декада вегетації, коли величини базового і сценарного приростів майже однакові, але у цю декаду базові суми ФАР також практично дорівнюють сценарним, тому ця рівність є цілком природньою.

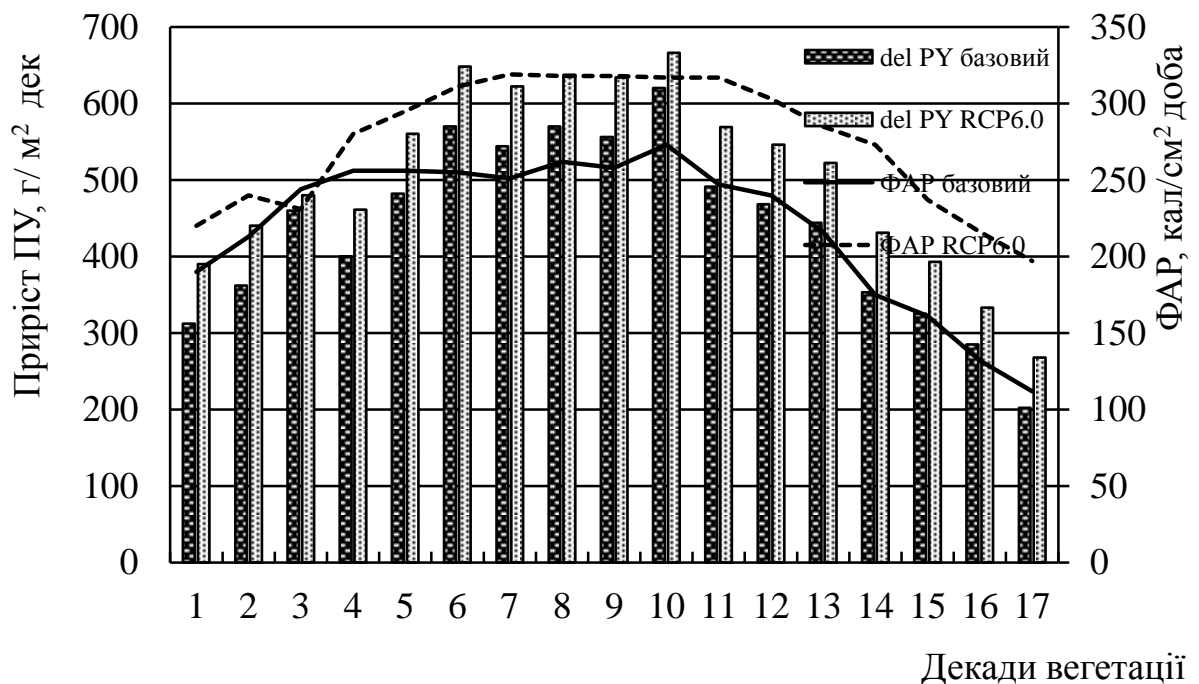


Рисунок 4.1 - Динаміка середньодекадних приростів потенційної урожайності (ΔПУ) міскантусу за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з базовими умовами

Таблиця 4.1 – Формування урожаю міскантусу за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з базовими умовами

Період, сценарій	Загальна суха маса, ц/га			Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ² за період	Урожай при 19% вологості, ц/га
	потенційного урожаю	метеорологічно можливого урожаю	дійсно можливого урожаю		
1980-2010	936	358	247	528	206
RCP6.0	971	411	284	645	237
Різниця	35	53	37	117	31
Різниця, %	4	15	15	22	15

До кінця вегетації ДПУ зменшується до $202 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$ за базових умов і до $268 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$ за сценарних.

На рисунках 4.2-4.3 представлені у динаміці показники зволоження вегетаційного періоду міскантусу - добові величини випаровування (E , мм) та випаровуваності (E_0 , мм) та добові значення вологозабезпеченості у вигляді співвідношення E/E_0 , відн.од. за базовий та сценарні періоди.

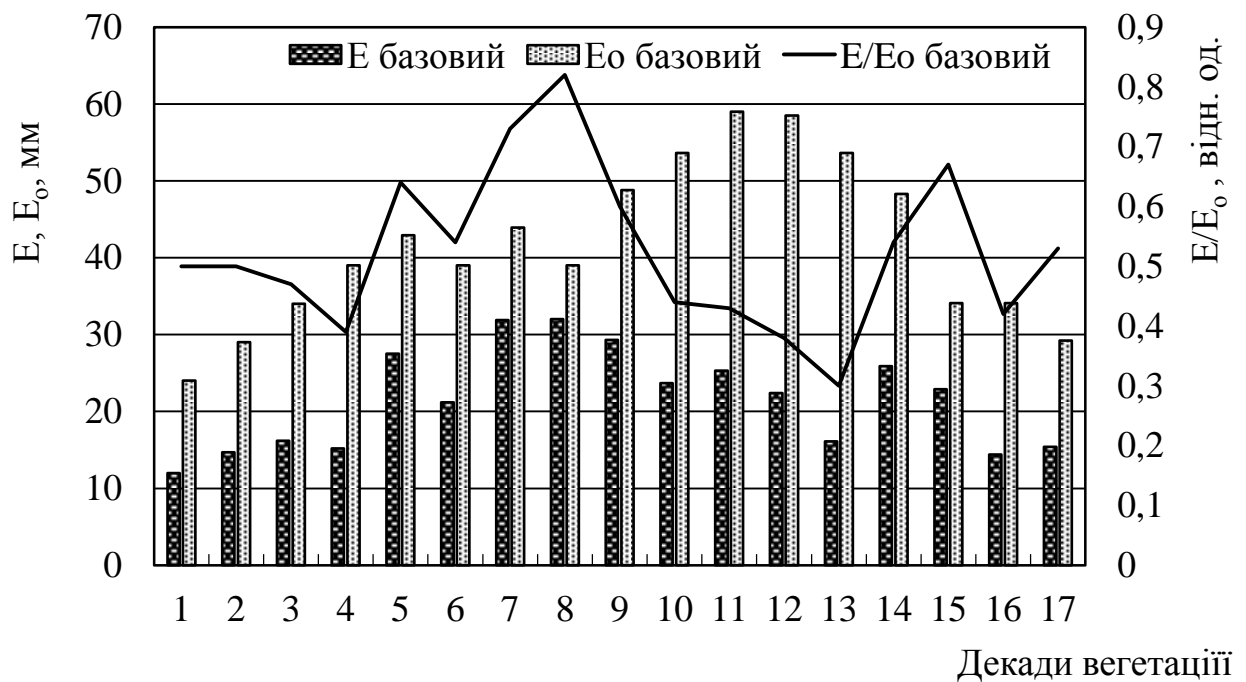


Рисунок 4.2 - Хід добових величин випаровування та випаровуваності протягом вегетації міскантусу, базовий період

За базових умов (рис. 4.2) сумарне випаровування в перші декади вегетації (період відростання) становить 12 мм за декаду, потім поступово зростає і у сьому-восьму декади досягає максимального значення - 32 мм. Протягом наступних декад випаровування зменшується і на кінець вегетації його значення становить 15 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 і динаміка показника вологозабезпеченості.

На початку вегетації міскантусу крива відношення E/E_0 знаходиться на позначці 0,50 відн.од. Далі значення поступово зменшуються, досягаючи найнижчого 0,40 відн.од. в четверту декаду вегетації, потім до восьмої декади значення вологозабезпеченості поступово зростають, досягаючи свого максимуму – 0,82 відн.од.

Після восьмої декади вегетації значення E/E_0 знову зменшуються і у середині серпня, коли у рослин відбувається вихід у трубку, спостерігається другий мінімум вологозабезпеченості, значення якої становить 0,30 відн.од. Наприкінці вегетації, завдяки зниженню добових температур та збільшенню кількості опадів у вересні, спостерігається збільшення вологозабезпеченості посівів до 0,67 відн.од. і в останню декаду вегетації вологозабезпеченість становить 0,53 відн.од.

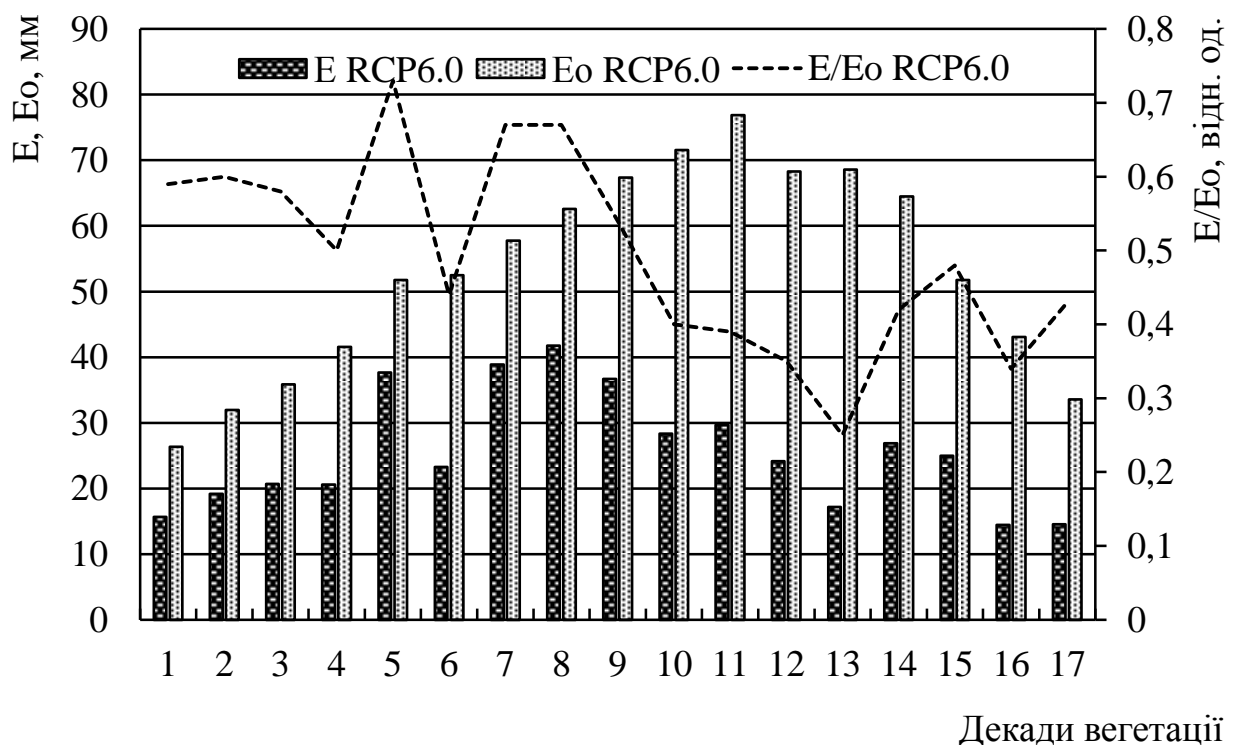


Рисунок 4.3 - Хід добових величин випаровування та випаровуваності протягом вегетації міскантусу, сценарій RCP6.0

За умов сценарного періоду (рис. 4.3) сумарне випаровування в першу декаду вегетації (початок відростання) є мінімальним і досягає всього 16 мм, протягом наступних трьох декад величина E збільшилася до 20 мм, потім, за винятком шостої декади, спостерігається збільшення сумарного випаровування, його максимальне значення становить у восьму декаду 42 мм. Протягом наступних декад значення випаровування поступово зменшується і на кінець вегетації не перевищують 15 мм.

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 12-13 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 0,25-0,35 відн.од. Але, у той же час треба відзначити, що період кушіння, який відбувається у міскантусу протягом II-III декад червня проходив при задовільних умовах зволоження, про свідчать значення E/E_0 у межах 0,67 відн.од.

На рисунку 4.4 представлена динаміка накопичення відносної площі листя посадок міскантусу у Північному Степу в умовах зміни клімату за сценарієм RCP6.0 в порівнянні з базовим періодом (1980-2010 рр.).

Оскільки вологозабезпеченість протягом вегетації за сценарієм RCP6.0 практично не змінилась, завдяки стабільності температурного режиму та збільшенню надходження ФАР, процес наростання площі листя (LL) проходить більш інтенсивно ніж за базових умов. Динаміка сценарного росту площі буде аналогічною динаміці росту за базових умов, але величини LL будуть дещо вищими.

Якщо в період максимального розвитку (це, як правило, 9-10 декада вегетації) за середніх багаторічних умов площа листя становить 4,99-5,15 м²/м², то для періоду 2021-2050 рр. за сценарієм RCP6.0 очікується

збільшення її величини до 5,8-5,9 m^2/m^2 . За базових умов ФСП (фотосинтетичний потенціал посіву) становить 528, для сценарних умов за сценарієм RCP6.0 очікується збільшення його величини до 6455,8-5,9 m^2/m^2 (табл. 4.1).

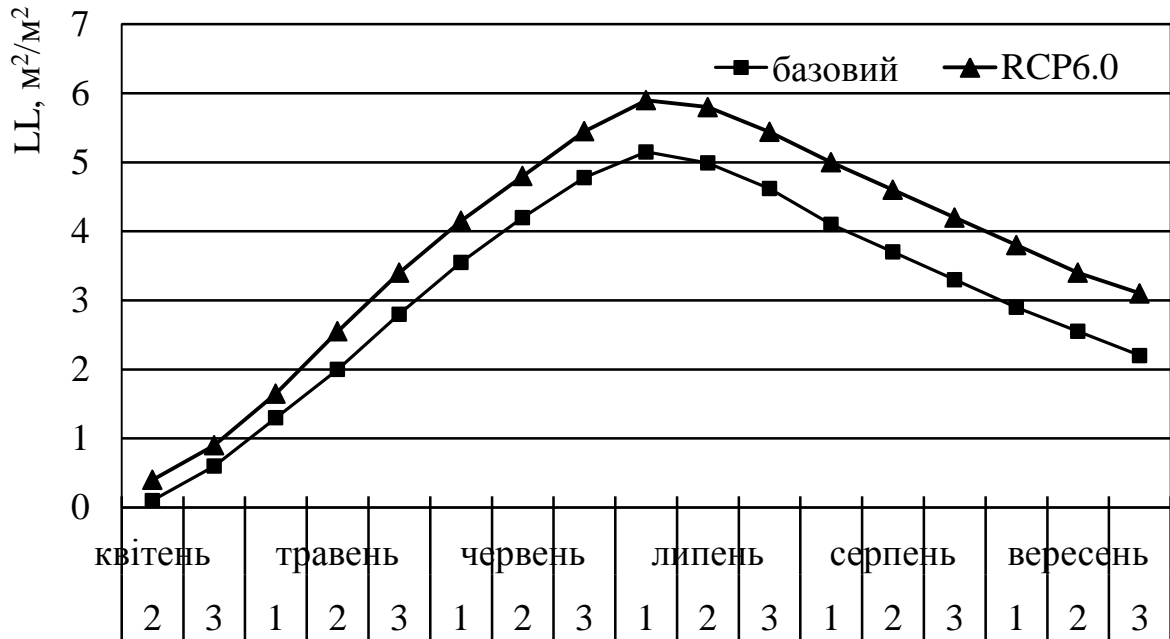


Рисунок 4.4 - Динаміка накопичення відносної площі листя за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з базовими умовами

Як уже відзначалося, ММУ будь-якої культури залежить від температурного режиму та режиму зволоження території. Оптимальною температурою для міскантусу, як і для багатьох інших культур є 22°C . З результатів відповідних розрахунків розділу 3 можна зробити висновок, що середня за вегетаційний період міскантусу сценарна температура ближче до оптимальної, ніж базова ($19,5^{\circ}\text{C}$ проти $17,7^{\circ}\text{C}$). Таким чином температурні умови вегетаційного періоду міскантусу за сценарієм RCP6.0 очікуються дещо краще ніж за базових умов.

Також можна сказати, що умови зволоження за сценарієм RCP6.0 практично не зміняться у порівнянні з базовими. Тому величина ММУ сухої загальної біомаси, яка є інтегральною характеристикою

агрометеорологічних ресурсів вегетаційного періоду буде перш за все визначатися рівнем ПУ. З таблиці 4.1 видно, що при середніх багаторічних умовах вона складає 358 ц/га, в той час як за умов реалізації сценарію RCP6.0 вона збільшиться на 53 ц/га і становитиме 411 ц/га (115 % від базової).

Урожайність міскантусу з врахуванням природної родючості ґрунту (ДМУ) за двома варіантами також відрізняється. Коефіцієнт ґрунтової родючості для території Північного Степу нами був прийнятий за 0,69. З таблиці 4.1 можна бачити, що за базових умов ДМУ сухої біомаси становить 247 ц/га. За умов реалізації сценарію RCP6.0 його величина збільшиться на 37 ц/га (15%) і становитиме 284 ц/га.

Збільшиться також і сценарний урожай біомаси при 19%-й вологості. Він становитиме 237 ц/га проти базових 206 ц/га. Тобто збільшення становитиме 31 ц/га або 15%.

4.3 Вплив змін агрокліматичних умов на фотосинтетичну продуктивність міскантусу за умов реалізації сценарію RCP8.5

За умов реалізації будь-якого сценарію зміни клімату, відбуваються певні зміни агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур, які в свою чергу зумовлюють і відповідні зміни показників фотосинтетичної продуктивності посівів. Змінюється динаміка формування площі листової поверхні та величини фотосинтетичного потенціалу посівів (ФСП), чистої продуктивності фотосинтезу та приростів біомаси.

Зміна цих складових формування урожаю призводить до зміни величини загальної сухої біомаси урожаїв різних агроєкологічних категорій: потенційного (ПУ), метеорологічно-можливого (ММУ), дійсно можливого (ДМУ) та виробничого урожаю за 19% вологості.

Як показали розрахунки, за умов реалізації сценарію RCP8.5 протягом вегетаційного періоду міскантусу відбувається певне збільшення приходу ФАР. Оскільки саме ПУ будь-якої сільськогосподарської культури

визначається величиною ФАР, збільшення приходу ФАР, яке очікується за сценарним варіантом, обумовить відповідне збільшення величин ПУ загальної сухої біомаси посівів міскантусу (табл. 4.2). При середніх багаторічних умовах вона складає 936 ц/га, в той час як за умов реалізації сценарію RCP8.5 вона дещо збільшиться на 26 ц/га - до 962 ц/га (становитиме 103 % від базової).

На рис. 4.5 представлена динаміка середньодекадних приростів потенційної урожайності (ДПУ) міскантусу у залежності від добових сум ФАР. Можна бачити, що хід ФАР обумовлює прирости потенційної урожайності. Величини сум ФАР за базовим варіантом дещо менші за сценарні, отже і базові значення приростів також менше за сценарні.

Можна бачити, що протягом 3-5 декад вегетації величини ФАР базові і сценарні відрізняються менше всього, тому різниця між приростами ПУ базовими і сценарними також несуттєва.

Таблиця 4.2 – Формування урожаю міскантусу за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовими умовами

Період, сценарій	Загальна суха маса, ц/га			Фотосинтетичний потенціал, $\text{м}^2/\text{м}^2$ за період	Урожай при 19% вологості, ц/га
	потенційного урожаю	метеорологічно можливого урожаю	дійсно можливого урожаю		
1980-2010	936	358	247	528	206
RCP8.5	962	342	236	468	197
Різниця	26	-16	-11	-60	-9
Різниця, %	3	4	4	11	4

Найбільш активно росте ПУ міскантусу протягом 6-11 декад вегетації, коли базові прирости коливаються в межах 490-620 ($\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{дек}$), а сценарні – у межах 580-635 ($\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{дек}$). З дванадцятої декади спостерігається зменшення приростів. До кінця вегетації ДПУ зменшується до 200 $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$ за базових умов і до 320 $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$ за сценарних.

На рисунку 4.6 представлені у динаміці показники зволоження вегетаційного періоду міскантусу - добові величини випаровування (E , мм) та випаровуваності (E_0 , мм) та добові значення вологозабезпеченості у вигляді співвідношення E/E_0 , відн.од. за умов реалізації сценарію RCP8.5.

За умов сценарного періоду сумарне випаровування з першої по сьому декаду вегетації дещо зростає, але з сьомої декади і до кінця вегетації величина E зменшується до дуже низьких значень – не перевищує 17 мм. Динаміка випаровуваності посіву протягом вегетації, як і у базовий та перший сценарний період, свідчить про те, що її значення, тобто вологопотреба рослин, є набагато більшими, ніж значення випаровування, тобто фактичного вологоспоживання.

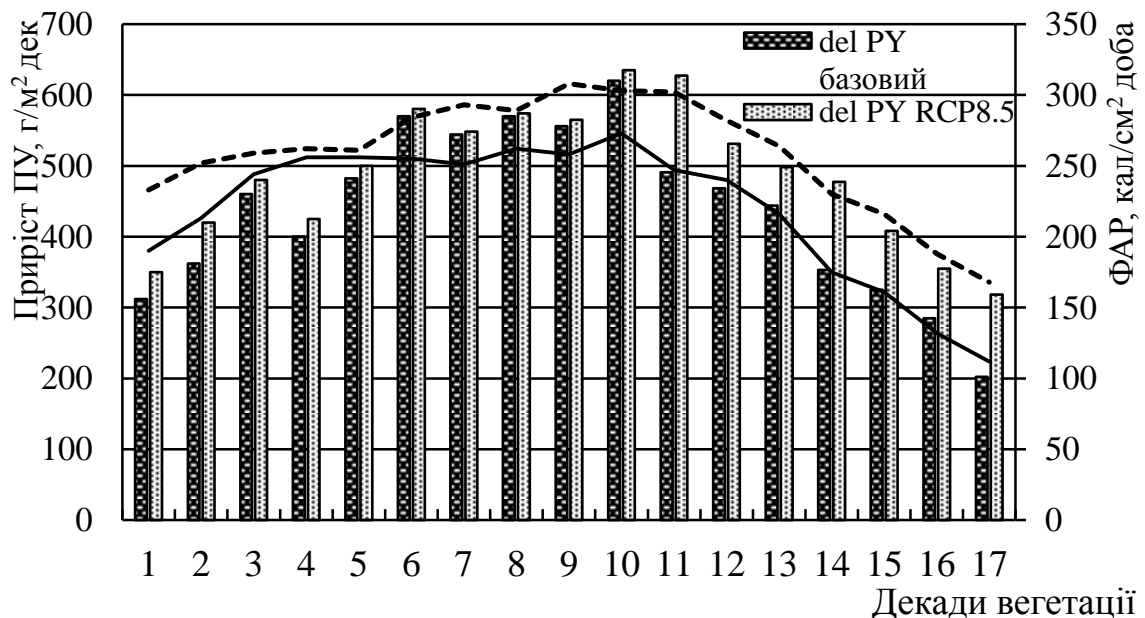


Рисунок 4.5 - Динаміка середньодекадних приростів потенційної урожайності (Δ ПУ) міскантусу за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовими умовами

Особливо це можна бачити у другій половині вегетації, коли з восьмої декади і до кінця вегетації вологопотреба посіву перевищувала його фактичне вологоспоживання у багато разів. Про таку суттєву невідповідність умов зволоження потребам рослин свідчать значення вологозабезпеченості,

які протягом цих декад практично не перевищували 0,30 відн.од. Але, у той же час треба відзначити, що на початку вегетаційного періоду умови зволоження є задовільними.

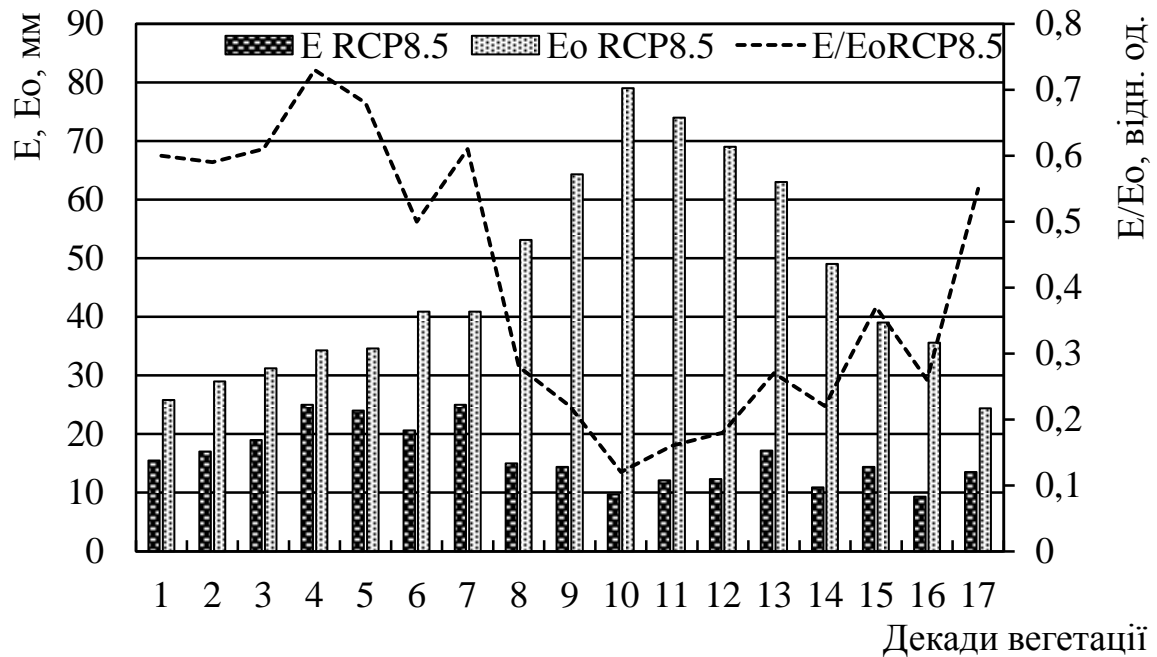


Рисунок 4.6 - Хід добових величин випаровування та випаровуваності протягом вегетації міскантусу, сценарій RCP8.5

На рисунку 4.7 представлена динаміка накопичення відносної площі листя посівів міскантусу у Північному Степу в умовах зміни клімату за сценарієм RCP8.5 в порівнянні з базовим періодом. Як вже відзначалося, умови теплозабезпеченості вегетаційного періоду міскантусу за умов реалізації сценарію RCP8.5 зміняться несуттєво. Однак зменшення вологозабезпеченості посівів за сценарних умов спричинить зменшення площі листя. Хоча динаміка сценарного росту площі буде аналогічною динаміці росту за базових умов, але величини LL будуть дещо меншими.

Якщо в період максимального розвитку (це, як правило, 9-10 декада вегетації) за середніх багаторічних умов площа листя становить $5,15 \text{ м}^2/\text{м}^2$, то для періоду 2021-2050 рр. за сценарієм RCP8.5 очікується її величина $4,8 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За базових умов ФСП (фотосинтетичний потенціал посіву) становить

528, для сценарних умов за сценарієм RCP8.5 очікується зменшення його величини до $468 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тобто на 4% (табл. 4.2).

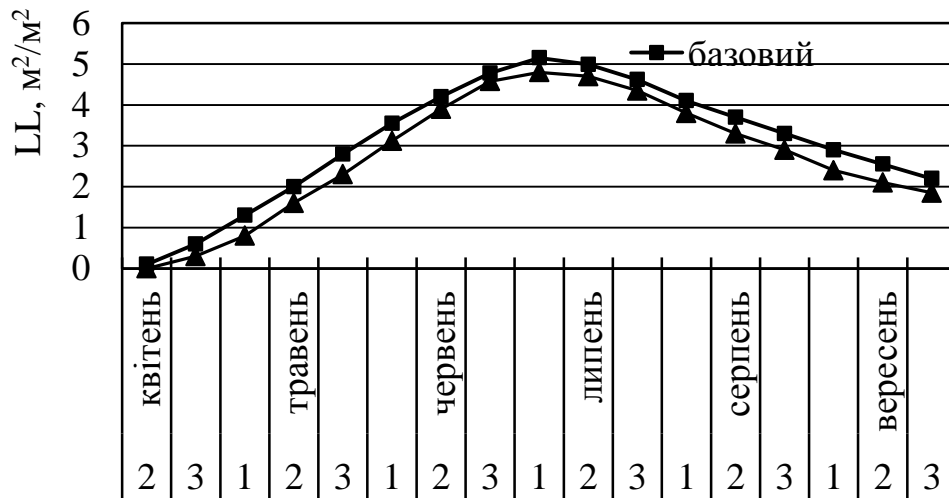


Рисунок 4.7 - Динаміка накопичення відносної площі листя за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовими умовами

Як уже відзначалося, ММУ будь-якої культури залежить від температурного режиму та режиму зволоження території. З результатів відповідних розрахунків розділу 3 можна зробити висновок, що середня за вегетаційний період міскантусу сценарна температура близька до базової, тобто теплозабезпечення посівів міскантусу за умов реалізації сценарію RCP8.5 практично не зміниться. Тому величина ММУ, яка є інтегральною характеристикою агрометеорологічних ресурсів вегетаційного періоду буде перш за все визначатися рівнем вологозабезпеченості. З таблиці 4.2 видно, що при середніх багаторічних (базових) умовах вона складає 358 ц/га, в той час як за умов реалізації сценарію RCP8.5 вона зменшиться до 342 ц/га (становитиме 84 % від базової).

Також з таблиці 4.2 можна бачити, що при середніх багаторічних (базових) умовах величина ДМУ, обумовлена природною родючістю ґрунту, складає 247 ц/га, в той час як за умов реалізації сценарію RCP8.5 вона зменшиться до 236 ц/га (становитиме 84 % від базової). Дещо зменшиться

також і сценарний урожай біомаси при 19%-й вологості. Він становитиме 197 ц/га проти базових 206 ц/га. Тобто збільшення становитиме 9 ц/га або 4%.

4.4 Узагальнена оцінка впливу змін клімату на перспективи вирощування міскантусу в Північному Степу

На основі кількісних значень фактичних та сценарних урожаїв міскантусу різних агроекологічних рівнів ми виконали оцінку узагальнюючих характеристик ґрунтових та агрокліматичних умов формування продуктивності її плантацій. Рівень родючості ґрунтів Дніпропетровської області нами прийнято за 0,69 відн. од.

В табл. 4.3 наводяться узагальнені характеристики агрокліматичних умов вирощування міскантусу за обома сценаріями у порівнянні з базовими значеннями.

Можна бачити, що за умов сценарію “стабілізації” RCP6.0 в період 2021-2050 рр. в Північному Степу очікуються умови, сприятливі для вирощування міскантусу. Про це свідчать більші за базові сценарні потенційні урожаї сухої біомаси культури, які очікуються завдяки збільшенню приходу ФАР протягом вегетації. Незважаючи на невелике зменшення кількості опадів протягом вегетаційного періоду, завдяки покращенню температурного режиму величини сухої маси ММУ, що очікуються, будуть дещо більше за базові. Та ж сама ситуація спостерігається і з сухою біомасою ДМУ. На фоні підвищених значень ФАР сформується і високий фотосинтетичний потенціал травостою за умов сценарію RCP6.0. Як вже відзначалося, він складатиме 122% базової величини. Урожай надземної маси міскантусу при вологості 19 % становить 20,3 т/га (табл. 4.3) за базових умов. При агрометеорологічних умовах сценарію RCP6.0 він буде складати 23,4 т/га – 115 % від базового. Урожай підземної маси міскантусу при вологості 19 % становить 10,2 т/га (табл. 4.3) за базових умов. При агрометеорологічних умовах сценарію RCP6.0 він буде складати

Таблиця 4.3 – Формування урожаю міскантусу у Північному Степу при середніх багаторічних умовах та в порівнянні з умовами за сценаріями зміни клімату

Період, сценарій	Вся суха маса, ц/га			Фотосин- тетичний потенціал м ² /м ² за період	Урожай при вологості 19 %			Баланс гумусу, т/га
	потен- ційного урожаю	метеоро- логічно можливого урожаю	дійсно можливого урожаю		надземної маси, т/га	підземної маси, т/га	сумарної маси, т/га	
1980–2010	936	358	247	528	20,3	10,2	30,5	0,426
RCP6.0								
2021–2050	971	411	284	645	23,4	11,7	35,1	0,489
Різниця	35	53	37	117	3,1	1,5	4,6	0,063
RCP8.5								
2021–2050	962	342	236	468	19,4	9,7	29,1	0,405
Різниця	26	-16	-11	-60	-0,9	-0,5	-1,4	0,021

11,7 т/га – також 115 % від базового. Загальна біомаса міскантусу становить за сценарієм RCP6.0 35,1 т/га проти базових 30,5 т/га.

При базовому значенні балансу гумусу 0, 426 т/га, за сценарним RCP6.0 варіантом баланс гумусу на ділянках з міскантусом очікується також позитивним і складатиме 0,489 т/га, що відповідно становитиме 115 % від базового.

Також можна бачити, що за умов “жорсткого” сценарію RCP8.5 в період 2021-2050 рр. в Північному Степу очікуються умови, дещо менш сприятливі для вирощування міскантусу ніж базові та за сценарієм RCP6.0. Однак можна бачити, що сценарні потенційні урожаї сухої біомаси культури більше за базові. Це можливо завдяки збільшенню приходу ФАР протягом вегетації за сценарним варіантом. Але зменшення кількості опадів протягом вегетаційного періоду та погіршення умов вологозабезпеченості призведуть до того, що величини сухої маси ММУ, що очікуються, будуть дещо менше за базові. Та ж сама ситуація спостерігається і з сухою біомасою ДМУ.

Також сформується і менший фотосинтетичний потенціал травостою за умов сценарію RCP8.5. Як вже відзначалося, він складатиме 89% базової величини.

Як вже відзначалося, урожай надземної маси міскантусу при вологості 19 % становить 20,3 т/га (табл. 4.3) за базових умов. При агрометеорологічних умовах сценарію RCP8.5 він буде складати 19,4 т/га – 96 % від базового. Урожай підземної маси міскантусу при вологості 19 % становить 10,2 т/га (табл. 4.3) за базових умов. При агрометеорологічних умовах сценарію RCP6.0 він буде складати 9,7 т/га – також 96 % від базового. Загальна біомаса міскантусу становить за сценарієм RCP8.5 29,1 т/га проти базових 30,5 т/га.

При базовому значенні балансу гумусу 0, 426 т/га, за сценарним RCP8.5 варіантом баланс гумусу на ділянках з міскантусом очікується дещо меншими, але також позитивним і складатиме 0,405 т/га, що відповідно становитиме 95 % від базового.

Ці отримані нами відомості збігаються з результатами, отриманими при вирощуванні міскантусу на дослідних ділянках, де відзначається, що одним з дуже важливих переваг міскантусу є те, що він у порівнянні з іншими енергетичними культурами (наприклад, вербою) має позитивний баланс гумусу і позитивний енергетичний баланс [11].

В цілому можна сказати, що за сценарних умов обох сценаріїв змін клімату не слід очікувати суттєвого погіршення умов зростання міскантусу. За першим сценарієм ці умови навіть покращаться, що призведе до збільшення урожаїв. Деяке погіршення умов за другим сценарієм буде суттєво знівельовано завдяки біологічними особливостям міскантусу – властивістю його економно та продуктивно використовувати вологу, помірну посухостійкість та теплолюбність. Отримані результати для території Північного Степу збігаються з раніше отриманими нами результатами для центральних областей України [37, 38].

Тому за умов вирощування вітчизняних сортів, адаптованих до агрокліматичних умов України, можна очікувати значного прогресу у розвитку біоенергетики завдяки цінній біоенергетичній культурі – міскантусу.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз агрокліматичних умов вирощування міскантусу показав, що на території Північного Степу сценарні суми температур за вегетаційний період міскантусу будуть дещо більшими, ніж базові. Так, сума температур за базових умов становить 3114°C . За умов реалізації сценарію RCP6.0 очікується її значення 3723°C , а за умов реалізації сценарію RCP8.5 - 3092°C .

У цілому можна сказати, що умови теплозабезпеченості вегетаційного періоду міскантусу у період 2021-2050 рр. на території Північного Степу області дещо покращаться.

Також збільшаться і сценарні суми ФАР. За базових умов вони становлять $160,4 \text{ кДж/см}^2$, тоді як за сценаріями RCP 6.0 та RCP8.5 збільшаться до $203,3$ та $183,4 \text{ кДж/ см}^2$ відповідно.

2. За умов реалізації сценарію RCP6.0 вологозабезпеченість плантацій практично не зміниться. Базова сума опадів за вегетаційний період становить 273 мм. За умов реалізації сценарію RCP6.0 суми опадів практично не зміняться – становитимуть 264 мм. Це лише на 3 % менше за базову суму.

У Північному Степу базове значення E становить 365 мм. Сумарне випаровування збільшиться за умов реалізації сценарію RCP6.0 до 462 мм, а величина випаровуваності збільшиться на 239 мм (з 711 до 949 мм).

Базове значення вологозабезпеченості складає 50 %. Вологозабезпеченість за сценарієм RCP6.0 практично не зміниться.

2. За умов реалізації сценарію RCP8.5 вологозабезпеченість плантацій зміниться суттєво. Базова сума опадів за вегетаційний період становить 273 мм. За умов реалізації сценарію RCP8.5 суми опадів зміняться суттєво – на 71 мм - і становитимуть 202 мм. Це на 26 % менше за базову суму.

У Північному Степу базове значення E становить 365 мм. Сумарне випаровування зменшиться за умов реалізації сценарію RCP8.5 на 90 мм, а величина випаровуваності збільшиться на 76 мм (з 711 до 787 мм).

Базове значення вологозабезпеченості складає 50 %. Вологозабезпеченість за сценарієм RCP8.5 зміниться досить суттєво – до 35 мм.

3. При базових умовах ПУ міскантусу складає 936 ц/га, в той час як за умов реалізації сценарію RCP6.0 вона дещо збільшиться і становитиме 104 % від базової. За умов реалізації сценарію RCP8.5 вона також дещо збільшиться і становитиме 103 % від базової.

При базових умовах ММУ складає 358 ц/га, за умов реалізації сценарію RCP6.0 вона збільшиться і становитиме 115 % від базової, за умов реалізації сценарію RCP8.5 вона зменшиться і становитиме 84 % від базової.

При базових умовах величина ДМУ, обумовлена природною родючістю ґрунту, складає 247 ц/га. За умов реалізації сценарію RCP6.0 ця величина збільшиться і становитиме 284 ц/га, за умов реалізації сценарію RCP8.5 вона зменшиться до 236 ц/га.

За умов реалізації сценарію RCP6.0 сценарний урожай біомаси при 19%-й вологості збільшиться. Він становитиме 237 ц/га проти базових 206 ц/га. За умов реалізації сценарію RCP8.5 сценарний урожай зменшиться і становитиме 197 ц/га проти базових 206 ц/га.

4. Фотосинтетичний потенціал травостою за умов сценарію RCP6.0 складатиме 122% базової величини, за умов сценарію RCP8.5 він складатиме 89% базової величини.

5. Найбільш активно росте ПУ міскантусу протягом 6-11 декад вегетації, майже всі величини базових приростів не перевищують 550 г/(м²·дек), тоді як за сценарним варіантом RCP6.0 максимальні прирости ПУ коливаються в межах 650-665 (г/м²·дек), а за сценарієм RCP8.5 найбільші прирости становлять 580-635 (г/м²·дек). З дванадцятої декади спостерігається зменшення приростів.

6. Урожай надземної маси міскантусу при вологості 19 % становить 20,3 т/га за базових умов. При агрометеорологічних умовах сценарію RCP6.0 він буде складати 115 % від базового. Урожай підземної маси міскантусу

становить 10,2 т/газа базових умов. При агрометеорологічних умовах сценарію RCP6.0 він буде складати 11,7 т/га – також 115 % від базового. Загальна біомаса міскантусу становить за сценарієм RCP6.0 35,1 т/га проти базових 30,5 т/га.

При агрометеорологічних умовах сценарію RCP8.5 урожай надземної маси буде складати 19,4 т/га – 96 % від базового. Урожай підземної маси міскантусу при вологості буде складати 9,7 т/га – також 96 % від базового. Загальна біомаса міскантусу становить за сценарієм RCP8.5 29,1 т/га проти базових 30,5 т/га.

Баланс гумусу за всіх варіантів досліджень є позитивним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Розпорядження КМУ від 18 серпня 2017 р. № 605-р Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність” URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p>
2. Купцов Н.С., Попов Е.Г. Энергоплантации. Справочное пособие по использованию энергетических растений. Минск: Тэхналогія, 2015. 128 с.
3. Хіврич О.Б., Квак В.М., Каськів В.В., Мамайсур В.В., Макаренко А.С. Енергетичні рослини як альтернатива традиційним видам палива. Агробіологія. 2011. Вип. 6. С. 153-157.
4. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Трибой О.В. Аналітична записка БАУ № 10 (2014). «Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні». Публікація доступна на: www.uabio.org/activity/uabio-analytics
5. Родькин О.И., Черненко Е.В., Саевич К.Ф. Перспективы производства биотоплива на основе энергетических культур. Экономические и экологические аспекты. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. 2019. №1. С. 33-44.
6. Шароваров Г.А., Минюк З.П. Энергетические долины на территориях, загрязненных радионуклидами, актиноидами и тяжелыми металлами. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2008. №6. С. 55-62.
7. WBA global bioenergy statistics 2017. World bioenergy association, 4th edition - WBA Global Bioenergy Statistics. 80 p.
8. Трибой О.В. Оцінка життєвого циклу виробництва теплової енергії з тріски біомаси *Miscanthus giganteus* в Україні. Біоенергетика. 2018. Вип. 2(12). С. 22-27.
9. Агрокліматичний довідник по Дніпропетровській області (1986-2005 рр.). За редакцією Т. І. Адаменко. Дніпропетровськ, 2013. 195 с.

10. 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. 40 с.
11. Зинченко В.А., Яшин М.Н. Энергия мискантуса. Леспромформ, 2011. №6 (80). С. 134-140.
12. Гущина В.А., Агапкин Н.Д., Захарова А.В. Проблема интродукции мискантуса в условиях неустойчивого увлажнения / Материалы международной научно-практической конференции “Проблемы и мониторинг природных экосистем”. Пенза, 2015. С. 52–54.
13. 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". Москва, 2017. С. 94.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.

18. 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.
19. Zinchenko A., Zinchenko V., Voinsky S., Rakhmetov D. The energy efficiency and properties of cellulose from *Miscanthus* × *giganteus* depending on the population characters and terms of planting / Scientific proceedings of the international network *AgroBioNet* of the institution and researcher of international research, education and development programme “Agrobiodiversity for improving nutrition, health, and life quality 2016“. Nitra, November 2016. P. 521-525.
20. 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.
21. Макаренко В. Слонова трава – прорив в сільському господарстві / В. Макаренко // Агро Перспектива. 2012. № 1. С. 32-37.
22. Ягольник О.О. Мискантус витримає удар і виграв перший раунд в Україні // Біоенергетика. 2015. Вип. 2. С. 18-24.
23. Булаткин Г.А. Энергоэффективность использования биомассы *Miscanthus sinensis* в качестве биотоплива // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2017. № 4. С. 76-80.
24. Planting and growing miscanthus. Best practice guidelines. <http://adlib.everysite.co.uk/resources/000/023/838/miscanthus-guide.pdf>
25. Блюм Я.Б., Гелетуца Г.Г., Григорюк І.П. та ін. Новітні технології біоенергоконверсії. К: «Аграр Медіа Груп», 2010. 326 с.
26. 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
27. 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.
28. 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.
29. Рахметов Д.Б. Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин в Україні. Київ: Аграр Медіа груп, 2011. 398 с.
30. Закон України "Про ратифікацію Паризької угоди". URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T161469.html
31. 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.
32. Van Vuuren D.P., Edmonds J., Kainumaet M., Riahi K., Thomson A., Hibbard K. et al. The representative concentration pathways: an overview // Climatic Change. 2011. V. 109. P. 5–31.
33. 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.
34. Гументик М.Я., Квак В.М., Замойський О.І. Урожайність біомаси мискантусу залежно від кліматичних умов, строків і глибини садіння ризомів у Західному Степу України // Біоенергетика. 2013. № 2. С. 32-35.
35. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Л. : Гидрометеоиздат, 1986. 264 с.
36. Полевой А.Н. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур // Метеорология, климатология и гидрология. 2004. № 48. С. 195-208.

37. Вольвач О.В., Ткаченко О.С. Дослідження фотосинтетичної продуктивності біоенергетичної культури міскантус в умовах зміни клімату / Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції «Використання альтернативних джерел енергії в умовах розвитку сільських територій» (Полтава, 22 травня 2019). Полтава: РВВ ПДАА, 2019. С. 47-50.

38. Ткаченко О.С., Вольвач О.В. Оцінка впливу змін клімату на продуктивність міскантусу у Центральних областях України / Матеріали X Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії». Переяслав-Хмельницький, 2018 р. С. 56-59.