

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

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра агрометеорології та
агроекології

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **Вплив змін клімату на продуктивність енергетичної
верби в українському Поліссі**

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

Освітня програма «Агрометеорологія»
(назва)

Маковейчук Ірина Миколаївна
(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
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Одеса 2019 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

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

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

Маковейчук Ірині Миколаївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вплив змін клімату на продуктивність енергетичної
верби в українському Поліссі

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: 1. Метеорологічні дані за сценаріями RCP6.0 та
RCP2.6 зміни клімату за період 2021-2050 рр. (середньодакдні температури
повітря, декадні суми опадів, середньодакдний дефіцит вологості повітря,
відносна вологість повітря, інтенсивність сонячної радіації) по Житомирській
області. 2. Середньобакаторічні метеорологічні дані по Житомирській
області.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вивчити фізико-географічні та агрокліматичні особливості
території Полісся (на прикладі Житомирської області); ознайомитись з
методологією динамічного моделювання продуційного процесу; вивчити
біологічні особливості верби прутувидної; оцінити зміни агрокліматичних умов
виросування верби в Житомирській області у зв'язку зі зміною клімату;
визначити вплив змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та
урожайність верби за умов реалізації сценаріїв RCP2.6 та
RCP6.0.

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

1. Графіки динаміки площі листя плантацій енергетичної верби та приростів потенційної урожайності. 2. Графіки динаміки сценарних температур, опадів та ФАР (сценарії RCP2.6 та RCP6.0 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)
	Розрахунки агрокліматичних показників вегетаційного періоду верби прутovidної.	05.11.2019 р. - 17.11.2019 р.	85	4(добре)
	<i>Рубіжна атестація</i>	18.11.2019 р. - 23.11.2019 р.	85	4(добре)
4	Розрахунки показників фотосинтетичної продуктивності посадок та урожаїв верби різних агроекологічних категорій за умов реалізації сценарію RCP2.6 у порівнянні з базовими.	24.11.2019 р. - 29.11.2019 р.	96	5 (відмінно)
5	Розрахунки показників фотосинтетичної продуктивності посадок та урожаїв верби різних агроекологічних категорій за умов реалізації сценарію RCP6.0 у порівнянні з базовими.	30.11.2019 р. - 5.12.2019 р.	92	5 (відмінно)
	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)
	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту.			
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		91,0	

Студент _____ Маковейчук І.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Маковейчук І.М. Вплив змін клімату на продуктивність енергетичної верби в українському Поліссі

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, верби. Тому необхідне детальне вивчення агрокліматичних умов її вирощування на досліджуваній території з метою раціонального використання цих умов і найбільш оптимального розміщення посадок. 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 верби на прикладі однієї з поліських областей України – Житомирської.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *завдання*:

- розрахувати основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду верби третього року життя в Житомирській області за базовими умовами та врахуванням змін клімату за сценаріями RCP2.6 та RCP6.0;

- визначити вплив можливих змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та урожайність верби за умов реалізації сценаріїв зміни клімату RCP2.6 та RCP6.0;

- провести оцінку продуктивності агрокліматичних ресурсів для верби.

Об'єкт дослідження - енергопосадки верби в Поліссі.

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

Метод дослідження - метод математичного моделювання продукційного процесу рослин.

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

Отримані результати можуть бути використані при виконанні комплексної оцінки агрокліматичних ресурсів стосовно вирощування верби та оптимізації розміщення її посівних площ за умов реалізації сценаріїв RCP2.6 та RCP6.0 зміни клімату в Поліссі.

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань. Повний обсяг роботи становить 57 сторінок, 11 рисунків, 6 таблиць. Список використаних літературних джерел містить 27 найменувань.

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

SUMMARY

Makoveichuk I.M. The impact of climate change on the performance of energy willow in Ukrainian Polissya

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, willow. 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 willow on the example of one of the Polissya regions of Ukraine – Zhytomyr.

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

- calculate the main agro-climatic indicators of the growing season of willow of the third year of life in the Zhytomyr region for the basic conditions and taking into consideration climate change scenarios RCP2.6 and RCP6.0;
- to determine the impact of possible climate change on photosynthetic productivity and productivity of willow, provided the implementation of climate change scenarios RCP2.6 and RCP6.0;
- to assess the productivity of agro-climatic resources for willow.

The object of the study is the energy plantations of willow in the Polissya.

The subject of the study is the influence of possible climate changes on agro-climatic conditions of cultivation and productivity of energy plantations in Zhytomyr 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 willow and productivity of culture in Zhytomyr 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 willow and optimization of acreage in the conditions of implementation of scenarios RCP2.6 and RCP6.0 climate change in the Polissya.

The work consists of an introduction, 4 sections, conclusions, a list of references. The full volume of the work is 57 pages, 11 figures, 6 tables. The list of references contains 27 titles.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 КОРОТКА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ТА АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ	9
1.1 Фізико-географічні умови.....	9
1.2 Агрокліматичні умови.....	10
2 БОТАНІКО-БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРУТОВИДНОЇ ВЕРБИ	13
3 АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ ВЕРБИ ПРУТОВИДНОЇ (<i>SALIX VIMINALIS</i>) В АСПЕКТІ ЗМІН КЛІМАТУ	19
3.1 Зміна агрокліматичних умов за сценарієм RCP2.6.....	20
3.2 Зміна агрокліматичних умов за сценарієм RCP6.0.....	25
4 ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВЕРБИ ПРУТОВИДНОЇ	30
4.1 Моделювання урожаїв різних агроєкологічних категорій.....	30
4.1.1 Блок вхідної інформації.....	30
4.1.2 Блок показників сонячної радіації і волого-температурного режиму.....	31
4.1.3 Блок функцій впливу фази розвитку і метеорологічних факторів на продукційний процес рослин.....	32
4.1.4 Блок родючості ґрунту і забезпеченості рослин мінеральним живленням.....	35
4.1.5 Блок агроєкологічних категорій урожайності.....	37
4.1.6 Блок узагальнених оціночних характеристик.....	39
4.2 Вплив змін агрокліматичних умов на фотосинтетичну продуктивність посадок верби за умов реалізації сценарію RCP2.6.....	41
4.3 Вплив змін агрокліматичних умов на фотосинтетичну продуктивність посадок верби за умов реалізації сценарію RCP6.0.....	45
4.4 Оцінка продуктивності агрокліматичних ресурсів території Полісся для вирощування енергетичної верби.....	48
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	55

ВСТУП

Поновлювані джерела енергії - це ресурси, що утворюються на основі постійних або періодичних процесів в природі, в житті рослин та тварин та в життєдіяльності людства. В назві цих енергетичних ресурсів відображені джерела їх виникнення (сонячна, вітрова, приливна та інша енергія) або вид енергоносія (біомаса і ін.).

Сьогодні використання поновлювальних джерел інтенсивно розвивається в багатьох країнах. Так, в країнах Євросоюзу, за оцінками Міжнародного енергетичного агентства, виробництво енергії з відновлюваних джерел щорічно збільшується на 10-20%. За прогнозами до 2040 року відновлювані джерела зможуть забезпечити 50% виробництва енергії в світі [1].

Основна перевага при енергетичному використанні біомаси полягає в тому, що за умови її безперервного відновлення не відбувається збільшення в атмосфері концентрації CO₂.

Виробництво біомаси для створення енергії в Україні дозволить зменшити імпорт традиційних видів енергоносіїв, а це, в свою чергу сприятиме підвищенню енергонезалежності нашої країни. Крім того, доцільність широкого розвитку біоенергетичної галузі обумовлено сприятливими ґрунтово-кліматичні умовами України та давніми сталими традиціями землеробства.

Економічно обґрунтований потенціал біомаси в Україні становить 27 млн т у.п. (умовного палива) рік. Джерелом енергетичної сировини можуть бути як побічні продукти рослинного походження (солома зернових культур та ріпаку, соняшникове лущиння, стебла кукурудзи тощо), так і спеціально призначені для цього рослини – «енергетичні рослини», які активно поглинають вуглекислий газ та утворюють високі врожаї біомаси, яку можна

використовувати для виробництва біопалива. За рахунок біомаси можна задовольнити близько 12-15% енергетичних потреб України [2].

Верба прутувидна (ще назва, лозова або кошикарська) на сьогоднішній день використовується у світі у якості основної енергетичної культури як сировина для виробництва твердого палива. Тому дуже часто в літературі зустрічається ще одна назва – верба енергетична. Найбільший досвід з її вирощування накопичено зараз у Швеції, Великобританії, Ірландії, Польщі, Данії. Так, плантації прутувидної верби у Швеції мають площі 18–20 тис. га, у Польщі – близько 6 тис. га [1].

В поточне десятиліття в Україні також з'явилося декілька компаній, що займаються вирощуванням енергетичних культур і, зокрема, верби.

Перші плантації енергетичної верби були закладені Компанією “Salix Energy” в 2010 році, а у 2014 році був отриманий перший промисловий урожай. На сьогоднішній день “Salix Energy” має найбільші в Україні плантації енергетичної верби, розташовані у Волинській та Львівській областях. Якщо на початку існування компанії вирощувались закордонні сорти верби (польські, шведські), в 2013 р. було виведено перший офіційно зареєстрований в Україні власний сорт Марцияна. Станом на 2015 рік “Salix Energy” висадила близько 1,7 тис. га енергетичних плантацій і планують розширити їх площі до 2,5-3 тис. Га [3].

В Полтавській області енергетичні культури вирощуються компанією “Phytofuels”. Загальна площа під енергетичними культурами - понад 35 тис. га. Брикети і гранули, вироблені з цих культур, “Phytofuels” поставляє вітчизняним і зарубіжним споживачам [3, 4].

Суттєві напрацювання стосовно розвитку біоенергетики створені в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Тут ведеться робота з вивчення, зокрема, продукційного процесу та енергетичних властивостей верби роду Salix, інтродукції іноземних сортів та створення власних, а також особливостей агротехніки її вирощування та збору. Колекція, створена на дослідній ділянці інституту, налічує 14 різних видів та

гібридів [5]. В 2018 р. сорт верби Збруч був занесений до Державного реєстру сортів України. Результатом багаторічного дослідження енергетичної верби стали багаточисленні публікації [6-8].

Незважаючи на наявність великої кількості напрацювань стосовно вирощування енергетичної верби, на сьогоднішній день матеріали щодо впливу змін клімату на перспективи вирощування і продуктивність цієї культури в літературі практично відсутні. Тому тема кваліфікаційної магістерської роботи є досить актуальною.

Задачами роботи є:

1. Вивчити ботанічні та біологічні особливості верби прутувидної, вимоги культури 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 енергетичної верби.

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

5. Проаналізувати вплив можливих змін клімату на показники фотосинтетичної продуктивності трьох річних плантацій верби у Поліссі (на прикладі Житомирської області), а також на врожайність культури.

Для виконання розрахунків використовувались метеорологічні дані за сценаріями зміни клімату RCP2.6 та RCP6.0 та відповідні середньобагаторічні метеорологічні дані по Житомирській області.

1 КОРОТКА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ТА АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Фізико-географічні умови

Житомирська область розташована на півночі країни, переважно в межах Українського Полісся. На півночі межує з Гомельською областю Республіки Білорусь, на сході - з Київською областю, на півдні - з Вінницькою областю, на заході - з Хмельницькою і Рівненською областями України.

Площа області 29,9 тис. км², що становить 4,9 % території України. Житомирська область лежить у зоні мішаних лісів, південна частина - у лісостеповій зоні. Ґрунтові і агрокліматичні умови сприятливі для розвитку сільського і лісового господарств.

Більша частина Житомирської області лежить у межах Придніпровської височини, північну і північно-східну частини займає Поліська низовина. Значні масиви торфових боліт займають 2,9 % території області. У місцях високого залягання кристалічних порід розвинуті денудаційні форми рельєфу у вигляді горбів і скель з крутими схилами (Словечансько-Овруцький, Білорічицький та Озерянський кряжі).

Територією області протікає 221 річка завдовжки понад 10 км кожна. Всі вони належать до басейну Дніпра. Найбільші притоки Дніпра – Тетерів, Ірпінь, притоки Прип'яті - Уборть, Словечна та Уж, притока Горині - Случ. Для річок області характерне мішане живлення з переважанням снігового. Понад 50 % річкового стоку припадає на талі снігові води. Багато озер, збудовано 16 водосховищ (загальною площею понад 2,9 тис. га).

За площею поширення переважають дерново-підзолисті ґрунти піщаного, глинисто-піщаного і супіщаного механічного складу. В

лісостеповій частині області - сірі лісові, темно-сірі опідзолені ґрунти, а також чорноземи опідзолені. Є невеликі масиви чорноземів мало гумусних глибоких і неглибоких.

Лісами вкрито 1 млн. га (28 % площі області). Головні лісо-утворюючі породи: сосна, дуб, береза, вільха та ін. В північній і північно-західній частинах поширені соснові ліси, в усій поліській частині - сосново-дубово-березові. Значні площі займають дубово-грабові і грабові ліси. В лісостеповій частині Житомирської області дубово-грабові ліси, де переважає дуб з домішкою граба, ясена, клена та явора. Лісистість південних районів області становить 3- 4 %. Під луками близько 5,3 % території області [9].

Сільськогосподарські угіддя займають 1601 тис. га або 53,7 % всієї площі області, з них орні землі займають 1092,8 тис. га - 65,4 %. Ліси та інші лісовкриті площі займають 1106,6 тис. га або 37,1% від загальної площі території області. Відкритих заболочених земель на Житомирщині 89,4 тис. га, а відкритих земель з незначним рослинним покривом чи без нього (піски, яри, голі скелі) – 37,1 тис. га; території покриті поверхневими водами займають 48,8 тис. га [10]

1.2 Агрокліматичні умови

Клімат Житомирської області помірно континентальний з вологим літом і м'якою зимою. Клімат Житомирської області помірно-континентальний, м'який, вологий. Середня температура повітря за рік по області становить 7,3–7,7°C. Середня температура січня (найхолоднішого місяця) становить мінус 3,1–3,5°C, середня температура липня (найтеплішого місяця) становить 18,9-19,3°C. Середня кількість опадів по області за рік становить 625 мм, змінюючись по території від 592 до 669 мм. Близько 70 % відсотків від річної кількості опадів випадає у теплий період року.

Період з температурою понад 10°C починається в третій декаді квітня і становить 158 днів Закінчення цього періоду приблизно збігається з

початком перших осінніх заморозків у повітрі, тобто в першій декаді жовтня. Сума активних температур за цей період змінюється від 2510 °С у північно-західних районах області до 2600 °С на півдні.

За сукупністю показників агрокліматичних ресурсів територію Житомирської області поділено на два агрокліматичні райони (достатнього теплозабезпечення, достатнього і надлишкового зволоження та достатнього теплозабезпечення і достатнього зволоження). Характеристики цих районів і схема районування області представлені у табл. 1.1 і на рис. 1.1.

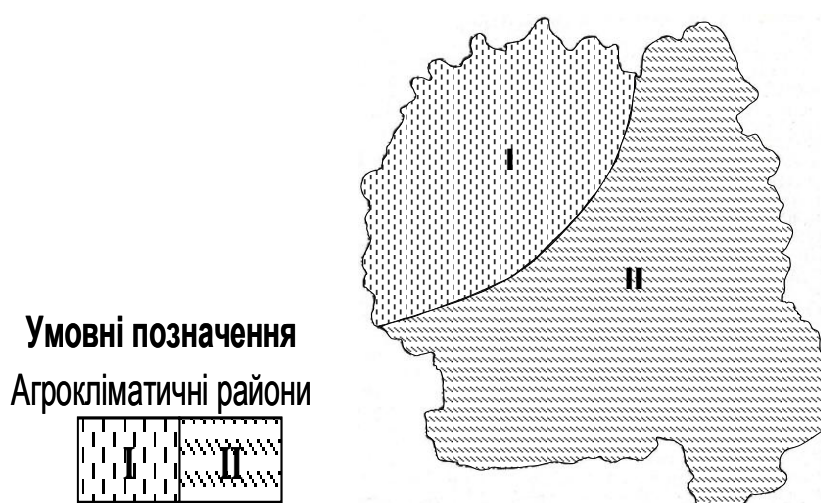


Рис. 1.1 – Схема агрокліматичного районування території Житомирської області [9]

Таблиця 1.1- Агрокліматичне районування Житомирської області [9]

Агрокліматичні райони	Показники агрокліматичних ресурсів за період активної вегетації сільськогосподарських культур		
	гідротермічний коефіцієнт (ГТК)	сума позитивних температур повітря вище 10 °С	кількість опадів, мм
I. Достатнього теплозабезпечення, достатнього і надлишкового зволоження	1,5-1,6	2500-2550	450-480
II. Достатнього теплозабезпечення, достатнього зволоження	1,4	2550-2650	400-450

З несприятливих кліматичних явищ спостерігаються бездошові періоди до 60 днів, можливі посухи і суховії, сильні дощі, 1-2 дні (рідше 4-6 днів) з градом. Значної шкоди завдають пізні весняні та ранні осінні заморозки. Взимку можливі низькі температури протягом 25 днів, ожеледь до 15 днів і більше.

Помірна атмосферна засуха, яка часто поєднується із ґрунтовою в період активної вегетації сільськогосподарських культур (ГТК становить 0,8–0,9), має ймовірність 90 % на більшій частині території області [9].

2 БОТАНІКО-БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРУТОВИДНОЇ ВЕРБИ

Верба (*Salix L.*) – рід дерев, кущів або напівкущів родини вербових (*Salicaceae*). В природній флорі України родина *Salicaceae* представлена двома родами - *Salix* (верба) і *Populus* (тополя). Автохтонних (ті, що виникли та продовжують існувати на території України) верб на сьогоднішній час налічується 25 видів [11]. Дев'ять видів зростають лише в Карпатах, 16 – на рівнинній частині України [12].

Далеко не всі види верби підходять для використання в якості біопалива. Так, верби, що зростають у альпійському та субальпійському поясу Карпат дуже повільно ростуть, мають стебла, що стеляться, не мають достатніх сировинних резервів, тому не підходять для створення енергетичних плантацій. Крім того, деякі види верби занесені у Червону книгу України [11].

За даними [11] найбільш перспективними для цілей біоенергетики в Україні є високорослі чагарникові або деревні види з середньорічними приростом у висоту 1,0-1,5 м та більше. Це *S. acutifolia* (верба гостролиста), *S. triandra* (верба тритичинкова), *S. purpurea* (верба пурпурна), *S. alba* (верба біла), *S. pentandra* (верба п'ятитичинкова). Але безумовним лідером в біоенергетиці на сьогоднішній день є верба прутовидна - *S. viminalis*.

Енергетична верба – зазвичай густа, виростає до 5-6 м у висоту і має велику кількість пагонів. Вона досить легко розмножується вегетативними пагонами. На одному місці вербу можна вирощувати протягом 25-30 років, збір урожаю проводять кожні 2–3 роки; кількість циклів збору урожаю з однієї посадки - 7–8 раз, після чого можна проводити рекультивацію землі під посадку інших культур чи закладати нову плантацію верби [1].

З 1 га плантації можна отримувати до 10-12 т сухої деревної маси щороку. Верба стійка до морозів та посухи, до шкідників та хвороб, може

рости на ґрунтах різного типу, на пагорбах, у ярах з підвищеним заляганням ґрунтових вод, на заболочених землях, що забезпечують хороше водопостачання, навіть на непродуктивних землях, що потребують рекультивації, тобто на землях, непридатних для ведення сільського господарства [2].

Енергетична верба є світлолюбною культурою, в перший рік вегетації посадки можуть потерпати від затінення бур'янами, тому треба вносити гербіциди та проводити ретельну обробку ґрунту в рядах та міжряддях. Рекомендується також присипати бур'яни ґрунтом. Для попередження пошкодження листоргизучими шкідниками необхідно проводити обприскування листя. У перші роки вирощування енергетичних плантацій верби лозовидної в умовах лісостепової частини Київської області рекомендується застосовувати трирічний цикл збору урожаю, що дозволяє отримати максимальну продуктивність посадок [13].

Дослідження впливу мінерального живлення на продуктивність трьох сортів верби шведської селекції, проведені у Волинській області, свідчать про те, що із внесенням аміачної селітри збільшується продуктивність посадок, і, як наслідок, підвищуються показники виходу енергії. Але внесення максимальних кількостей добрива (300, 400 кг/га) виявилось недоцільним, тому що у цьому випадку підвищується зольність сухої біомаси, що погіршує якість біопалива [14].

Верба придатна для виробництва паливних брикетів для спалювання в котлах. Культура має великий потенціал продуктивності, особливо на землях, що не використовуються або використовуються неефективно.

Нижча теплотворна здатність абсолютно сухої верби не відрізняється від інших порід деревини і складає приблизно 18 МДж/кг абсолютно сухої речовини. Попри відсутність будь-яких шкідливих продуктів при згорянні, вона має високу тепловіддачу: 1 т рослин замінює понад 500 м³ природного газу або 700 кг бурого вугілля. Біомаса, яку отримують у процесі

виробництва, може використовуватися як первинне паливо (у процесі згорання), або вторинне – біометанол і деревний газ [5].

Як вже відзначалось, у перший рік життя плантації верби гостру конкуренцію молодим рослинам складають бур'яни. Зарубіжними дослідниками було встановлено, експансія бур'янів у перший рік життя енергетичної плантації спричиняє втрати 50-95% врожаю верби [15]. Але обробка молодих рослин гербіцидами не завжди можлива. На поверхні молодих листочків верби кутикулярний восковий шар дуже тонкий, тому вони є чутливими не лише до діючих речовин гербіцидів, а і до наявних у препаратах допоміжних речовин [16]. Крім того, завжди існує небезпека попадання гербіцидів у ґрунтові або поверхневі води в регіоні [17]. У такому випадку застосування деревної тирси чи соломи може бути ефективним засобом контролювання сходів бур'янів у посадках верби [18, 19].

Лозовидну вербу вирощують на структурних легких і середньосуглинистих або супіщаних ґрунтах. На важких ґрунтах зростає ризик підтоплення, а на легких можлива загибель рослин внаслідок посухи. Ризик посухи є особливо актуальним через зміни клімату за останні роки. Зростає температура і неухильно зменшується середня кількість опадів, що випадають [20].

Ґрунти повинні бути досить родючими. На якість ґрунту і на забезпеченість поживними речовинами верба реагує досить сильно, що позначається насамперед на її зростанні. Верба любить добре дреновані ґрунти з доброю аерацією і не переносить застійної води [21].

Під культуру верби можна з успіхом використовувати і торф'янисті ґрунти, але тільки після попередньої осушки і достатньої мінералізації торфу. Деградовані торфові ґрунти і вироблені торфовища зі слабким ступенем розкладання торфу і низькою родючістю можуть використовуватися тільки після попередньої підготовки. Під плантацію слід вибирати ділянку рівної поверхні, без западин і поглиблень, в яких може застоюватися вода,

найкраще з ухилом до 5 градусів. Грунт ділянки повинен бути відносно пухким і водопроникним, не сильно опідзоленим і незасоленим.

Добре зростання культурних верб спостерігається на відносно кислих грунтах (рН 5-6). Грунти з кислотністю рН <5 необхідно попередньо вапнувати. Для закладання промислових плантацій, в тому числі для виробництва деревини та деревної маси, найбільш економічно доцільно вибирати ділянки площею не менше 30 га, так як такий розмір дозволяє ефективно використовувати техніку і отримувати прибуток. Слід зазначити, що густина посадки (кількість живців на гектар) не є стабільним показником і багато в чому залежить від схеми посадки.

Традиційно за кордоном верба на біопаливо висаджується стрічковим способом з відстанню між стрічками 150 см, між рядками в стрічці - 75 см і між рослинами - 60 см. Таким чином густина посадки становить близько 15 тисяч живців на гектар [1].

За відомостями зарубіжних дослідників, одноразово закладена плантація верби дозволяє отримувати не менше 7 врожаїв без істотного зниження продуктивності.

Як згадувалося вище, середній термін промислової експлуатації такої плантації 20-25 років. Розроблено дві технології вирощування верби: традиційна і роздільна. При традиційній технології біомаса забирається прямим комбайнуванням з одночасним подрібненням і подальшій доробці. Недоліком є необхідність додаткової сушки біомаси для зниження її вологості, для чого потрібні додаткові ресурси і відповідно фінанси. При роздільному збиранні біомаса зрізається і збирається спеціальним пресом в тюки з наступним сушінням в польових (природних) умовах, доробкою та подрібненням [1].

Найчастіше для закладки плантацій з вирощування швидкорослих деревних порід на паливо відводять непридатні для сільськогосподарського використання та малоприсадибні для вирощування високопродуктивних лісових насаджень ділянки. При виборі місця для плантацій при інших рівних

умовах необхідно, щоб вони знаходилися поблизу транспортних шляхів і мали хороші під'їзди, що необхідно для зручного та економічного транспортування знарядь, механізмів та робочої сили, підвезення добрив, хімікатів та інших матеріалів, а також вивезення готової продукції [1].

Щорічна оранка орних земель призводить до зменшення рівня вуглецю в ґрунті за рахунок аерації поверхневого шару землі. Спеціальними дослідженнями встановлено, що ґрунти на плантаціях верби прутувидної мають значно вищі показники вмісту вуглецю. Так, орні землі під зерновими мають середній показник вмісту вуглецю близько 32 т/га, в той час як для плантацій верби ця цифра сягає майже 70 т/га. Такий ефект пояснюється великою кількістю листя (приблизно 4-5 т/га), яке опадає на землю, а також створенням сприятливих умов для переміщення у верхні шари ґрунту міцелію грибів, які відповідають за засвоєння вуглецю.

Вирощування будь-якої культури неминуче призводить до виснаження ґрунту, в зв'язку з чим необхідно щорічно його удобрювати. Ступінь виснаження ґрунту для різних культур різних. Так, встановлено, що плантація верби кошикові за 5-річний період зростання виводить із землі 18-54 кг/га азоту, 10-70 кг/га кальцію, від 3 до 9 кг/га фосфору, 6-36 кг/га калію і до 5 кг/га магнію. Ступінь виснаження ґрунту вербою прутувидною значно менше, ніж зерновими. Слід зазначити, що приблизно 60-80% поживних речовин повертаються на плантаціях *Salix viminalis* в землю разом з опалим листям [1].

Збирають вербу після закінчення вегетації, переважно в зимовий період, за допомогою звичайних силосозбиральних комбайнів, після чого її подрібнюють і роблять пелети для спалювання в котлах.

В науковій літературі зазначається, що *Salix viminalis*, як і будь-яка деревоподібна культура, має досить високі здібності до поглинання важких і рідкісних металів, таких як свинець, мідь, цинк, нікель, хром та ін. [1].

Дослідження, проведені українськими, білоруськими та бельгійськими вченими наприкінці минулого століття продемонстрували можливості

використання посадок верби прутовидної для очищення територій, забруднених радіонуклідами після катастрофи на Чорнобильській АЕС [23].

Було створено модель формування біомаси верби та накопичення нею ^{137}Cs та ^{90}Sr . Призначенням моделі є багатостороння оцінка та прогноз наслідків функціонування штучної лісової екосистеми на забруднених землях зони ЧАЕС. В чисельних експериментах з моделлю було зроблено спробу оцінити можливе зростання верби прутовидної протягом десятиліття на піщаних (плато ріки Прип'ять) та суглинистих (Янів) ґрунтах Українського Полісся і ті наслідки, до яких може привести це зростання. Розрахунки виконувались на фоні кліматичних умов, характерних для цієї ґрунтово-кліматичної зони. Щільність забруднення ґрунтів радіонуклідами приймалась досить значною.

Максимальна швидкість накопичення біомаси верби спостерігалась на п'ятий рік життя рослин, коли формується найбільша площа листової поверхні. В наступні 5 років розмір площі листя змінюється несуттєво, доля листя у загальній масі рослин зменшується. До десятого року життя рослин маса пагонів верби кошикарської становить 11- 12 т/га на фоні природної родючості та 39-40 т/га при внесенні добрив. Накопичення радіонуклідів в біомасі рослин верби носить кумулятивний характер [23].

3 АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ ВЕРБИ ПРУТОВИДНОЇ (*SALIX VIMINALIS*) В АСПЕКТІ ЗМІН КЛІМАТУ

Оскільки в агрометеорологічному аспекті енергетична верба вивчена ще мало, ми спиралися на дані небагатьох літературних джерел та науково-популярних публікацій, інтерв'ю з виробниками стосовно термінів початку вегетації верби і прийшли до висновку, що найбільш активно весняні процеси відбуваються у верби з переходом температури повітря через 10°C.

Збирання верби зазвичай проводиться взимку, але виробники вважають, що датою першого контрольного збору, що забезпечить сировиною для біопалива споживачів поточного року, можна вважати кінець вересня. У цей час деревина верби вже містить 20% вологи і може застосовуватись для виготовлення тріски. Як раз на кінець вересня приходить дата переходу температури повітря через 10°C восени.

У даній кваліфікаційній роботі для кліматичних розрахунків використовується один з набору сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP). Репрезентативні траєкторії концентрацій – сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів [24].

Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: 2,6 Вт·м⁻² для RCP2.6; 4,5 Вт·м⁻² для RCP4.5; 6,0 Вт·м⁻² для RCP6.0 і 8,5 Вт·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) [24].

3.1 Зміна агрокліматичних умов за сценарієм RCP2.6

На рис. 3.1 представлений хід середньодекадних температур повітря протягом вегетаційного періоду верби за базовими (середньобагаторічними) даними та за даними за сценарієм RCP2.6. Можна бачити, що сценарні температури протягом всього вегетаційного періоду мають набагато більші значення за базові. Так, подекадно сценарні температури самого теплого місяцю – липня – становили 21,9, 22,5 і 22,0^oC відповідно. У той же час аналогічні значення температури за базовим варіантом становлять лише 18,6, 19,3 і 19,4^oC.

У таблиці 3.1 представлені основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду верби для Полісся України. Розрахунки виконувались на прикладі Житомирської області. Дослідження впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування та урожайність проводилися шляхом порівняння показників за базових умов (період 1981-2010 рр.) та за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP2.6 за період 2021-2050рр.

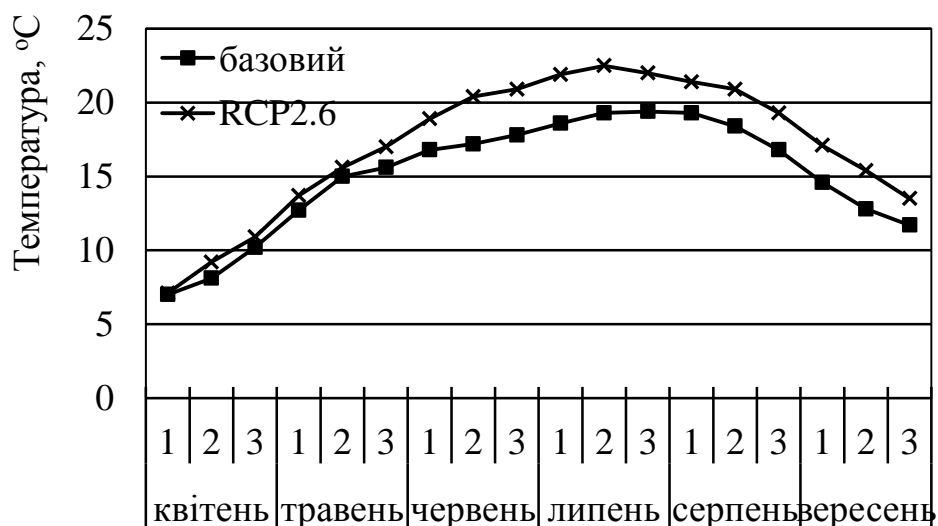


Рисунок 3.1 – Динаміка середньодекадних температур повітря за сценарієм RCP2.6 у порівнянні з базовим варіантом

Таблиця 3.1 – Агрометеорологічні умови вегетації верби у Поліссі в порівнянні з умовами за сценарієм RCP2.6 зміни клімату

Період, сценарій	Дата відновлення вегетації	Середня температура повітря за період, °С	Сума опадів за період, мм	Сумарне випарову- вання за період (E), мм	Випарову- ваність за період, (E ₀), мм	Відносна вологоза- безпеченість (E/E ₀), %	Середній за період ГТК, відн. од.	Сума ФАР, кДж/см ² за період
1980-2010	25.04	16,1	377	366	487	73	1,44	148,1
RCP2.6	14.04	18,5	382	466	650	72	1,27	169,8
Різниця	-11	2,5	5	100	163	-1	-0,17	21,7
Різниця, %			1	27	33			17

Відновлення вегетації плантацій верби в Поліссі починається за середніми багаторічними даними 25.04. За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP2.6 строки відновлення вегетації верби у Поліссі суттєво зміняться у порівнянні з базовими. Відновлення вегетації очікується 14 квітня, тобто на 11 днів раніше ніж за базових умов. Сума активних температур, що накопичується за вегетаційний період, становить за базових умов 2614°C. За сценарними умовами вона також буде дещо більшою - 2972°C.

Відповідно зміниться і середня температура за вегетацію. За базових умов вона становить 16,1°C, за сценарних очікується вище на 2,5°C, а саме 18,5°C. Можна сказати, що температурні умови вегетації за змін клімату дещо покращаться.

Умови зволоження грають для верби вирішальну роль. Це пов'язано з тим, що рослина зосереджує основну масу свого коріння на глибині до 40 см, і не здатна використовувати багато ґрунтової вологи з більш глибоких шарів ґрунту. 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 верби у Поліссі випадає 377 мм опадів. За кліматичним сценарієм RCP2.6 очікується дуже незначне збільшення суми опадів за вегетацію. Так, протягом 2021-2050 рр. очікується сума опадів 382 мм, що більше за базову на 5 мм (1 %).

Базова величина сумарного випаровування (фактичного вологоспоживання) верби становить 366 мм, базове значення вологопотреби верби (випаровуваності) становить 487 мм. Базове значення дефіциту вологи (різниця випаровуваності E_0 та випаровування E) становить 121 мм. За умов реалізації сценарію RCP2.6 дефіцит вологи протягом вегетації становитиме 184 мм замість 121 мм (тобто збільшення дефіциту становитиме відповідно 63 мм або 52%).

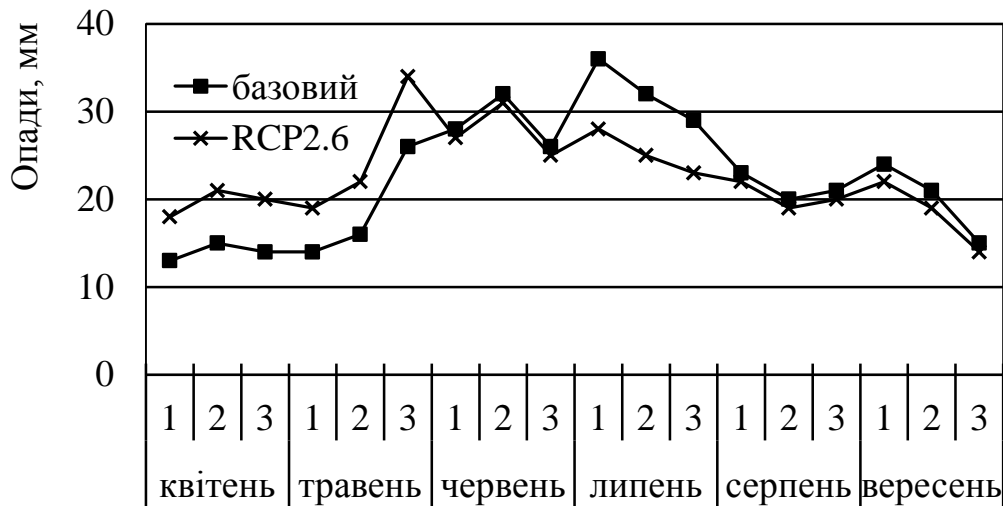


Рисунок 3.2 – Динаміка декадних сум опадів за сценарієм RCP2.6 у порівнянні з базовим варіантом

При цьому величина E збільшиться відповідно на 100 мм (27%) у порівнянні з базовою і становитиме 466 мм. Величина E_0 також збільшиться до значення 650 мм, що на 163 мм або 33% більше базового значення. Тобто величини E та E_0 за сценарієм RCP2.6 майже однаково збільшаться. У зв'язку з таким суттєвим і однаковим збільшенням обох складових, сценарна вологозабезпеченість вегетаційного періоду верби практично не зміниться і становитиме 72% проти 73% базових. За рахунок деякого сценарного збільшення сум температур зменшиться величина ГТК з 1,44 до 1,27 відн. од.

Динаміка сум ФАР у посадках верби протягом вегетаційного періоду за базовими та сценарними умовами надається на рис 3.3.

Хід декадних величин ФАР протягом вегетаційного періоду верби за базових умов свідчить про те, що на початку вегетації величина ФАР не перевищує 195 кал/см². дек. Потім спостерігається поступове збільшення величини ФАР до восьмої-десятої декади вегетації, коли максимальне значення становить 256-258 кал/см². дек, а після десятої декади вегетації інтенсивність ФАР різко зменшується і на кінець вегетації її величини не перевищують 120 кал/см². дек.

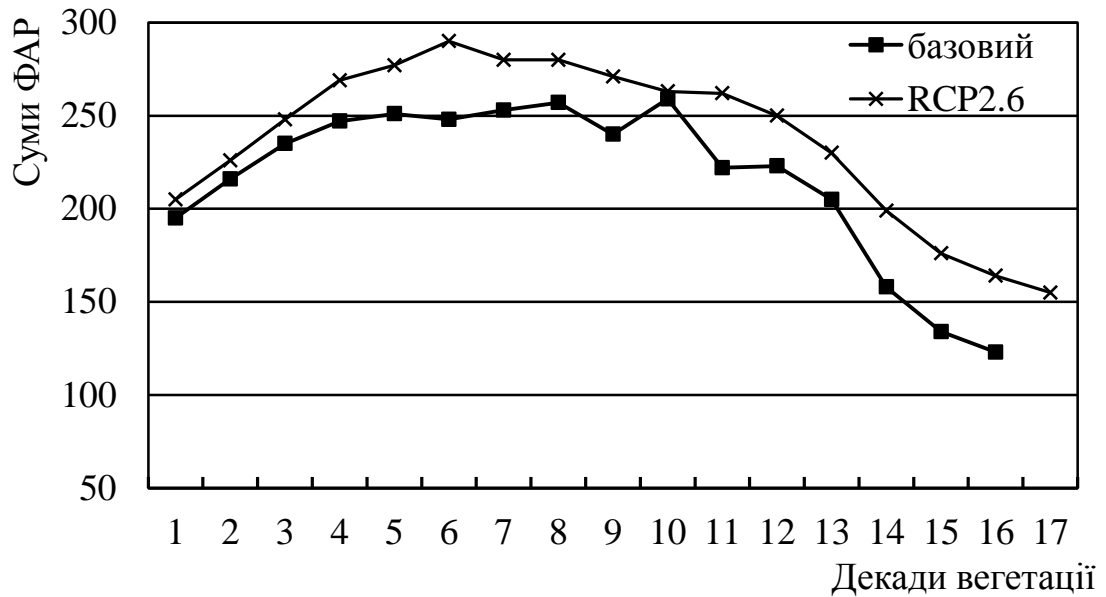


Рисунок 3.3 - Динаміка сум ФАР (кал/см². доба) за сценарієм RCP2.6 у порівнянні з базовими умовами

У цілому хід сценарних величин ФАР аналогічний базовому, але завдяки більш ранньому початку вегетації за сценарієм RCP2.6 (на 11 днів) вегетаційний період верби подовжився на одну декаду і посадки отримали більшу кількість ФАР. У період максимального надходження ФАР за базових умов її величина становила, як вже відмічалось, 259 ккал/см². дек, тоді як максимальна сценарна величина ФАР становить 290 ккал/см². дек, тобто на 31 ккал/см². дек більше. Якщо початкові значення сценарні і базові майже співпадають, то зменшення ФАР протягом другої половини вегетації за сценарними умовами не таке суттєве і на останню декаду вегетації становить 155 ккал/см². дек.

Прихід ФАР за вегетаційний період за середніми багаторічними даними складає 148,1 кДж/см² (табл. 3.1). За сценарієм RCP2.6 протягом 2021-2050 рр. прихід ФАР очікується набагато більше за базовий – 169,8 кДж/см², що на 21,7 кДж/см² більше. У відсотковому співвідношенні таке збільшення є досить суттєвим і становить 17%.

3.2 Зміна агрокліматичних умов за сценарієм RCP6.0

Агрометеорологічні умови вегетації верби за умов реалізації сценарію RCP6.0 представлені у табл. 3.2. Динаміку середньодекадних температур за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з базовими значеннями представлено на рис. 3.3. Як і в попередньому варіанті можна бачити, що сценарні температури дещо більші. Так, подекадно сценарні температури самого теплого місяцю – липня – становили 21,7, 22,5 і 21,8°C відповідно. Тобто вони на 3,1, 3,2 і 2,4°C вищі за аналогічні значення температури за базовим варіантом.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP6.0 очікується ще більш ранній термін відновлення вегетації верби - 13 квітня. Таким чином, різниця в термінах у порівнянні з базовим варіантом становитиме 12 днів.

Сума активних температур, що накопичується за вегетаційний період, становить за базових умов 2614°C, за сценарними умовами вона буде дещо більшою - 2955°C. Середня за вегетаційний період верби температура повітря за умов реалізації сценарію RCP6.0 очікується, як і за сценарієм RCP2.6, на 1,7°C вищою за базову і становитиме 18,5°C.

Динаміка декадних сум опадів представлена на рис. 3.4. Можна бачити, що за сценарним варіантом у першу половину вегетації посадки верби отримують більшу кількість опадів, тоді як у другій половині вегетації базові суми дещо більше.

За цим сценарієм очікується найбільша кількість опадів за вегетацію верби, яка становитиме 395 мм, що більше за базову на 18 мм (5 %). Величина E збільшиться відповідно на 104 мм (28%) у порівнянні з базовою і становитиме 470 мм. Величина E_0 також збільшиться до значення 638 мм, що на 151 мм або 31% більше базового значення.

Також суттєво збільшиться дефіцит вологи протягом вегетації. Він становитиме 168 мм замість 121 мм (тобто збільшення дефіциту становитиме відповідно 41 мм або 40%). У зв'язку з майже рівнозначним збільшенням

Таблиця 3.2 – Агрометеорологічні умови вегетації верби у Поліссі 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	25.04	16,1	377	366	487	73	1,44	148,1
RCP6.0	13.04	17,8	395	470	638	72	1,30	174,4
Різниця	-12	1,7	18	104	151	1	-0,14	26,3
Різниця, %			5	28	31			18

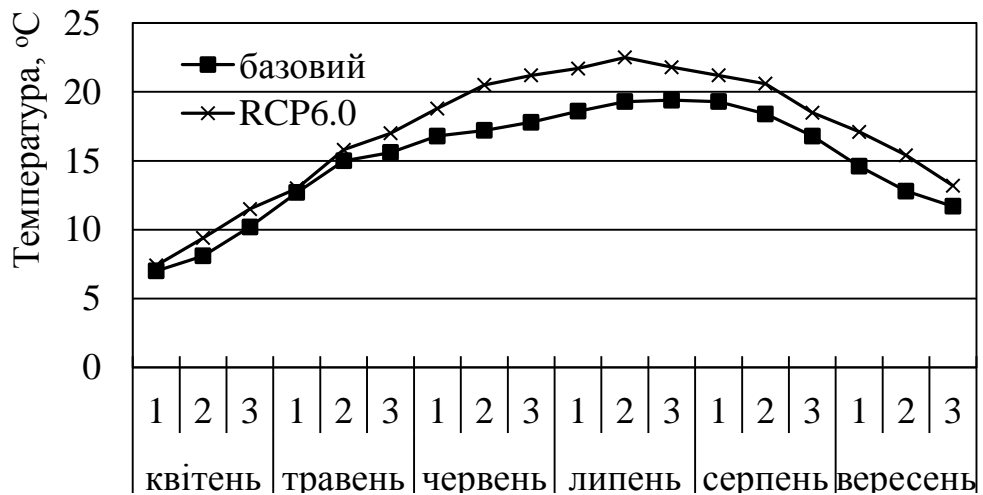


Рисунок 3.4 – Динаміка середньодекадних температур повітря за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з базовим варіантом

вологоспоживання та вологопотреби плантацій верби майже не зменшиться відносна вологозабезпеченість вегетаційного періоду культури (E/E_0): з 73 до 72 %. Дещо зменшиться величина ГТК: з 1,44 до 1,30 відн. од. Динаміка сум ФАР у посадках верби протягом вегетаційного періоду за базовими та сценарними умовами представлена на рис 3.6.

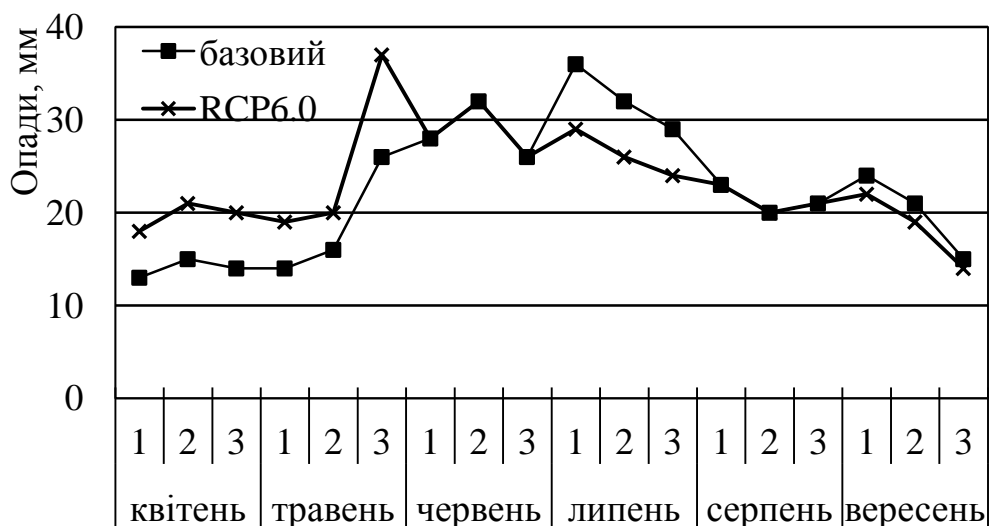


Рисунок 3.5 – Динаміка декадних сум опадів за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з базовим варіантом

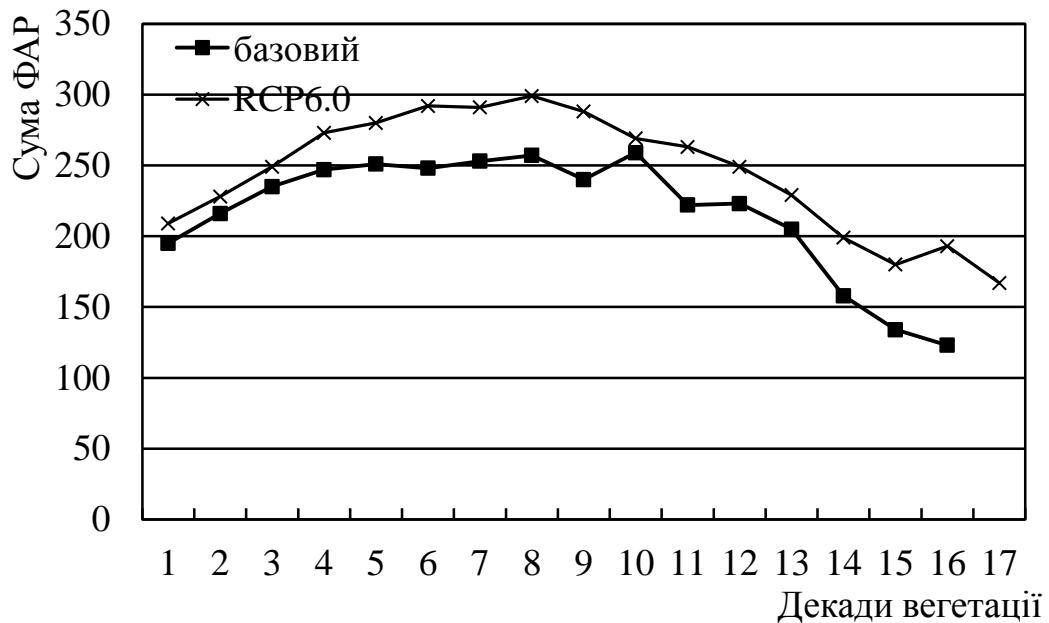


Рисунок 3.6 - Динаміка сум ФАР (ккал/см². доба) за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з базовими умовами

Як вже відзначалось, за базових умов на початку вегетації величина ФАР не перевищує 195 ккал/см². дек. Потім спостерігається поступове збільшення величини ФАР до восьмої-десятої декади вегетації, коли максимальне значення становить 256-258 ккал/см². дек, а після десятої декади вегетації інтенсивність ФАР різко зменшується і на кінець вегетації її величини не перевищують 120 ккал/см². дек.

Як і для сценарію RCP2.6 у цілому хід сценарних величин ФАР аналогічний базовому, але завдяки більш ранньому початку вегетації за сценарієм RCP6.0 (на 12 днів) вегетаційний період верби подовжився на одну декаду і посадки отримали більшу кількість ФАР. У період максимального надходження ФАР за базових умов її величина становила, як вже відмічалось, 259 ккал/см². дек, тоді як максимальна сценарна величина ФАР становить 300 ккал/см². дек, тобто на 41 ккал/см². дек більше. Якщо початкові значення сценарні і базові майже співпадають, то збільшення ФАР протягом другої половини вегетації за сценарними умовами досить суттєве. На останню декаду вегетації за базовим варіантом ця величина становить

становить 123 кал/см²·дек., а за базовим – 167 кал/см²·дек, тобто на 44 кал/см²·дек більше.

Прихід ФАР за вегетаційний період верби за сценарієм RCP6.0 очікується найбільший – 174,4 кДж/см², що на 26,3 кДж/см² більше базової суми (табл. 3.2). У відсотковому співвідношенні таке збільшення є досить суттєвим і становить 18%.

4 ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВЕРБИ ПРУТОВИДНОЇ

4.1 Моделювання урожаїв різних агроекологічних категорій

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

Модель заснована на концепції максимальної продуктивності рослин Х.Г. Тоомінга [25, 26], та запропонована в агрометеорології А.М. Польовим [27, 28]. 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.

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

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

4.1.2 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. Алпат'єва:

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

де DWW – середній за декаду дефіцит насичення повітря;

dv – кількість днів у розрахунковій декаді.

Сумарне випаровування визначається за формулою С.І. Харченко

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

де E – сумарне випаровування, мм;

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

O_s – сума опадів за декаду, мм;

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

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

За допомогою наступного співвідношення розраховується інфільтрація у нижні шари ґрунту

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

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

Для розрахунку запасів продуктивної вологи на схилі використовується рівняння водного балансу

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

4.1.3 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

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

де величина α_{Φ} знаходиться за виразом

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

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

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

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

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

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

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

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

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.;

$Q_{\text{фap}}$ – 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 $\frac{\Delta YB}{\Delta t}$ – 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.

4.1.6 Блок узагальнених оціночних характеристик

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

Розглянемо п'ять узагальнених характеристик:

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

$$K_m = ММУ/ПУ, \quad (4.28)$$

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

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

$$K_2 = ДМУ/ММУ, \quad (4.29)$$

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

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

$$K_{акл} = UB/MMU, \quad (4.30)$$

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

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

$$K_{земл} = UB/ДМУ, \quad (4.31)$$

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

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

$$K_{аек.пот} = UB/ПУ, \quad (4.32)$$

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

Підвищення рівня UB і доведення його до $ДМУ$ вимагає ретельного дотримання всіх засобів агротехніки, виконання їх у повній відповідності з агрометеорологічними умовами на конкретному полі. Це є першочерговою

задачею програмування урожаїв, спрямованого на усунення дії різноманітних господарських факторів, які знаходяться у мінімумі.

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

Формули (4.1)–(4.32) дозволяють визначити основні агроекологічні категорії урожайності сільськогосподарських культур, що формуються під впливом ґрунтово-кліматичних умов та виконати для цих територій оцінку агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур, зокрема прутovidної верби.

4.2 Вплив змін агрокліматичних умов на фотосинтетичну продуктивність посадок верби за умов реалізації сценарію RCP2.6

Зміни агрокліматичних умов вирощування в зв'язку з очікуваними змінами клімату у Поліссі зумовляють і зміни показників фотосинтетичної продуктивності плантацій верби. 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 агроекологічних категорій: потенційного (ПУ), метеорологічно-можливого (ММУ), дійсно можливого (ДМУ) та виробничого урожаю за 20% 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 верби (табл. 4.1). При середніх багаторічних умовах вона складає 542 ц/га, в той час як за умов реалізації сценарію RCP2.6 вона суттєво збільшиться на 89 ц/га - до 631 ц/га (становитиме 116 % від базової).

На рис. 4.1 представлена динаміка середньодекадних приростів потенційної урожайності (ДПУ) верби у залежності від добових сум ФАР.

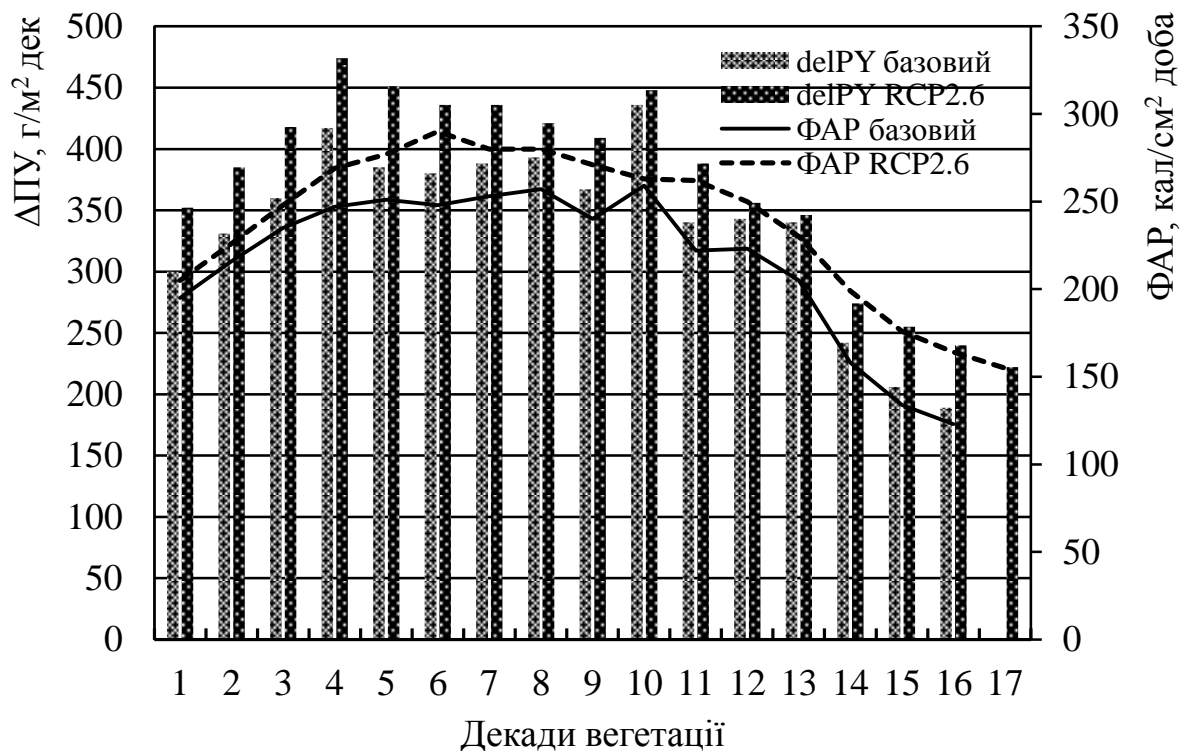


Рисунок 4.1 - Динаміка середньодекадних приростів потенційної урожайності (ДПУ) верби за сценарієм RCP2.6 у порівнянні з базовими умовами

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 400 г/(м²·дек), тоді як за сценарним варіантом найбільш активно росте ПУ верби протягом 3-10 декад

вегетації і прирости коливаються в межах 418-448 (г/м²·дек).
Виключення

Таблиця 4.2 – Формування урожаю верби за сценарієм RCP2.6 у порівнянні з базовими умовами

Період, сценарій	Загальна суха маса, ц/га			Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ² за період	Урожай при 20% вологості, ц/га
	потенційного урожаю	метеорологічно можливого урожаю	дійсно можливого урожаю		
1980-2010	542	298	179	418	149
RCP2.6	631	317	191	552	158
Різниця	89	19	12	134	12
Різниця, %	16	6	6	32	6

складає лише десята 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. З цього моменту та до кінця вегетації ДПУ зменшується до 188 г/(м² · дек) за базових умов і до 222 г/(м² · дек) за сценарних.

На рисунку 4.2 представлена динаміка накопичення відносної площі листя плантації верби прутувидної у Поліссі в умовах зміни клімату за сценарієм RCP2.6 в порівнянні з базовим періодом (1980-2010 рр.).

Невелике зменшення вологозабезпеченості протягом вегетації за сценарієм RCP2.6, завдяки стабільності температурного режиму та збільшенню надходження ФАР, не вплине негативно на процес наростання площі листя (LL). 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 4,20 м²/м², то для періоду 2021-2050 рр. за сценарієм RCP2.6 очікується її величина 4,95 м²/м². Базове значення фотосинтетичного потенціалу посівів становить 418

$\text{м}^2/\text{м}^2$, за умов зміни клімату за сценарієм RCP2.6 воно збільшиться до $552 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тобто на 32%.

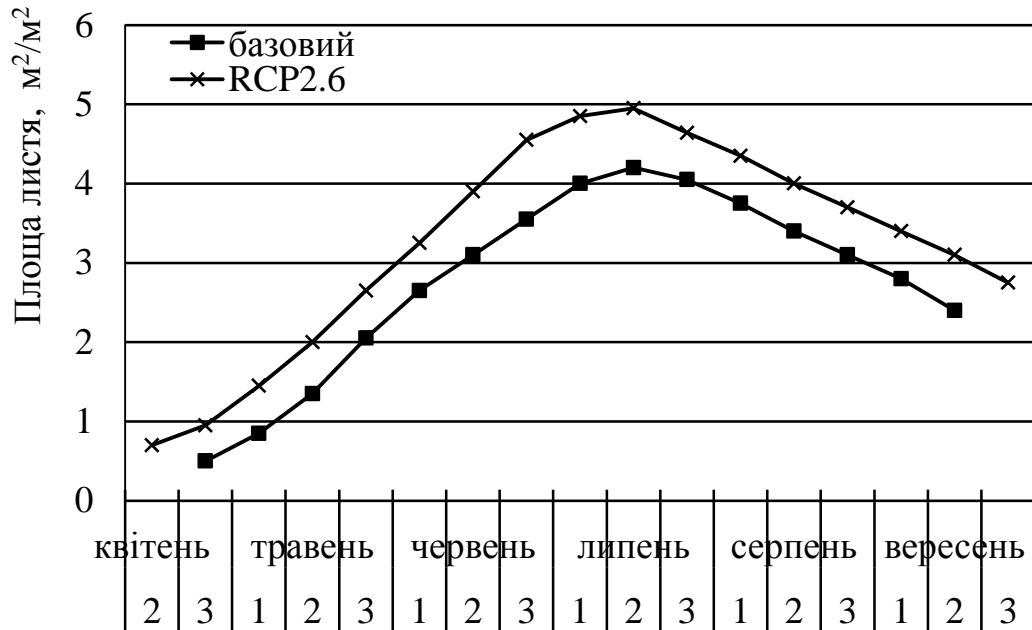


Рисунок 4.2 - Динаміка накопичення відносної площі листя за сценарієм RCP2.6 у порівнянні з базовими умовами

Як уже відзначалося, ММУ будь-якої культури залежить від температурного режиму та режиму зволоження території. Оптимальною температурою для верби, як і для багатьох інших культур є 20°C . З результатів відповідних розрахунків розділу 3 можна зробити висновок, що середня за вегетаційний період верби сценарна температура ближче до оптимальної, ніж базова ($18,5^{\circ}\text{C}$ проти $16,1^{\circ}\text{C}$). Таким чином температурні умови вегетаційного періоду верби за сценарієм RCP2.6 очікуються дещо краще ніж за базових умов.

Також можна сказати, що умови зволоження за сценарієм RCP2.6 практично не зміняться у порівнянні з базовими. Тому величина ММУ, 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 298 ц/га , в той час як за умов

реалізації сценарію RCP2.6 вона збільшиться до 317 ц/га (становитиме 106 % від базової).

4.3 Вплив змін агрокліматичних умов на фотосинтетичну продуктивність посадок верби за умов реалізації сценарію RCP6.0

Як і у випадку реалізації сценарію RCP2.6, зміни агрокліматичних умов вирощування в зв'язку з очікуваними за сценарієм RCP6.0 зумовлять і відповідні зміни показників фотосинтетичної продуктивності плантацій верби. 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 агроекологічних категорій: потенційного (ПУ), метеорологічно-можливого (ММУ), дійсно можливого (ДМУ) та виробничого урожаю за 20% 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 верби (табл. 4.2). При середніх багаторічних умовах вона складає 542 ц/га, в той час як за умов реалізації сценарію RCP6.0 вона суттєво збільшиться на 89 ц/га - до 631 ц/га (становитиме 116 % від базової).

На рис. 4.3 представлена динаміка середньодекадних приростів потенційної урожайності (ДПУ) верби у залежності від добових сум ФАР. Можна бачити, що хід ФАР обумовлює прирости потенційної урожайності. Величини сум ФАР за базовим варіантом значно менші за сценарні, отже і базові значення приростів також менше за сценарні.

Наприклад, майже всі величини базових приростів не перевищують 400 г/(м²·дек), тоді як за сценарним варіантом найбільш активно росте ПУ верби

протягом 3-10 декад вегетації і прирости коливаються в межах 420-460 (г/м²·дек). Виключення, як і в першому випадку, складає лише десята 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. З цього моменту та до кінця вегетації ΔПУ зменшується до 188 г/(м² · дек) за базових умов і до 217 г/(м² · дек) за сценарних.

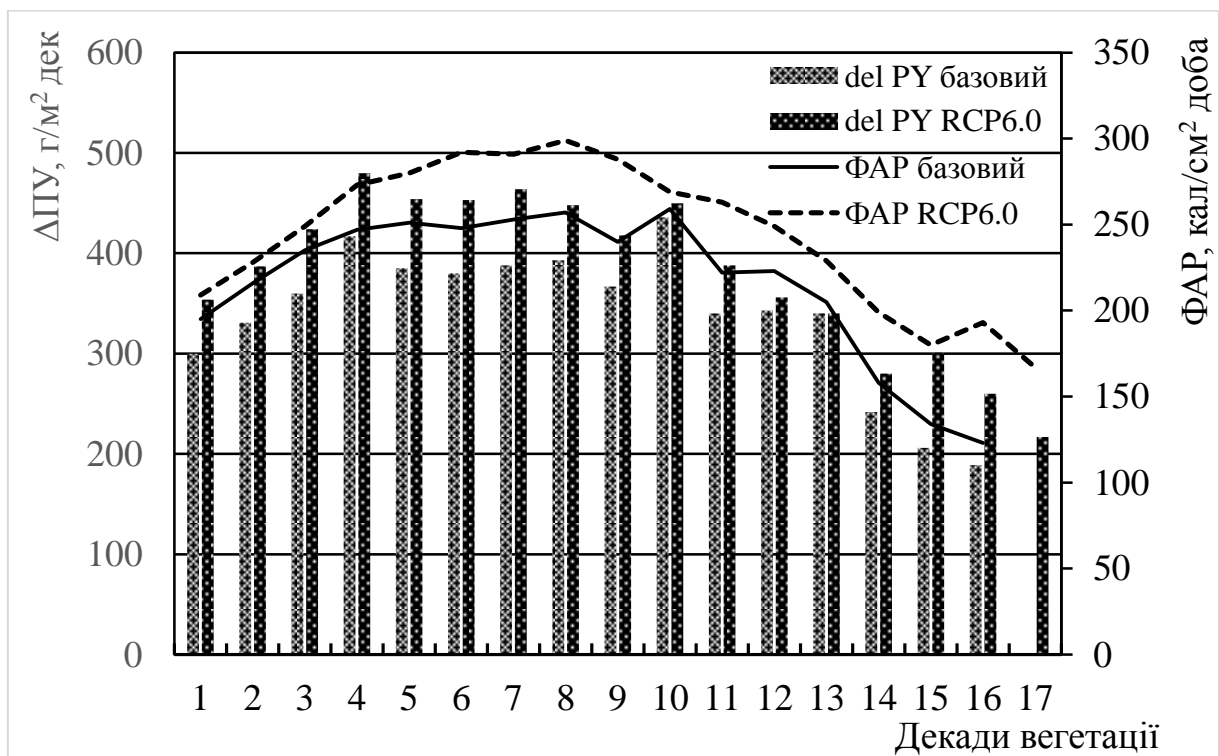


Рисунок 4.3 - Динаміка середньодекадних приростів потенційної урожайності (ΔПУ) верби за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з базовими умовами

На рисунку 4.4 представлена динаміка накопичення відносної площі листя плантації верби прутувидної у Поліссі в умовах зміни клімату за сценарієм RCP6.0 в порівнянні з базовим періодом (1980-2010 рр.).

Як вже відзначалося, умови тепло- і вологозабезпеченості вегетаційного періоду верби за умов реалізації сценарію RCP6.0 зміняться

несуттєво. Динаміка сценарного росту площі буде аналогічною динаміці росту за базових умов, але величини LL будуть дещо вищими.

Таблиця 4.2 – Формування урожаю верби за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з базовими умовами

Період, сценарій	Загальна суха маса, ц/га			Фотосинтетичний потенціал, $\text{м}^2/\text{м}^2$ за період	Урожай при 20% вологості, ц/га
	потенційного урожаю	метеорологічно можливого урожаю	дійсно можливого урожаю		
1980-2010	542	298	179	418	149
RCP6.0	647	349	209	569	174
Різниця	105	51	30	151	25
Різниця, %	20	17	17	36	17

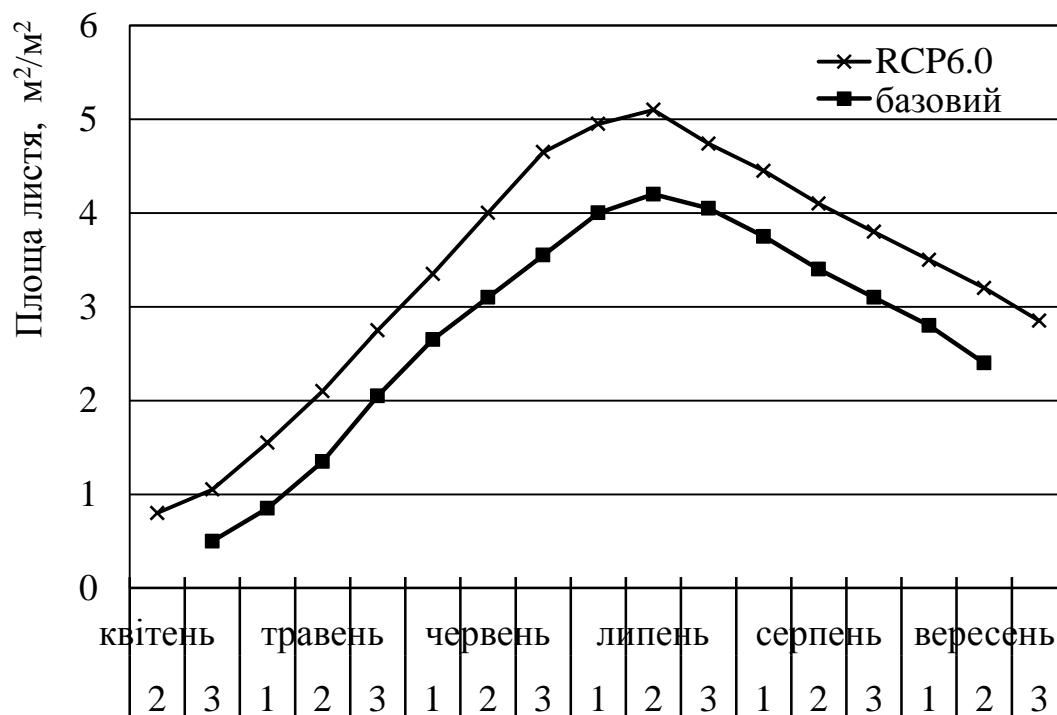


Рисунок 4.4 - Динаміка накопичення відносної площі листя за сценарієм RCP6.0 у порівнянні з базовими умовами

Якщо в період максимального розвитку (це, як правило, 9-10 декада вегетації) за середніх багаторічних умов площа листя становить $4,20 \text{ м}^2/\text{м}^2$, то для періоду 2021-2050 рр. за сценарієм RCP6.0 очікується її величина $5,15 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Базове значення фотосинтетичного потенціалу посівів становить $418 \text{ м}^2/\text{м}^2$, за умов зміни клімату за сценарієм RCP6.0 воно збільшиться до $569 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тобто на 36%.

Як уже відзначалося, ММУ будь-якої культури залежить від температурного режиму та режиму зволоження території. Оптимальною температурою для верби, як і для багатьох інших культур є 20°C . З результатів відповідних розрахунків розділу 3 можна зробити висновок, що середня за вегетаційний період верби сценарна температура ближче до оптимальної, ніж базова ($17,8^\circ\text{C}$ проти $16,1^\circ\text{C}$). Таким чином температурні умови вегетаційного періоду верби за сценарієм RCP6.0 очікуються дещо краще ніж за базових умов. Тому величина ММУ, яка є інтегральною характеристикою агрометеорологічних ресурсів вегетаційного періоду буде перш за все визначатися рівнем ПУ. З таблиці 4.2 видно, що при середніх багаторічних умовах вона складає 298 ц/га, в той час як за умов реалізації сценарію RCP2.6 вона збільшиться до 349 ц/га (становитиме 117 % від базової). З таблиці 4.2 також видно, що при середніх багаторічних умовах ДМУ становить 179 ц/га, в той час як за умов реалізації сценарію RCP6.0 вона збільшиться до 209 ц/га (становитиме 117 % від базової).

4.4 Оцінка продуктивності агрокліматичних ресурсів території Полісся для вирощування енергетичної верби

На основі кількісних значень фактичних та сценарних урожаїв енергетичної верби різних агроекологічних рівнів ми виконали оцінку узагальнюючих характеристик ґрунтових та агрокліматичних умов формування продуктивності її плантацій. Рівень родючості ґрунтів Житомирської області нами прийнято за 0,60 відн. од.

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

Оцінки ступеня сприятливості кліматичних умов території Житомирської області для вирощування енергетичної верби (K_M) дуже неоднорідні. Так, ця оцінка найвища у базовий період і становить 0,550 відн. од. У сценарні періоди вона дещо менша і змінюється до 0,503 відн. од. за першим сценарієм і до 0,720 відн. од. у другий період і до 0,539 відн. од. за другим сценарієм.

Коефіцієнт $K_{земл}$ характеризує рівень культури землеробства з погляду ефективності господарського використання існуючого комплексу агрометеорологічних і ґрунтових умов. Його значення також суттєво відрізняються в залежності від варіантів дослідження. Так, у базовий період $K_{земл}$ становить 0,604, за сценарієм RCP2.6 $K_{земл}$ становить 0,568 і за сценарієм RCP6.0 0,689.

Величина відношення урожайності у виробництві до потенційної урожайності характеризує рівень реалізації агроекологічного потенціалу і оцінюється показником $K_{аек.пот}$. Значення цього коефіцієнту також змінюються протягом досліджуваних варіантів. Так, у базовий період $K_{аек.пот}$ становить 0,332, за першим сценарієм $K_{аек.пот}$ становить 0,286, за другим його значення найбільше – 0,371.

Описуючи оцінку рівня використання агрокліматичних ресурсів $K_{акл}$ за вегетаційний період енергетичної верби, з табл. 4.3 видно, що рівень в усіх досліджених варіантах становить 0,600 відн.од.

Розподіл потенційного врожаю всієї сухої біомаси енергетичної верби також досить неоднорідний. Найменший ПУ 5421 г/м² очікується у базовий період. За умов реалізації сценарію RCP2.6 ПУ становить складають 6305 г/м². Найбільші потенційні урожаї сухої біомаси енергетичної верби очікуються за умов реалізації сценарію RCP6.0 – 6475 г/м².

Таблиця 4.3 – Узагальнені характеристики продуктивності прутovidної верби в Поліссі в умовах зміни клімату

Загальні показники за вегетаційний період	Періоди, сценарії		
	Базовий	RCP2.6	RCP6.0
Максимальні прирости ПУ, г/м ²	436	474	479
Максимальні прирости ММУ, г/м ²	235	322	344
Максимальні прирости ДМУ, г/м ²	163	197	206
К хоз для ПУ, відн.од	0,7	0,7	0,7
К хоз для ММУ, відн.од	0,7	0,7	0,7
К хоз для ДМУ, відн.од.	0,7	0,7	0,7
ПУ, всієї сухої біомаси, г/м ²	5421	6305	6475
ММУ, всієї сухої біомаси, г/м ²	2981	3169	3487
ДМУ, всієї сухої біомаси, г/м ²	1789	1901	2092
УВ, ц/га	149	158	174
Оцінка ступеня сприятливості кліматичних ресурсів K_m	0,550	0,503	0,539
Оцінка рівня культури землеробства $K_{земл}$	0,604	0,568	0,689
Оцінка рівня реалізації агро-екологічного потенціалу $K_{аек.пот}$	0,332	0,286	0,371
Оцінка рівня використання агрокліматичних ресурсів $K_{акл}$	0,600	0,600	0,600

Рівні ММУ визначаються впливом волого-температурного режиму, вони також відрізняються за різними варіантами. Найменші рівні ММУ сухої загальної біомаси енергетичної верби спостерігаються у базовий період - 2981 г/м². За умов зміни клімату вони збільшуються: за першим сценарієм очікуються значення ММУ 3169 г/ м², за другим сценарієм – 3487 г/м².

Рівні ДМУ сухої біомаси енергетичної верби на території Житомирської області мають розподіл подібний до розподілу ММУ. Найнижчі значення відзначаються у базовий період і становлять 1789 г/м², за першим сценарієм очікується деяке зростання значень ММУ сухої біомаси верби – до 1901 г/м², а за другим сценарієм ДМУ максимальний і складає 2092 г/м².

Розподіл урожайності сирої біомаси верби за стандартної 20% вологості у виробництві (УВ) також подібний до розподілу ММУ і ДМУ. Найнижчі врожаї у виробництві очікуються у базовий період - 149 ц/га, за першим сценарієм. вони дещо зростуть до 158 ц/га, а найвищі виробничі урожаї очікуються за другим сценарієм - 174 ц/га.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз агрокліматичних умов вирощування верби прутівидної показав, що на території Житомирської області сценарні суми температур за вегетаційний період будуть дещо більшими, ніж базові. Так, сума температур за базових умов становить 2576°C . За умов реалізації сценарію RCP2.6 очікується її значення 2972°C , а за умов реалізації с RCP6.0 - 2848°C .

У цілому можна сказати, що умови теплозабезпеченості вегетаційного періоду прутівидної верби у період 2021-2050 рр. на території Житомирської області дещо покращаться.

2. За умов реалізації сценаріїв RCP2.6 та RCP6.0 вологозабезпеченість плантацій практично не зміниться. Базова сума опадів за вегетаційний період становить 377 мм. За умов реалізації сценаріїв RCP2.6 та RCP6.0 очікуються дещо більші сценарні суми опадів - 382 мм та 395 мм відповідно. Це відповідно лише на 1 % та 5% більше за базову суму.

У Житомирській області базове значення E становить 366 мм. Сумарне випаровування збільшиться за умов реалізації сценарію RCP2.6 до 466 мм, а за умов реалізації сценарію RCP6.0 – до 470 мм Також за умов реалізації сценаріїв RCP дещо зміниться і величина випаровуваності. Базове значення становить 487 мм. Випаровуваність за першим сценарієм збільшиться до 650 мм, а за другим - до 638 мм.

Базове значення вологозабезпеченості складає 73 %. Вологозабезпеченість за обома сценаріями становить зменшиться до 72%. Таким чином, вологозабезпеченість за сценаріями не зміниться.

3. Найвищі базові показники приростів потенційної урожайності верби прутівидної становлять $417-436 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$, у той час, коли спостерігається сума ФАР $247-259 \text{ кал}/\text{см}^2 \text{ доба}$. Найбільші прирости потенційного урожаю за сценарієм RCP2.6 становлять $451-474 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$ при сумах ФАР $269-277 \text{ кал}/\text{см}^2 \text{ доба}$. Найбільші прирости ПУ за сценарієм RCP6.0 становлять $464-480 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$ при сумах ФАР $273-291 \text{ кал}/\text{см}^2 \text{ доба}$.

4. Невелике зменшення вологозабезпеченості протягом вегетації за сценарієм RCP2.6, завдяки стабільності температурного режиму та збільшенню надходження ФАР, не вплине негативно на процес наростання площі листя. Якщо в період максимального розвитку (це, як правило, 9-10 декада вегетації) за середніх багаторічних умов площа листя становить $4,20 \text{ м}^2/\text{м}^2$, то для періоду 2021-2050 рр. за сценарієм RCP2.6 очікується її величина $4,95 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за сценарієм RCP6.0 очікується її величина $5,15 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Базове значення фотосинтетичного потенціалу посівів становить $418 \text{ м}^2/\text{м}^2$, за умов зміни клімату за сценарієм RCP2.6 воно збільшиться до $552 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тобто на 34%, а за умов зміни клімату за сценарієм RCP6.0 воно збільшиться до $569 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тобто на 36%.

5. За базових умов урожай сирової маси верби прутовидної становить 149 ц/га. За умов зміни клімату за сценарієм RCP2.6 у період 2021-2030 рр. очікується збільшення урожаю до 158 ц/га, а за сценарієм RCP6.0 - до 174 ц/га. Таким чином, в умовах змін клімату урожаї верби збільшаться на 12-17% в залежності від сценарію зміни клімату.

6. Оцінка ступеня сприятливості кліматичних умов території Житомирської області для вирощування енергетичної верби (K_M) найвища у базовий період і становить 0,550 відн. од. У сценарні періоди вона дещо менша і змінюється до 0,503 відн. од. за першим сценарієм і до 0,720 відн. од. у другий період і до 0,539 відн. од. за другим сценарієм.

Коефіцієнт $K_{земл}$, що характеризує рівень культури землеробства з погляду ефективності господарського використання існуючого комплексу агрометеорологічних і ґрунтових умов у базовий період $K_{земл}$ становить 0,604, за сценарієм RCP2.6 - 0,568 і за сценарієм RCP6.0 - 0,689.

Рівень реалізації агроекологічного потенціалу, що оцінюється показником $K_{аек.пот}$ у базовий період становить 0,332, за першим сценарієм -0,286, за другим його значення найбільше - 0,371.

Тобто треба відзначити, що, виходячи з біологічних особливостей верби прутовидної, за умов реалізації сценаріїв RCP26.5 та RCP6.0 у Житомирській області очікуються умови, досить сприятливі для вирощування енергоплантацій прутовидної верби з метою отримання сировини для виготовлення біопалива.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Купцов Н.С., Попов Е.Г. Энергоплантации. Справочное пособие по использованию энергетических растений. Минск: Тэхналогія, 2015. 128 с.
2. Хіврич О.Б., Квак В.М., Каськів В.В., Мамайсур В.В., Макаренко А.С. Энергетичні рослини як альтернатива традиційним видам палива. *Агробіологія*. 2011. Вип. 6. С. 153-157.
3. «Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні». Практичний посібник / За ред. Г. Гелетука. Київ: Поліграф плюс, 2015. 72 с.
4. Гелетука Г., Железна Т. Энергетичні варіанти для АПК. *The Ukrainian Farmer*. 2015. №1(61). С.20-25.
5. Роїк М.В., Гументик М.Я., Мамайсур В.В. Перспективив вирощування енергетичної верби для виробництва біопалива. *Біоенергетика*. 2013. №2. С.18-19.
6. Энергетична верба: технологія вирощування та використання / за ред. В. М. Сінченка. Вінниця: Нілан-ЛТД, 2015. 340 с.
7. Фучило Я. Д., Сбитна М. В. Верби України: біологія, екологія, використання. Київ: Логос, 2017. 200 с.
8. Сінченко В. М., Мельничук Г. А. Економічна ефективність вирощування енергетичної верби в Україні. *Біоенергетика*. 2018. №1(11). С.49-56.
9. Агрокліматичний довідник по території України / за ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіді, А.Л. Прокопенка. - Кам'янець-Подільський: ПП Галагодза Р.С., 2011. – 108 с.
10. Куян В.Г., Євтушок І.М., Марцінівський М.В. Стан земельних ресурсів Житомирщини та шляхи оптимізації їх використання. *Вісник ЖНАЕУ*. Серія: Рослинництво, плодоовочівництво та кормовиробництво. 2016. № 1 (53), т. 1. С. 140-152.

11. Ищук Л.П. Энергетические свойства автохтонных видов семейства *Salicaceae* Mirbel. в Украине. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 7. № 4. С. 108-112.
12. Фучило Я.Д., Сбитна М.В., Фучило О.Я. Автохтонні верби України. Науковий вісник НЛТУ України. 2013. Т. 23. № 6. С. 68-72.
13. Фучило Я.Д., Гументик М.Я., Макух Я.П. Продуктивність енергетичних плантацій верби (*Salix L.*) в умовах Центрального Лісостепу України. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2017. № 1(65). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2017_1_10.
14. Гнап І.В. Вплив азотних добрив на продуктивність і якість біомаси деяких сортів енергетичної верби в умовах Західного Полісся України. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2018. № 5(75). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2018_5_16.
15. Mitchell C. P. Short-rotation forestry-operations, productivity and costs based on experience gained in the UK / C. P. Mitchell, E. A. Stevens, M. P. Watters // Forest Ecology and Management. 1999. Vol. 121(August). P. 123–136.
16. Швартау В.В., Михальська Л.М. Гербіциди, фізіологічні основи регуляції фітотоксичності. Київ: Логос, 2013. 391 с.
17. Порва В.І., Лісовський В.Б. Застосування гербіцидів при вирощуванні чагарникових верб на промислових плантаціях. Лісоводство і агролісомеліорація. 1995. Вип.90. С. 55-59.
18. Макух Я.П. Екологічний прийом захисту посадок енергетичної верби від бур'янів. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal) | Nauki rolnicze*. 2016. №6. С. 114-116.
19. Мошківська С.В., Макух Я.П. Мульчування міжрядь – як ефективний екологічний захист посадок енергетичної верби від бур'янів. Карантин і захист рослин. 2018. Вип. 3. С. 47-50.

20. Родькин О.И. Экономические аспекты производства возобновляемой энергии из древесины быстрорастущей ивы. Экономика и экологический менеджмент. 2013. № 2. С. 3–13.
21. Клочков А.В., Кацер Д.В. Биоэнергетика в сельском хозяйстве : научно-методическое пособие. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2009. 64 с.
22. Родькин О.И. Производство возобновляемого биотоплива в аграрных ландшафтах: экологические и технологические аспекты: монография. Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2011. 212 с.
23. Полевой А.Н., Ванденгов Х., Войцехович О.В., Викторова Н.В. Моделирование влияния факторов внешней среды на рост посадок ивы корзиночной (*Salix viminalis* L.) в условиях радиоактивного загрязнения. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2002. том XVIII. С. 314-336.
24. Изменение климата, 2013 г. Физическая научная основа, резюме для политиков, техническое резюме и часто задаваемые вопросы. Под ред. Томаса Ф. Стоккера и др. МГЭИК, 2013. 204 с.
25. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая / Х.Г. Тооминг – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.
26. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов / Х.Г. Тооминг – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 264 с.
27. Полевой А.Н. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур. / А.Н. Полевой // Метеорология, климатология и гидрология. – 2004. – № 48. – С. 195-
28. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем: навчальний посібник / А.М. Польовий. – К. : КНТ, 2007. – 348 с.