

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут
Кафедра Агromетеорології та агроекології

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: **Агрокліматична оцінка перспектив вирощування**
енергокультур в лісостепових областях
в умовах зміни клімату

Виконав студент 2 курсу групи МНЗ-2А, з/ф
Спеціальності 103 «Науки про Землю»
Освітня програма «Агromетеорологія»

Ярмолінський Олександр Юрійович

Керівник канд.геогр.наук, доцент
Вольвач Оксана Василівна

Консультант -

Рецензент доктор геогр.наук, професор
Хохлов Валерій Миколайович

Одеса 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут
Кафедра агрометеорології та агроекології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма Агрометеорологія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри
агрометеорології та агроекології**

Польовий А.М.

« 28 » жовтня 2021 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

студенту Ярмолінському Олександрю Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Агрокліматична оцінка перспектив вирощування енергокультур в
лісостепових областях в умовах зміни клімату

керівник роботи Вольвач Оксана Василівна, канд.геогр.наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ОДЕКУ від “ 18 ” жовтня 2021 року № 216 «С»

2. Строк подання студентом роботи 08 грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Метеорологічні дані за сценарієм RCP4.5 зміни клімату
за період 2021-2050 рр. (середньодекадні температури повітря, декадні суми опадів,
середньодекадний дефіцит вологості повітря, відносна вологість повітря, інтенсивність
сонячної радіації) по Вінницькій, Полтавській та Сумській областям.

2. Середньобогаторічні метеорологічні дані по станціям Вінницької, Полтавської та
Сумської областей та дані в середньому по областям.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити): 1. Вивчити фізико-географічні та агрокліматичні особливості
території Лісостепу (на прикладі Вінницької, Полтавської та Сумської областей);
ознайомитись з методологією визначення біокліматичного потенціалу території (за
Д.І. Шашко) та динамічного моделювання продукційного процесу (за А.М. Польовим);
вивчити біологічні особливості проса лозовидного; визначити біокліматичний
потенціал території дослідження стосовно вирощування енергокультур; оцінити зміни
агрокліматичних умов вирощування світчграсу у трьох лісостепових областях у
зв'язку зі зміною клімату; визначити вплив змін клімату на фотосинтетичну
продуктивність та урожайність світчграсу за умов реалізації сценарію RCP4.5.

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

1. Графіки динаміки сценарних (за сценарієм RCP4.5) середньодекадних температур і сум опадів за декаду у порівнянні з базовими для Вінницької, Полтавської та Сумської областей; графік накопичення площі листя посіву лозовидного проса за сценарним і базовим варіантом.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 28 жовтня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Отримання завдання. Формування бази даних для виконання кваліфікаційної роботи магістра роботи. Оформлення текстової частини першого та другого розділів кваліфікаційної роботи магістра.	28.10.2021 р. - 04.11.2021 р.	90	5 (відмінно)
2.	Розрахунки біокліматичного потенціалу території трьох лісостепових областей стосовно вирощування енергокультур.	05.11.2021 р. - 12.11.2021 р.	90	5 (відмінно)
3.	Розрахунки агрокліматичних показників вегетаційного періоду лозовидного проса по трьом областям.	13.11.2021 р. - 21.11.2021 р.	90	5 (відмінно)
	Рубіжна атестація	22.11.2021 р. - 26.11.2021 р.	90	5 (відмінно)
4.	Розрахунки урожаїв світчграсу різних агроекологічних категорій за умов реалізації сценарію RCP4.5 у порівнянні з базовими по трьом лісостеповим областям.	27.11.2021 р. - 03.12.2021 р.	90	5 (відмінно)
5.	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату.	04.12.2021 р. - 08.12.2021 р.	90	5 (відмінно)
	Перевірка роботи на плагіат, складення протоколу і висновку керівника. Підписання авторського договору.	09.12.2021 р. - 10.12.2021 р.	90	5 (відмінно)
	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту.	-	-	-
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90,0	

Студент

_____ (підпис)

Ярмолінський О.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Вольвач О.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ярмолінський О.Ю. Агрокліматична оцінка перспектив вирощування енергокультур в лісостепових областях в умовах зміни клімату.

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, світчграсу (*Panicum virgatum*). Тому необхідне детальне вивчення агрокліматичних умов його 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 світчграсу на прикладі лісостепових областей України – Вінницької, Сумської та Полтавської.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *завдання*:

- провести оцінку продуктивності агрокліматичних ресурсів для світчграсу за біокліматичним потенціалом;
- розрахувати основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду світчграсу третього року життя в Вінницькій, Сумській і Полтавській областях за базовими умовами та врахуванням змін клімату за сценарієм RCP4.5;
- визначити вплив можливих змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та урожайність світчграсу за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5.

Об'єкт дослідження - енергопосадки світчграсу в Лісостепу.

Предмет дослідження - вплив можливих змін клімату на агрокліматичні умови вирощування і продуктивність енергопосадок в Вінницькій, Полтавській та Сумській областях.

Метод дослідження - метод математичного моделювання продукційного процесу рослин.

Вперше: встановлені закономірності впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування світчграсу та продуктивність культури в Лісостепу.

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

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань. Повний обсяг роботи становить 64 сторінок, 7 рисунків, 10 таблиць. Список використаних літературних джерел містить 38 найменувань.

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

SUMMARY

Yarmolinsky O.Y. Agroclimatic assessment of prospects for growing energy crops in forest-steppe regions in the context of climate change.

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, switchgrass (*Panicum virgatum*). 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 switchgrass on the example of the Forest-Steppe regions of Ukraine – Vinnitsa, Sumy and Poltava regions.

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

- to assess the productivity of agro-climatic resources for switchgrass by bioclimatic potential;
- calculate the main agro-climatic indicators of the growing season of switchgrass of the third year of life in the Vinnitsa, Sumy and Poltava regions for the basic conditions and taking into consideration climate change scenarios RCP4.5;
- to determine the impact of possible climate change on photosynthetic productivity and productivity of switchgrass, provided the implementation of climate change scenarios RCP4.5.

The object of the study is the energy plantations of switchgrass in the Forest-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 Vinnitsa, Sumy and Poltava regions.

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 switchgrass and productivity of culture in Vinnitsa Sumy and Poltava regions 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 switchgrass and optimization of acreage in the conditions of implementation of scenarios RCP4.5 climate change in the forest-steppe.

The work consists of an introduction, 4 sections, conclusions, a list of references. The full volume of the work is 64 pages, 7 figures, 10 tables. The list of references contains 38 titles.

KEY WORDS: switchgrass, bioenergy, productivity model, climate change, agro-climatic conditions, yield biomass.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ЛІСОСТЕПОВИХ ОБЛАСТЕЙ УКРАЇНИ	9
1.1 Агрокліматична характеристика Сумської області.....	9
1.2 Агрокліматична характеристика Полтавської області.....	12
1.3 Агрокліматична характеристика Вінницької області.....	14
2 БОТАНІКО-БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СВІТЧГРАСУ ТА ЙОГО ВИМОГИ ДО УМОВ ВИРОЩУВАННЯ	18
2.1 Потенціал біоенергетичних культур в Україні.....	18
2.2 Ботаніко-біологічна характеристика і особливості розвитку біоенергетичної культури просо лозовидне (світчграс)	20
2.3 Вимоги світчграсу до екологічних факторів та технології виросування.....	22
3 ДОСЛІДЖЕННЯ БІОКЛІМАТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЛІСОСТЕПОВИХ ОБЛАСТЕЙ	26
3.1 Методика оцінки біокліматичного потенціалу	26
3.2 Агрокліматична оцінка сучасного біокліматичного потенціалу лісостепових областей.....	29
3.2.1 Оцінка біокліматичного потенціалу території Сумської області....	29
3.2.2 Оцінка біокліматичного потенціалу території Полтавської області	31
3.2.3 Оцінка біокліматичного потенціалу території Вінницької області	32
4 ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОСА ЛОЗОВИДНОГО В ЛІСОСТЕПОВИХ ОБЛАСТЯХ ПІД ВПЛИВОМ ЗМІН КЛІМАТУ	37
4.1 Модель оцінки агрокліматичних ресурсів як теоретична основа для дослідження впливу кліматичних змін на сільськогосподарське виробництво.....	37
4.2 Вплив змін клімату на агрокліматичні показники вегетаційного періоду світчграсу.....	39
4.3 Вплив змін клімату на продуктивність посівів світчграсу третього року вирощування.....	53
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	62

ВСТУП

На теперішній час в Україні видобувається з природних джерел лише 80 млн. т умовного палива, тоді як споживається щорічно близько 200 млн. т [1]. З цього можна зробити висновок, що більшість енергетичної сировини, що використовується в Україні є імпортованою, тобто енергетична безпека нашої держави суттєво залежить від сторонніх держав. Ця обставина є причиною збільшення тарифів на комунальні послуги, а також зниження економічних показників усіх галузей народного господарства України.

Окрім того, що світові поклади нафти та газу не є нескінченними, треба пам'ятати, що значне використання цих речовин у минулому столітті спричинило збільшення викидів CO₂ в атмосферу та призвело до глобального потепління. Тому проблема екологічної безпеки за теперішнього часу вже набула геополітичного характеру. Для вирішення цієї проблеми не тільки в Україні, а у цілому світі останнім часом активно досліджується питання пошуку альтернативних джерел енергії та еколого-економічної доцільності використання цих джерел, основним з яких є біопаливо [2].

Іншим важливим аспектом необхідності активно використання альтернативних джерел енергії в Україні також є те, що національні енергетичні програми країн ЄС, США та Канади передбачають подальше суттєве зростання сектора поновлюваних джерел енергії. Державам, які планують стати членами ЄС поставлено умову, що використання ними поновлюваних джерел енергії повинно знаходитись на рівні, не нижче європейського. Тому для України, яка вибрала європейський шлях розвитку, ця умова є додатковим аргументом на користь розвитку поновлювальних джерел енергії, і в першу чергу – біоенергетики [3-6].

Біомаса - це назва будь-якої органічної речовини, що була отримана з рослин в результаті процесу фотосинтетичного перетворення. Енергію біомаси отримують з рослинних і тваринних матеріалів, таких як лісова деревина, залишки сільськогосподарського та лісового виробництва,

промислових відходів, відходів людини чи тварин. Вона не є викопним матеріалом (як, наприклад, нафта, вугілля та газ). Нова біомаса може знову вирости після того, як був зібраний урожай. Під час росту рослини використовують атмосферний діоксид вуглецю (CO_2) для утворення своєї органічної маси. Тому накопичення і збалансоване використання біомаси є майже карбоново нейтральним [7].

На законодавчому рівні поняття біомаси як сировини для енергетичного використання міститься у Законі України «Про альтернативні види палива» [8]. Сучасному підвищенню уваги до біопалива сприяє створена в Україні Біоенергетична організація – БАУ (UABIO). Це неприбуткова громадська спілка, яка об'єднує бізнес та експертів для розвитку біоенергетики в Україні. Представники БАУ розглядають питання стосовно розвитку біоенергетики і вирощування енергетичних культур на багатьох публічних заходах а також у численних наукових працях [9]. Стосовно селекції, агротехніки вирощування та популяризації енергетичних культур багато зроблено вченими Інституту біоенергетичних культур і цукрового буряку [10], Національного університету біоресурсів і природокористування України [11], Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка [12].

У даній кваліфікаційній роботі вирішуються такі задачі:

1. Вивчити агрокліматичні умови періоду активної вегетації та визначити
2. Провести агрокліматичну оцінку біокліматичного потенціалу, що характеризує біокліматичну продуктивність клімату при природному зволоженні для територій трьох лісостепових областей України – Полтавської, Вінницької та Сумської.
3. Вивчити біологічні особливості енергетичних культур на прикладі світчграсу, його вимоги до факторів навколишнього середовища.
4. Вивчити алгоритм динамічної базової моделі агрокліматичної оцінки умов формування урожайності А.М. Польового.

5. Проаналізувати вплив можливих змін клімату на агрокліматичні умови вирощування світчграсу у трьох лісостепових областях України – Полтавській, Вінницькій та Сумській.

6. Проаналізувати вплив можливих змін клімату на фотосинтетичну продуктивність посівів енергокультур на прикладі світчграсу та його урожайність у Полтавській, Вінницькій та Сумській областях.

Для виконання розрахунків використовувались метеорологічні дані за сценарієм зміни клімату RCP4.5 та відповідні середньобаторічні метеорологічні дані по Вінницькій, Полтавській та Сумській областям.

1 АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ЛІСОСТЕПОВИХ ОБЛАСТЕЙ УКРАЇНИ

1.1 Агрокліматична характеристика Сумської області

Сумська область розташована у північно-східній частині Лівобережної України й займає площу 23,8 тис. км².

Клімат Сумської області помірно-континентальний, достатньо вологий. Зима малосніжна, нестійка, помірно холодна, літо тепле і помірно вологе. Середня температура повітря за рік становить 6,4–7,5°C. Середня температура січня (найхолоднішого місяця) – мінус 4,5–5,2°C, середня температура липня (найтеплішого місяця) становить 19,4–20,3 °C.

Зимовий період на Сумщині триває 104–117 днів – з 17–21 листопада до 5–14 березня, коли відбувається стійкий перехід середньої добової температури повітря через 0 °C у бік потепління та починається весна.

Вегетаційний період (із середніми добовими температурами повітря 5 °C і вище) триває 197–204 дні, починається в середньому по області 4 – 7 квітня і закінчується 21–25 жовтня. Сума позитивних температур повітря вище 5 °C за цей період змінюється від 2775°C на півночі області до 3065°C на півдні.

Період активної вегетації сільськогосподарських культур (із середніми добовими температурами повітря 10°C і вище) триває 157–166 днів, змінюючись в окремі роки від 140 до 186 днів, починається 20–23 квітня і закінчується 27 вересня – 4 жовтня. Сума позитивних температур повітря вище 10 °C за цей період змінюється від 2455 °C на півночі області до 2770 °C на півдні.

Літній період (із середніми добовими температурами повітря 15°C і вище), триває в області 100–108 днів – з 21–27 травня до 3–6 вересня. Сума

позитивних температур повітря вище 15 °С за цей період змінюється від 1780 °С на півночі області до 2035 °С на півдні.

Середня кількість опадів по області за рік становить 589 мм, змінюючись по території від 549 до 646 мм. Кількість опадів по роках змінюється від 372 до 868 мм. Близько 70 % від річної кількості опадів випадає в теплий період року.

Режим зволоження території області створює в цілому позитивний баланс вологи в ґрунті. Проте через високу водопроникність легких за механічним складом порід, що залягають у районах Полісся, та у зв'язку з особливостями яружно-балкового рельєфу в районах Лісостепу, значну повторюваність мають ґрунтові засухи, які негативно впливають на розвиток сільськогосподарських культур.

Атмосферна засуха, яка в окремі роки в період активної вегетації поєднується із ґрунтовою (ГТК становить $\leq 0,9$), має ймовірність 90 % на більшій частині території області. Кількість днів із відносною вологістю повітря 30 % та менше за період квітень – жовтень становить 11–23 дні.

За сукупністю показників агрокліматичних ресурсів у період активної вегетації (суми позитивних температур повітря, кількості опадів та гідротермічного коефіцієнта) територію Сумської області поділено на два агрокліматичних райони (помірного теплозабезпечення і достатнього та надлишкового зволоження; достатнього теплозабезпечення і достатнього зволоження) (рис. 1.1). Характеристики районів представлені у табл. 1.1 [13].

Перші осінні заморозки в повітрі спостерігаються на півночі області на початку другої, на решті території – на початку третьої декади вересня, останні весняні заморозки на переважній території області відмічаються в кінці першої – на початку другої декади травня, на півночі – в кінці травня. Середня тривалість беззаморозкового періоду по області в повітрі становить 145–175 днів, на поверхні ґрунту – 136–146 днів.

У вегетаційний період на території області спостерігається від 2 до 9 днів із суховіями різної інтенсивності.

Таблиця 1.1 - Характеристика агрокліматичних районів Сумської області [13]

Агрокліматичний район	Показники агрокліматичних ресурсів за період активної вегетації сільськогосподарських культур		
	сума середніх добових температур повітря, вище 10° С	кількість опадів, мм	гідротермічний коефіцієнт (ГТК)
I. Помірного теплозабезпечення, достатнього та надлишкового зволоження	2450 – 2550	400-440	1,2-1,3
II. Достатнього теплозабезпечення, достатнього зволоження	2650-2750	390-400	1,1-1,2

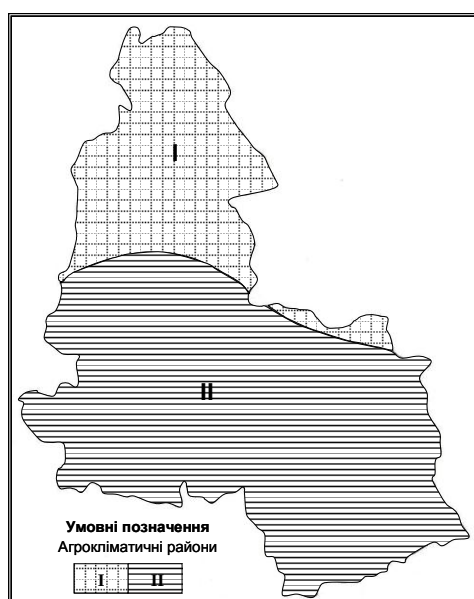


Рисунок 1.1 – Схема агрокліматичного районування Сумської області [13]

Серед інших несприятливих для сільськогосподарських культур явищ погоди на території Сумської області у вегетаційний період спостерігається град, сильний вітер, дуже сильний дощ та зливи.

Сніговий покрив утворюється на півночі та сході на початку, на решті території – в другій половині листопада; руйнується у другій, на півдні – у першій декаді березня. Загальна тривалість залягання снігового покриву за зиму становить по області 90–108 днів, середня висота снігу за зиму –

7–13 см, тоді як максимальна висота в окремі роки досягає 36–73 см. В останні десятиріччя бувають зими без сталого снігового покриву. Середня глибина промерзання ґрунту по області за зиму коливається від 60 см до 71 см. Середня із мінімальних температур ґрунту на глибині 3 см по області за зиму, залежно від типу ґрунту, становить мінус 2,4–3,2 °С. Узимку зазвичай спостерігаються відлиги, кількість днів з якими за період грудень–лютий по області коливається від 36 до 45. Небезпечна для посівів льодяна кірка товщиною 10 мм і більше та тривалістю залягання три декади і більше спостерігається в 10 % років (один раз за 10 років) [13].

1.2 Агрокліматична характеристика Полтавської області

Полтавська область розташована у середній частині Лівобережної України. Кліматичний пояс – помірний, тип – помірно-континентальний. Середня температура січня: $-3,7^{\circ}\text{C}$, липня: $+21,4^{\circ}\text{C}$, кількість опадів становить 580–480 мм/рік, вони випадають переважно влітку у вигляді дощів.

Найбільший вплив на формування погодних умов і клімату області мають величина і характер сонячного випромінювання, віддаленість регіону від великих водних мас, належність області до зони дії переважно атлантичних помірних та арктичних холодних повітряних мас, рівнинність. Територія області належить до недостатньо вологої, теплої, крайній південний схід – до посушливої, дуже теплої агрокліматичної зони. Середньорічна кількість опадів на території області змінюється, збільшуючись з півдня на північ. У цілому, кліматичні умови області сприятливі для людей і розвитку сільськогосподарського виробництва [14].

В основу агрокліматичного районування області покладено умови теплозабезпеченості і вологозабезпеченості вегетаційного періоду. Середня сума температур вище 10°C по області коливається від 2750 до 3050 °С, що цілком достатньо для дозрівання основних сільськогосподарських культур, аж до ранніх сортів винограду. Вологозабезпеченість області досить

рівномірна: на більшій частині її території кількість опадів за літній період з температурою вище 10°C становить 340-400 мм і лише в північно-західній частині (Гребінківський район) кількість їх зростає до 420 мм. Цей район і виділяється окремо як краще забезпечений вологою.

За показниками тепло- і вологозабезпеченості на території області можна виділити чотири райони. Виділені райони представлені на рис. 1.2 і характеризуються показниками, представленими в табл. 1.2 [14].

У посушливі періоди створюються умови для виникнення суховіїв, пилових бур, лісових пожеж. Під дією високих і низьких температур повітря гинуть посіви, насадження, виходить з ладу обладнання і матеріали, зокрема в енергетичному господарстві, залізничному транспорті, на автомагістралях і лініях зв'язку.

В холодний період року, особливо в малосніжні зими, вторгнення арктичних повітряних мас, що відбувається після відлиг (до 35...40 днів за холодний сезон), створює несприятливі умови для перезимівлі озимих культур. У результаті відлиг їх морозостійкість знижується, а наступне пониження температури повітря і ґрунту викликає їх загибель [14].

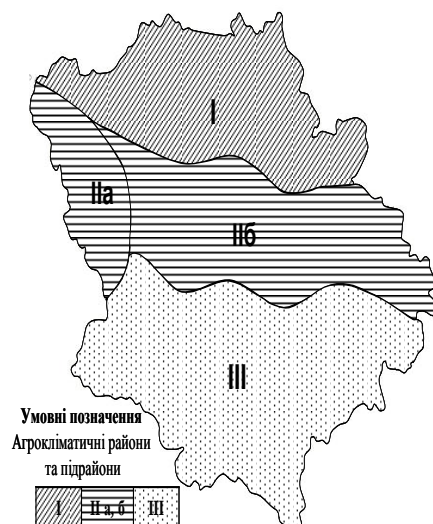


Рисунок 1.2 – Схема агрокліматичного районування Полтавської області [14]

Таблиця 1.2 - Характеристика агрокліматичних районів Полтавської області [14]

Номер району	Райони	Сума температур вище 10°C	Сума опадів, мм	Гідротермічний коефіцієнт (ГТК)
I	Достатнього теплозабезпечення, достатнього та нестійкого зволоження	2750-2800	380-400	1,1-1,2
IIa	Достатнього теплозабезпечення, достатнього зволоження	2850	390-420	1,2
IIб	Достатнього теплозабезпечення, нестійкого зволоження	2880-2930	370-390	1,1
III	Порівняно високого теплозабезпечення, недостатнього та нестійкого зволоження	2900-3050	340-370	0,9-1,0

В перехідні пори року (весну й осінь) особливо небезпечними є заморозки. Пізні весняні заморозки в період цвітіння садів, після сходження теплолюбних культур і розсади завдають відчутної шкоди сільському господарству області. Останній весняний заморозок на Полтавщині спостерігається у більшості випадків 21-26 квітня; перший осінній заморозок – 2-11 жовтня. Безморозний період зазвичай триває близько 160-170 днів. У долинах річок тривалість безморозного періоду на 25-40 днів менша, ніж на вододільних рівнинах [14].

1.3 Агрокліматична характеристика Вінницької області

Вінницька область розташована на правобережжі Дніпра в межах Придніпровської та Подільської височин. Площа області 26513 км² [15].

Клімат області – помірно-континентальний. Середня температура січня: -3,5°C, середня температура липня: 19,9°C. Річна кількість опадів складає 611 мм, з них 73% випадають в теплий період. Зима характеризується тривалими й інтенсивними відлигами з підвищенням

температури в окремі роки до 12-14°C. Характерною рисою термічного режиму взимку є порівняно невеликі зміни температури з місяця в місяць. Найбільше підвищення температури по всій зоні спостерігається в періоди березень-квітень та квітень-травень. Дальше підвищення температури протікає значно повільніше.

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

Перехід температур через 0°C навесні спостерігається у кінці третьої декади лютого (27.02), а восени - у третій декаді листопада (25.11), отже, зимовий період у Вінницькій області триває близько 90 днів [15].

Період із середньодобовою температурою повітря вище 5 °C у Вінницькій області спостерігається 31 березня, а його закінчення - 31 жовтня, тобто тривалість вегетаційного періоду для невимогливих до тепла сільськогосподарських культур складає 214 днів. Період активної вегетації (період с температурами вище 10°C) триває в середньому по області 169 днів. Його початок спостерігається 19 квітня, а закінчення – 31 жовтня. Перехід температур через 15°C навесні відзначається 18 травня, а восени – 7 вересня, тобто тривалість вегетаційного періоду для теплолюбних культур складає 111 днів [15].

Тривалість беззаморозкового періоду в повітрі становить 173 дні. В південних районах Вінницької області останні весняні заморозки в повітрі в середньому припадають на другу декаду квітня. У повітрі перші осінні заморозки бувають у середньому в першій декаді жовтня. Проте в окремі роки останні весняні заморозки в повітрі спостерігаються навіть у другій половині травня, а перші осінні - у вересні [15].

За сукупністю показників агрокліматичних ресурсів у період активної вегетації сільськогосподарських культур (суми позитивних температур

повітря, кількості опадів та гідротермічного коефіцієнта) територію Вінницької області поділено на два агрокліматичних райони (рис.1.3, табл. 1.3): помірного теплозабезпечення та достатнього зволоження й достатнього теплозабезпечення та достатнього зволоження [15].

Таблиця 1.3 – Характеристика агрокліматичних районів Вінницької області [15]

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

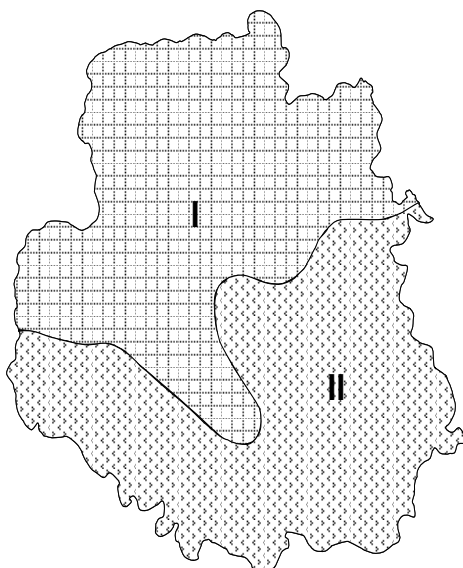


Рисунок 1.3 – Схема агрокліматичного районування території Вінницької області [15]

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

середньому припадають на другу декаду квітня. У повітрі перші осінні заморозки бувають у середньому в першій декаді жовтня. Проте в окремі роки останні весняні заморозки в повітрі спостерігаються навіть у другій половині травня, а перші осінні - у вересні [15]. Взагалі клімат Вінниччини сприятливий для сільськогосподарського виробництва: тривале тепле та досить вологе літо, рання весна, суха осінь, зима с помірними морозами та значним сніговим покривом – все це позитивно впливає на ріст зернових, технічних та садових культур [15].

2 БОТАНІКО-БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СВІТЧГРАСУ ТА ЙОГО ВИМОГИ ДО УМОВ ВИРОЩУВАННЯ

2.1 Потенціал біоенергетичних культур в Україні

З усіх відновлюваних джерел енергії на теперішній час найбільш перспективною вважається біомаса. Оскільки давно відомо, що наша держава тісно залежить від енергоресурсів, які Україна у великій кількості імпортує, впровадження альтернативних джерел енергії, і в першу чергу відновлювальної енергії біомаси, є питанням нагальним і дуже важливим.

Біоенергетичні або просто енергетичні культури - це рослини, які вирощуються для виробництва з них біопалива або для безпосереднього використання у якості палива [5, 7, 10, 13].

Фахівці Словацького аграрного університету та Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка в рамках міжнародного проекту “Забуті і такі, що мало використовуються види в соціально-економічних аспектах розвитку сільської місцевості” склали перелік відомих і мало відомих видів рослин, які можна використовувати у якості сировини для біоенергетичного використання [12]. На сьогоднішній день цей перелік містить близько сорока видів рослин, причому у ньому немає описання тих рослин, які зараз широко використовуються у якості джерел біоенергії, і в той же час вирощуються для харчування людини і кормовиробництва сільськогосподарських тварин. Багато фахівців вважають, що такі рослини недоцільно вирощувати як біоенергетичні, для цього треба культивувати і поширювати інші рослини.

Широкому розвитку біоенергетики в країнах Європи, США та Канаді сприяють відповідна законодавча база, фінансування галузі та матеріальна підтримка виробників біомаси. Тому у Австрії у нинішній час енергія з біомаси становить 21% загального енергоспоживання, у Фінляндії - 19% і в Канаді – 12%, тоді як в Україні - лише 2% [14].

В Європі лідером за площами енергоплантацій вважається Італія (57 тис. га). В Польщі, Швеції, Німеччині та Данії під енергокультурами зайнято близько 11-13 тис. га, у той час як в Україні загальна площа енергоплантацій становить лише близько 6 тис. га. Причому найбільша площа зосереджена у Волинській області (48 % від загальної), загальна площа енергоплантацій у Київській, Львівській, Івано-Франківській та Хмельницькій області становить 41 % від загальної, таким чином, можна сказати, що в інших областях України під енергокультури відводиться менше 100 тис. га. Оскільки останнім часом інтерес до енергокультур суттєво збільшився, на сьогоднішній день вже виявлено досить багато критеріїв для їх класифікації [15, 16].

За циклом вирощування енергокультури діляться на однорічні (амарант, цукрове сорго) та багаторічні (верба, тополя); за типом - на деревоподібні (верба, тополя) та трав'янисті (міскантус або слонова трава, просо прутоподібне або свічграс, мальва пенсільванська); за отримуваним кінцевим продуктом – готові біопалива (верба, тополя, біла акація), пелети, брикети, гранули (верба, тополя, міскантус, свічграс), біопаливо другого покоління (уся лігноцелюозна біомаса) [15, 16].

Також деякі дослідники рекомендують виділяти енергокультури за походженням: класичні культури, тобто з самого початку призначені суцього для енергетичних цілей (міскантус, двокісточник тростиноподібний) та звичайні сільськогосподарські культури, що вирощуються як для отримання харчових продуктів, так і з метою виробництва біопалив (ріпак на біодизель, цукровий буряк на біоетанол, кукурудза на біогаз) [16].

Стабільне збільшення площ енергоплантацій у світі, а також зростання інтересу до вирощування енергокультур в Україні обумовлено декількома факторами. 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. Другий важливий аспект вирощування енергетичних

культур полягає у тому, що ці рослини не вимогливі до родючості ґрунту, не потребують значного використання добрив та пестицидів, запобігають ерозії ґрунту, сприяють збереженню та покращанню агроєкосистем та забезпечують низьку собівартість біомаси. Це дозволяє культивувати енергетичні рослини на низькородючих, деградованих і забруднених ґрунтах (так званих, маргінальних), що дозволяє їх відновлювати [17, 18].

На сьогоднішній день в Україні площа сільськогосподарських земель становить 32 млн. га (54% від загальної площі), але з них 8 млн. га є малопродуктивними і вкладати в такі землі кошти та виробляти на них сільськогосподарську продукцію не вигідно. За даними для біоенергетики можна використати 4 млн. га, що дозволить замінити 20 млрд. м³ природного газу кожного року, але до теперішнього часу ці землі повністю не використовуються [19].

Вирощування швидкоростучих енергокультур на маргінальних землях не тільки запобігає їх ерозії, але й збагачує ґрунт гумусом, відновлюючи його родючість. За дослідженнями зарубіжних і вітчизняних дослідників можна зробити висновок, що найбільш придатними для вирощування з біоенергетичною метою є багаторічні злакові культури міскантус і просо прутіподібне. Вони є сировиною для виробництва паливної тріски та твердого палива.

2.2 Ботаніко-біологічна характеристика і особливості розвитку біоенергетичної культури просо лозовидне (світчґрас)

Просо лозовидне або прутіподібне (*Panicum virgatum*) відоме ще як світчґрас (від англ. *Switchgrass*) – це багаторічна трав'яниста рослина, що належить до родини Злакових або Тонконогових (*Poaceae*). Ще десять років назад ця культура була новою для України, хоча у Північній Америці, вона вже була популярною як трав'яна енергетична культура ще з кінця 80-х років минулого століття [17, 20, 21].

Походить світчграс з півдня Канади, прерій США та Мексики (вздовж 45-55° північної довготи), культивується у США та Канаді, а в останнє десятиріччя він широко розповсюджений в Європі та Азії, хоча в Європі спочатку його вирощували як декоративну рослину [12, 21].

Світчграс – це прямостояча багаторічна рослина, кущовий злак, червонуваті стебла якого досягають від 100-150 до 200-250 см. Потужна коренева система мичкувата, на 70-80% зосереджена в орному шарі, може досягати до 3 м у глибину. У перший рік вегетації у фазі початку кушіння корені розвиваються слабо, заглиблюються в ґрунт повільно, на глибину до 12-15 см [22].

Рослини у залежності від форми бувають прямі та розлогі, кількість метамерів на стеблі становить від 3 до 7, а у окремих форм – до 9. Діаметр в основі стебла у середньому складає 4-6 мм, але зустрічаються форми і з тонкими, і з товстими стеблами. Кількість бокових пагонів на стеблі різних форм становить 2-4. Більшість форм рослин мають генеративні пагони без розгалуження [12].

Розмножують світчграс головним чином насінням, а у декоративних цілях та селекційній роботі - кореневищами. Багаторічні кореневища при вегетативному розмноженні можна розділити на 8-25 (інколи до 80) частин у залежності від року життя і форми рослини [12].

Листова пластинка сягає довжини 50-60 см, у деяких форм буває і значно довше, ширина у середньому 20-30 см. Характерною особливістю є білий пух на місці виходу листка із стебла. Суцвіття - відкрита волоть, за формою буває розлогою, грудкоподібною, овальною, пірамідальною та стислою. Довжина волоті становить 15–50 см, ширина - 20-30 см [12].

Плід у проса прутоподібного – однонасінна дрібна зернівка. Забарвлення зернівки – жовто-коричнєве, коричнєве, темно-коричнєве. За масою 1000 зерен розділяють групи: з малою масою - до 1,5 г, з середньою масою – 1,5-1,8 і з великою масою – більше 1,8 г. Встановлено, що насіння світчграсу з більшою масою 1000 зернини швидше проростає і проростки з

них на початкових етапах розвитку мають кращий стан і швидкі темпи приросту, порівняно з менш ваговитим насінням. Продуктивність фітомаси змінюється в межах від 6 т сухої речовини на ґрунтах з низькою родючістю до 25 т на ґрунтах з високою родючістю. За умови належного догляду можна збирати урожай протягом 15 років. Існує два основних екотипи світчграсу: низовинні та височинні. Низовинні види зазвичай зустрічаються в заплавах, тобто їх вирощують на вологих ґрунтах - вони мають високі, товсті, грубі стебла, які ростуть кущами. Височинні типи адаптовано до сухого клімату - вони мають тонші стебла і більш тонке листя, ніж низовинні та і загалом повільніше зростають, ніж низовинні типи [15, 21].

На відміну від більшості багаторічників, світчграс проходить повний цикл розвитку (від насіння до насіння) протягом першого вегетаційного періоду. В умовах України він закінчує активну вегетацію у III декаді серпня – наприкінці жовтня (у залежності від генотипу). Після перезимівлі, рано весною (II декада квітня) починається інтенсивне відростання рослин. Фаза виходу у трубку починається з другої декади липня. Цвітіння відбувається з третьої декади липня по першу декаду серпня. Дозрівання – наприкінці вересня – на початку жовтня. Вегетаційний період триває 175-185 діб. Збирати зелену фітомасу рекомендується у червні (повторно через 50-55 днів), насіння – у жовтні, суху масу на кореню у листопаді – березні. Урожайність надземної фітомаси рослин у період утворення волоті становить 42-64 т/га, у період цвітіння – 43-70 т/га, насіння – 500-600 (інколи до 1000) кг/га [12].

2.3 Вимоги світчграсу до екологічних факторів та технології вирощування

Перші дослідження стосовно вимог світчграсу до умов навколишнього середовища, проведені вченими з США показали, що світчграс є культурою теплолюбною. Теплолюбні рослини, які мають цикл

фотосинтезу C_4 , виробляють більшість біомаси в спекотне літо ніж у прохолодну пору року. У рослин C_4 асиміляція вуглецю відбувається більш ефективно, ніж у рослин C_3 , тому й урожайність у них більша. Порівняно з рослинністю C_3 , у рослин C_4 вищі початкові й оптимальні температури. Мінімальна температура проростання насіння світчграсу становить $10,3^{\circ}\text{C}$, при цьому оптимальна температура для росту рослин була більше 30°C [7].

Дещо пізніше колектив дослідників стосовно українських умов вирощування дійшов аналогічного висновку, але було уточнено, що активно відбувається ріст світчграсу за температур вище 25°C . Аналіз умов вирощування культури, проведений на дослідних ділянках лісостепових областей показав, що просо прутоподібне, як і інші теплолюбні культури, слід висівати, коли температура ґрунту на глибині 10 см перевищить 10°C , а обираючи строки сівби слід завжди враховувати, що сходи гинуть за найменших заморозків, які в Лісостепу часто можливі у першій декаді травня. З іншого боку, найбільш вразливими до заморозків є рослини у перший рік зимівлі, причому подальші весняні заморозки також можуть пошкоджувати рослини, але завдяки високій регенераційній здатності пошкодження бувають незначні. Після другого року вирощування рослини адаптуються до заморозків і далі вже витримують температуру нижче -20°C навіть за відсутності снігового покриву [22].

Також встановлено, що в умовах Лісостепу України насіння світчграсу проростає за температур $6-8^{\circ}\text{C}$, але дружне проростання відбувається за прогрівання ґрунту до $15-16^{\circ}\text{C}$. Якщо в період проростання температура знижується до $8-9^{\circ}\text{C}$, сходи з'являються тільки через 15-18 днів. Сходи витримують незначні заморозки до -2°C , а за температури $-3-5^{\circ}\text{C}$ здебільшого гинуть або сильно пошкоджуються. Дуже шкідливою для сходів проса прутоподібного є тривала одночасна дія низьких позитивних температур ($6-10^{\circ}\text{C}$) та хмарної погоди. У рослин при цьому значно знижується фотосинтез, що може стати причиною їх загибелі [22, 23].

Хоча вважається, що світчграс в Лісостепу можна сіяти протягом всього травня, найбільш швидше з'являються сходи і найбільший урожай збирають, коли сівба була проведена у третій декаді квітня - першій декаді травня [22, 24].

До вологи світчграс досить вимогливий. Кількість опадів протягом вегетації суттєво впливає на урожайність культури. Для отримання високих урожаїв у порівнянні з іншими культурами світчграс потребує більше води, тому що 20-30% всіх опадів поглинається і випаровується листям. Але у той же час рослини світчграсу дуже економно витрачають воду і мають високу посухостійкість. Транспіраційний коефіцієнт культури становить лише 250 [25].

Умови освітлення визначають перехід злаків до фази плодоношення. Режим освітлення можна покращувати, регулюючи густоту стояння рослин в посівах напрямком рядків і шириною міжрядь.

Світчграс маловимогливий до якості ґрунтів. Рослини можна вирощувати на деградованих, малопродуктивних землях та на полях зі схилами. Завдяки розгалуженій кореневій системі рослини також можна вирощувати на піщаних та супіщаних ґрунтах з низьким рівнем ґрунтових вод. Просо прутоподібне на ґрунтах з підвищеним вмістом органічних речовин збільшує урожайність на 20-30%. Діапазон кислотності придатних для світчграсу ґрунтів також досить широкий, але оптимальні межі рН становлять 6,5-7,5, особливо впродовж перших двох років вирощування. Тому плантації проса прутоподібного можуть бути закладені на ґрунтах, які не придатні для вирощування інших сільськогосподарських культур [23].

Дослідженнями українських вчених [26] доведено, що енергетичні культури, зокрема, світчграс, здатні активно поглинати з ґрунту важкі метали і акумулювати їх в надземній та підземній частинах рослини. Таким чином відбувається процес фітореMediaції або очищення ґрунтів. Причому, біологічні особливості світчграсу (перш за все його досить велика посухостійкість) дозволяє використовувати цю культуру на території всіх

грунтово-кліматичних зон України. Отже, енергоплантації прутovidного проса не тільки здатні збагатити неродючі, так звані маргінальні, ґрунти органічною речовиною, а й прийняти участь у процесі фіторемедіації – одному з найефективніших методів дезактивації.

У технології вирощування проса прутovidного визначальними елементами є: місце вирощування культури, виведення насіння із стану спокою, наявність вологи в ґрунті на час сівби, його температурний режим, що обумовлюється строком сівби за оптимального поєднання факторів зовнішнього середовища.

Також, для покращення умов росту й розвитку рослин проса прутovidного важливим є захист посівів від бур'янів. Відомо, що в США світчґрас, зазвичай, вирощується без застосування гербіцидів [7]. Дослідження вітчизняних фахівців довели, що у перший рік зростання (коли світчґрас росте повільно і його насіння слабше за насіння бур'янів) рекомендується використовувати гербіциди. У подальшому рослини світчґрасу пригнічують бур'яни за рахунок інтенсивного кущення, на широкорядних посівах відбувається саморегуляція травостою, і як результат – формування потужної вегетативної маси [23, 27].

Протягом останніх десяти років в державах Європи успішно вирощувалися сорти світчґрасу американського походження. Вони добре адаптувалися до місцевих умов і давали досить високі врожаї. Для умов України найбільш придатним виявилися сорти Кейв-ін-рок та Картадж [28].

В результаті селекційної роботи фахівців Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків в 2015 році було створено вітчизняний сорт світчґрасу Морозко, а в 2018 р. – Лядовське. В Національному ботанічному саді ім. М. М. Гришка НАН України також створено сорт прутovidного проса – Зоряне. Всі ці сорти внесені у Державний Реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2021 рік [29].

З ДОСЛІДЖЕННЯ БІОКЛІМАТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЛІСОСТЕПОВИХ ОБЛАСТЕЙ

3.1 Методика оцінки біокліматичного потенціалу

В сільськогосподарському виробництві при вирішенні багатьох практичних питань велике значення має порівняльна агрокліматична оцінка території. Відомо, що продуктивність сільського господарства значною мірою визначається природними ресурсами, серед яких клімату належить головна роль. Під агрокліматичними ресурсами слід розуміти кількість речовини і енергії елементів клімату, які утилізовані рослинними організмами при створенні біомаси (сонячна радіація, тепло, волога, вітер, умови перезимівлі) в конкретному районі.

Сільськогосподарська оцінка продуктивності клімату необхідна при вирішенні багатьох важливих виробничих задач: оптимізації розміщення культурних рослин, обґрунтуванні капіталовкладень в меліорацію земель, визначенні співвідношення площі чистих і зайнятих парів в різних кліматичних зонах і т.д. Її звичайно виконують у відносних одиницях або в балах і називають по-різному – “бонітет клімату”, “бонитировка клімату”, “сільськогосподарський бонітет клімату”, хоча суть цих понять майже однакова [33]. Слово “бонітет” походить від латинського “Bonitas”, що означає доброякісність.

Метод оцінки сільськогосподарського бонітету клімату, запропонований Д.І. Шашко [33] заснований на тому, що величина бонітету клімату тут оцінюється в балах нормальної фактичної і потенційної продуктивності. Під нормальною фактичною продуктивністю він розуміє урожайність за середнього для країни рівня агротехніки. Потенційна урожайність визначається розрахованою величиною урожаю за умови звичайного

зволоження і повного використання рослинами термічних ресурсів даного району.

Д.І. Шашко запропонував формулу для визначення БКП стосовно великої території СНД у вигляді

$$БКП = K_p \cdot \frac{\sum T_c > 10^{\circ} C}{\sum T_{c(баз)}}, \quad (3.1)$$

де БКП – відносне значення біокліматичного потенціалу; K_p – коефіцієнт росту по річному показнику атмосферного зволоження (Md); $\sum T_c > 10^{\circ} C$ – сума активних середньодекадних температур повітря за період активної вегетації; $\sum T_{c(баз)}$ – базисна сума температур [33].

Як базисні можуть бути узяті суми температур повітря: $1000^{\circ} C$ - для порівняння з продуктивністю клімату на північній межі масового польового землеробства; $1900^{\circ} C$ - для порівняння з середньою по країні продуктивністю клімату; $3100^{\circ} C$ - для порівняння з продуктивністю в оптимальних умовах росту в помірному поясі.

В наведеній формулі 1.1 коефіцієнт росту K_p є відношенням урожайності культури при чинних умовах вологозабезпеченості до максимальної урожайності в умовах оптимального зволоження. Його значення розраховуються по формулі

$$K_p = 1,5 \lg (20 Md) - 0,24 + 0,63Md - Md^2, \quad (3.2)$$

де Md – показник атмосферного зволоження, який розраховується за формулою

$$Md = \frac{\sum P}{\sum d}, \quad (3.3)$$

де $\sum P$ – кількість опадів за рік (мм), $\sum d$ – сума дефіцитів вологості повітря за рік (мм).

При значенні $Md = 0,50$ створюються оптимальні умови волого-забезпеченості рослин. Щодо цих умов K_p приймає значення одиниці. В сухих умовах південних степів, де Md не перевищує 0,10 - 0,20, коефіцієнт росту K_p знижується до 0,19 - 0,37 при вирощуванні культур на богарних землях, тобто без зрошування.

Середні емпіричні $K_{p(e)}$ були визначені Д.І. Шашко для різних екологічних типів сільськогосподарських культур – зернових колосових, кукурудзи, цукрового буряку, соняшнику, люцерни [33].

Формули для порівняльної оцінки в балах біологічної продуктивності клімату (B_k) щодо середньої для країни продуктивності і продуктивності в оптимальних умовах зростання рослин ($B_{k(оп)}$) мають такий вигляд:

$$B_k = K_p \frac{\sum T_c \cdot 100}{1900^\circ C} = 55 B_{kp} \quad (3.4)$$

$$B_{k(оп)} = \frac{\sum T_c \cdot 100}{3100^\circ C} = 0,6 B_k \quad (3.5)$$

Тут $1900^\circ C$ і $3100^\circ C$ – базисні суми температур для порівняння з середньою по країні продуктивністю клімату і для порівняння з продуктивністю в оптимальних умовах росту.

Територія лісостепу України відноситься до ареалу підвищеної біологічної продуктивності земель ($B_{kp} \approx 2,2-2,8$; $B_k \approx 120-155$) [33].

У чинній кваліфікаційній роботі дана оцінка біокліматичного потенціалу, що характеризує біокліматичну продуктивність клімату при природному зволоженні (B_{kp} , B_k і $B_{k(оп)}$) для 15 станцій трьох областей України, які знаходяться у лісостеповій зоні - Полтавської, Сумської та Вінницької.

Для кожної станції були розраховані значення сум середньодобових температур повітря вище $10^\circ C$ за теплий період ($\sum T > 10^\circ C$), сума дефіцитів вологості повітря ($\sum d$), сума опадів за рік ($\sum R$). А далі, використовуючи

формули попереднього розділу, був розрахований біокліматичний потенціал території (БКП) при природному зволоженні для порівняльної оцінки біологічної продуктивності клімату досліджуваної території.

Балова оцінка біокліматичного потенціалу території була проведена за формулами 3.4 і 3.5.

3.2 Агрокліматична оцінка сучасного біокліматичного потенціалу лісостепових областей

3.2.1 Оцінка біокліматичного потенціалу території Сумської області

Сумська область знаходиться в північній частині досліджуваної території. Для розрахунків ми вибрали чотири станції, що знаходяться в другому середньозволоженому помірно-теплому районі. Це західні станції Конотоп та Ромни, східна станція Суми і південна - Лебедин. Тільки одна станція, що знаходиться на північному сході Сумської області - Глухів, знаходиться у першому вологому агрокліматичному районі – у перехідній від полісся до лісостепу зоні.

Результати розрахунків представлені в табл. 3.1. Як видно, перехід через 10°C навесні спостерігається по всій території в третій декаді квітня, а дати осіннього переходу температур через 10°C змінюються від 26 вересня (північна частина досліджуваної території - Глухів) до 1 жовтня (станції Ромни та Лебедин). Аналізуючи суми температур за теплий період, можна сказати, що в їх розподілі по території області простежується чітка тенденція до збільшення з півночі на південь. Наприклад, на станції Глухів $\Sigma T > 10^{\circ}\text{C}$ дорівнює 2424°C , а в районі Лебедина – 2640°C . Показник зволоження Md , запропонований Д.І. Шашко для характеристики умов зволоження, змінюється від 0,46 до 0,40.

Таблиця 3.1 - Кількісна оцінка біокліматичного потенціалу за природніх умов зволоження по районах Сумської області

Станція	Д _в	Д _о	N _{тп}	$\Sigma T > 10^0 C$	ΣR , мм, рік	Σd , мм, рік	Md	k _p	БКП	Б _к , бали	Б _{к(оп)} , бали
Глухів	27.04	26.09	152	2424	600	1306	0,46	0,96	2,33	128	77
Конотоп	24.04	29.09	158	2580	590	1350	0,44	0,94	2,42	133	80
Суми	24.04	29.09	158	2600	603	1386	0,44	0,94	2,44	134	81
Ромни	24.04	1.10	159	2614	628	1393	0,45	0,95	2,48	137	82
Лебедин	23.04	1.10	160	2640	586	1460	0,40	0,90	2,38	131	78
Середнє по області	24.04	29.09	157	2570	600	1380	0,44	0,94	2,41	133	80

Як вже зазначалося раніше, при значеннях $Md=0,5$ створюються оптимальні умови для вологозабезпеченості рослин. Однак, в даному випадку має місце деяка нестача зволоження території, що знижує значення БКП і його бальову оцінку. Наприклад, в районі північної станції Глухів, де Md найвищий - 0,46, значення БКП не перевищує 2,33, а в балах - 128. З просуванням на південь значення БКП і B_K збільшуються, в районі західних станцій Конотоп і Ромни та східної станції Суми вони становлять 2,42-2,48 і 133-137 відповідно. Тоді як в районі Лебедина (південна частина Сумської області) спостерігаються посушливі умови, тут $Md = 0,40$, а БКП дорівнює 2,38, а в балах, відповідно, 131.

Представляє інтерес і порівняльна оцінка біологічної продуктивності щодо оптимальних умов зростання. Виконавши відповідні розрахунки, можна зробити висновок, що на території Сумської області найнижча біокліматична продуктивність спостерігається в районі північно-східної станції Глухів (77 балів) і південної станції Лебедина (78 балів). Оскільки БКП - це комплексний показник умов теплозабезпеченості й зволоження, можна сказати, що в першому випадку зниження значень БКП визначається нестачею тепла, а в другому - нестачею вологи. На іншій частині території значення B_K змінюються незначно і становлять 80-82 бали.

3.2.2 Оцінка біокліматичного потенціалу території Полтавської області

Для розрахунків у Полтавській області було обрано такі станції: Гадяч (північ області), Гребінка і Лубни (північно-західна територія), Веселий Поділ (захід області) і південна станція Кобеляки. Результати розрахунків представлені в таблиці 3.2.

Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що на півночі області перехід температури повітря через 10°C навесні відбувається 25.04, а на півдні раніше – 21.04. Навпаки, осінній перехід температури через 10°C

на півночі відбувається раніше (01.10) ніж на півдні (07.10). Тому і тривалість теплового періоду на півночі області дещо менше, ніж на півдні.

Також, при порівнянні результатів розрахунків по двом областям можна зробити висновок, що теплий період у Полтавській області починається дещо раніше, а закінчується дещо пізніше, ніж на території сусідньої Сумської області. Також середня по області тривалість теплового періоду у Полтавській області на 4 дні більше, ніж у Сумській. Найкращі умови зволоження спостерігаються в північно-західній і північній частинах області, де значення Md дорівнюють 0,39-0,40, а найбільш засушливі умови спостерігаються на півдні (в районі Кобеляк $Md=0,29$).

Розрахувавши значення БКП, його балової оцінки і величини B_K (оп), можна сказати, що через нестачу зволоження на півдні спостерігаються найнижчі їх значення, тоді як на півночі і північному заході області БКП і B_K становлять відповідно 2,38-2,49 і 131-137.

Також була виконана і порівняльна оцінка біологічної продуктивності території Полтавської області щодо оптимальних умов зростання. Можна зробити висновок, що найнижча біокліматична продуктивність спостерігається в районі південної станції Кобеляки (75 балів), а найвища – на північно-західній території (станції Гребінка і Лубни) і становить відповідно 81 і 82 бали.

3.2.3 Оцінка біокліматичного потенціалу території Вінницької області

Результати дослідження БКП по Вінницькій області доповідалися на Другому Українському гідрометеорологічному з'їзді [34]. Вони представлені в таблиці 3.3. З таблиці видно, що $\Sigma T > 10^\circ C$ (за теплий період) по території області змінюється від $2465^\circ C$ (північ області - Білопіль) до $2725^\circ C$ (станція Крижопіль, розташована в південній частині Вінницької області. Сума опадів за рік змінюється від 573 мм станція Крижопіль) до 615 мм (станція Білопіль) і 621 мм (центр області - станція Вінниця).

Таблиця 3.2 - Кількісна оцінка біокліматичного потенціалу за природніх умов зволоження по районах Полтавської області

Станція	Д _в	Д _о	N _{тп}	$\Sigma T > 10^0 C$	ΣR , мм, рік	Σd , мм, рік	Md	k _p	БКП	Б _к , бали	Б _{к(оп)} , бали
Гадяч	25.04	01.10	158	2645	615	1533	0,40	0,90	2,38	131	79
Гребінка	24.04	03.10	161	2720	605	1533	0,39	0,90	2,45	135	81
Веселий Поділ	24.04	03.10	161	2765	543	1533	0,35	0,85	2,35	129	78
Кобеляки	21.04	07.10	163	2950	524	1788	0,29	0,77	2,27	125	75
Лубни	22.04	03.10	164	2762	627	1569	0,40	0,90	2,49	137	82
Середнє по області	23.04	03.10	161	2770	583	1590	0,37	0,86	2,39	131	79

Таблиця 3.3 - Кількісна оцінка біокліматичного потенціалу за природніх умов зволоження по районах Вінницької області

Станція	D_B	D_O	N_{TP}	$\Sigma T > 10^0 C$	ΣR , мм, рік	Σd , мм, рік	Md	k_p	БКП	B_K , бали	$B_{K(оп)}$, бали
Білопіль	27.04	30.09	155	2465	615	1314	0,47	0,97	2,39	132	79
Липовець	29.04	03.10	156	2520	591	1278	0,46	0,97	2,44	134	81
Вінниця	27.04	03.10	158	2505	621	1314	0,47	0,98	2,45	135	81
Жмеринка	26.04	06.10	162	2600	589	1387	0,42	0,93	2,41	133	80
Крижопіль	25.04	08.10	165	2725	573	1533	0,37	0,87	2,37	130	78
Середнє по області	27.04	04,10	159	2563	298	1365	0,44	0,94	2,41	133	80

Сума дефіцитів вологості повітря на території області змінюється від 1278 мм (станція Липовець, розташована також в центральній частині області) до 1533 мм (південна станція Крижопіль).

Для характеристики умов зволоження ми розрахували значення умовного показника зволоження Д.І. Шашко (Md). Його значення змінюються

від 0,37 (станція Крижопіль) до 0,47 (станції Білопіль та Вінниця). Відповідно до цього змінюється і коефіцієнт зростання, який ми визначали за формулою 3.2: від 0,87 в районі Крижополя до 0,98 в районі Вінниці. Такі значення Md і k_p говорять про те, що на півдні і заході Вінницької області спостерігаються досить посушливі умови, тоді як в північній і центральній частині області умови наближаються до оптимальних. Біокліматичний потенціал території в відносних одиницях коливається від 2,37 (район Крижополя) до 2,45 (в районі станції Вінниця, розташованої в центрі області).

Як вже відзначалося, відповідно до загальної шкали оцінки загальної біологічної продуктивності, розробленої Д.І. Шашко, на території колишнього СРСР виділено сім регіонів від дуже низької оцінки (БКП = 0,8) до дуже високої оцінки (БКП > 3,4). Лісостепова зона, куди входить Вінницька область, входить в регіон з підвищеною біологічною продуктивністю.

Оскільки територія України має більш обмежені розміри в порівнянні з територією СНД, представляє інтерес оцінка біокліматичного потенціалу в балах (B_k) для районів Вінницької області. Розрахунок зроблений за відповідною формулою, в якій за базисну суму температур взято значення 1900°C. Воно відповідає середній біологічній продуктивності по країні. З отриманих результатів видно, що B_k істотно змінюється в географічному розрізі. Найменші значення біокліматичного потенціалу порядку 130-132 балів характерні як для північної, так і для південної частин області (станції Білопіль та Крижопіль). У західній частині області (в районі Жмеринки)

значення балової оцінки збільшуються до 133 балів, а в центральній частині досліджуваної території (станції Липовець і Вінниця) значення БК рівні 134-135 балів. Це найбільші значення B_K по території області.

Розрахунки біокліматичного потенціалу виконані нами також для оптимальних умов зростання (в цьому випадку за базову суму температур взята сума 3100°C). Як видно з табл. 3.3, найбільш низька біологічна продуктивність характерна для станцій Крижопіль і Білопілля, де B_K (ОП) становить 78-79 балів. На станції Жмеринка B_K (ОП) збільшується до 80 балів. Найвища біологічна продуктивність характерна для центральних станцій Вінниця і Липовець, де B_K (ОП) становить 81 бал.

Таким чином, виконавши оцінку біологічної продуктивності клімату трьох областей Лісостепу України, можна зробити висновок, що згідно до шкали Д.І. Шашко вся територія Сумської, Вінницької та Полтавської областей є сприятливою зоною для рослинництва.

Враховуючи, що найбільш активно ріст і розвиток світчграсу відбувається саме у період с температурами вище 10°C , можна сказати, що і для вирощування такої нової енергетичної культури як просо лозовидне на сьогоднішній день в Лісостепу також складаються сприятливі умови.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОСА ЛОЗОВИДНОГО В ЛІСОСТЕПОВИХ ОБЛАСТЯХ ПІД ВПЛИВОМ ЗМІН КЛІМАТУ

4.1 Модель оцінки агрокліматичних ресурсів як теоретична основа для дослідження впливу кліматичних змін на сільськогосподарське виробництво

У якості теоретичної основи для дослідження впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування та урожайність світчграсу була використана модель оцінки агрокліматичних ресурсів, запропонована А.М. Польовим. Модель передбачає розрахунки урожаїв різних агроекологічних категорій [35].

Потенційний урожай (ПУ) – це максимальна урожайність, яку можна отримати за визначеної величини коефіцієнта засвоєння ФАР посівом, коли всі інші чинники життя рослини знаходяться в оптимальних межах.

Метеорологічно-можливий урожай (ММУ) визначається волого-температурними умовами вирощування культури. Як правило, для території України волога є одним з найбільш лімітуючих величину урожаю факторів. Також потенціальна урожайність культури може лімітуватися і нестачею тепла. Тому при оцінці метеорологічно-можливих урожаїв враховують взаємозв'язок цих двох факторів життєдіяльності рослин.

Дійсно-можливий урожай (ДМУ) визначається родючістю ґрунту. Якісну оцінку ґрунтів надають за таким показником, як їх бонітет. Оцінка цього показника базується на багаторічній урожайності сільськогосподарських культур і властивостях самих ґрунтів. Урожайність культури підвищується, якщо показники родючості (вміст гумусу, кислотність, концентрація рухомих форм фосфору і калію тощо) наближуються до оптимальних.

Урожай у виробництві (УВ) залежить від культури землеробства при вирощуванні будь-яких посівів, а також внесення мінеральних та органічних добрив.

Модель оцінки агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур А.М. Польового спирається на теорію максимальної продуктивності посівів Х. Тоомінга [36] і складається з окремих блоків.

Для визначення впливу змін клімату на продуктивність посівів світлграсу було використано сценарій RCP4.5 [37]. В теперішній час дані по зміні клімату визначають за допомогою кліматичних моделей. Моделювання процесів змін клімату для території Європи виконувалися у проекті EURO-CORDEX, який є підпроектом Всесвітньої кліматичної програми ВМО і включає близько 30 наукових інститутів. Проект EURO-CORDEX для своїх розрахунків використовує сценарії концентрацій парникових газів сімейства RCP (Representative Concentration Pathways) на кінець 21 століття. Для виконання розрахунків у кваліфікаційній роботі використано дані за сценарієм RCP4.5 (що відповідає концентрації парникових газів 650 р.р.м). Для території України дані за цим сценарієм отримані фахівцями-кліматологами Одеського державного екологічного університету [38]. Для аналізу майбутніх змін клімату було прийнято розрахунковий період 2021–2050 рр. Для порівняння з поточним станом та обчисленням відхилень сценарних показників від норми було прийнято період 1986–2005 рр. (так званий базовий період). Вибір базового періоду покладався на дані Агрокліматичних довідників по трьом областям України саме за ці роки [13-15].

4.2 Вплив змін клімату на агрокліматичні показники вегетаційного періоду світчграсу

Я вже відзначалося, у чинній кваліфікаційній роботі було досліджено ті зміни, які очікуються для вирощування світчграсу за умов реалізації сценарію RCP4.5. Оскільки ці зміни будуть стосуватися температурного та вологісного режимів вирощування культури, представляє інтерес дослідження часового ходу фактичних і сценарних величин середньодекадних температур і декадних сум опадів.

На рис. 4.1 надається динаміка середньодекадних температур повітря та декадних сум опадів протягом вегетаційного періоду світчграсу за базовими умовами та за сценарними (за сценарієм RCP4.5) для Вінницької області. Можна бачити, що базові температури протягом першої половини вегетаційного періоду світчграсу дещо перевищують сценарні. В другій половині вегетаційного періоду значення базових і сценарних температур практично співпадають.

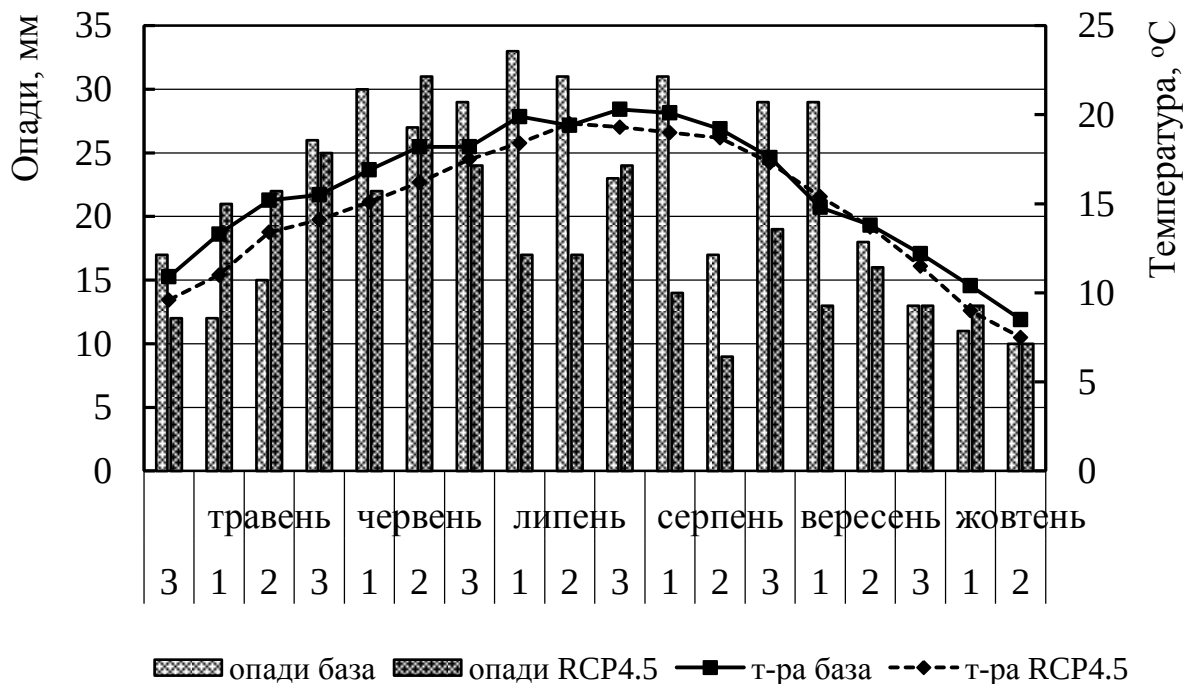


Рисунок 4.1 – Динаміка показників вегетаційного періоду світчграсу (Вінницька область)

Стосовно декадних сум опадів можна бачити, що протягом першої і другої декад травня сценарні опади суттєво перевищували базові. Починаючи з третьої декади травня і практично до кінця вегетаційного періоду базові суми опадів у більшості розрахункових декад перевищують сценарні. Так, базові суми опадів у першій та другій декадах липня, а також у перших декадах серпня та вересня становили 33, 31, 31 і 29 мм відповідно. У той же час очікувані сценарні суми опадів за ті ж декади становлять 17, 17, 14 і 13 мм.

На рис. 4.2 представлена динаміка показників теплового та вологісного режиму вегетаційного періоду світчграсу для Полтавської області. Стосовно декадних температур можна бачити, що, як і для Вінницької області, до початку серпня базові температури спостерігаються дещо вищими за сценарні. З другої декади серпня до кінця вересня значення базових і сценарних температур є практично однаковими, а наприкінці вегетації базові температури знову перевищують сценарні.

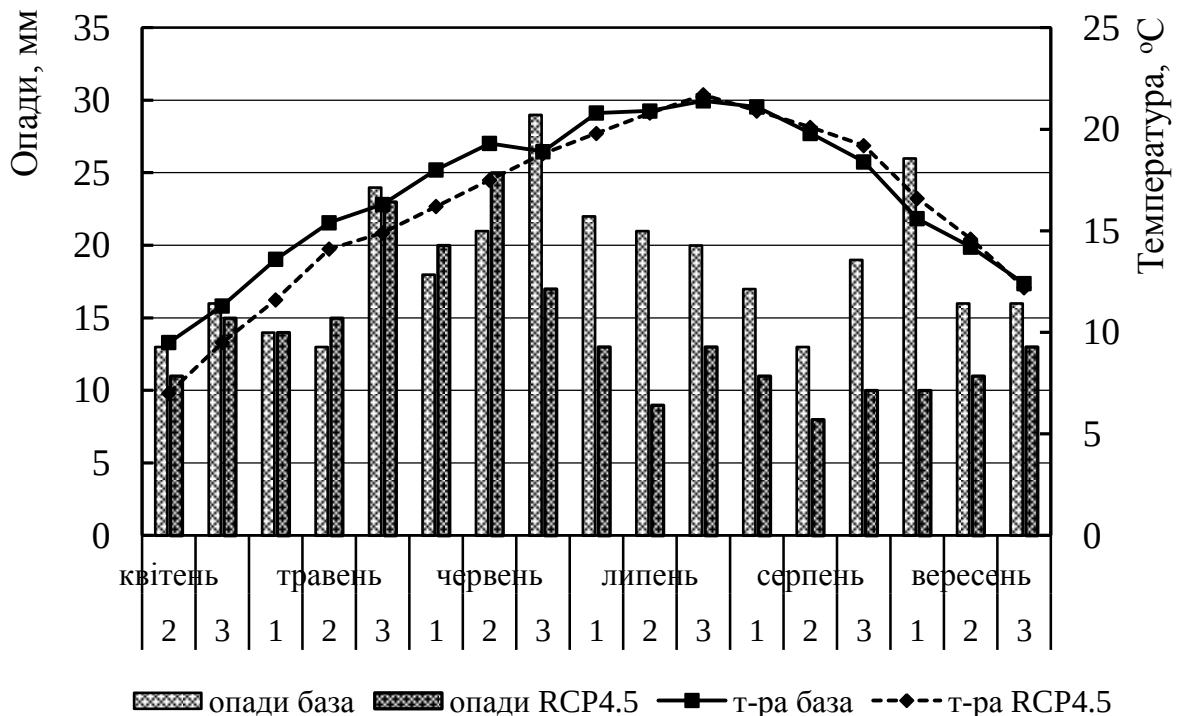


Рисунок 4.2 – Динаміка показників вегетаційного періоду світчграсу (Полтавська область)

Переважне перевищення базових декадних сум опадів над сценарними сумами можна бачити у Полтавській області протягом всього вегетаційного періоду. Виключення становлять лише друга декада травня і перша-друга декади червня, але в ці декади перевищення сценарних опадів над базовими становить лише 1-4 мм. У той же час базові суми опадів протягом третьої декади червня та першої-другої декад липня на 9-12 мм вище, ніж очікувані за сценарієм. А на початку вересня сценарні опади становлять лише третину базових.

На рис. 4.3 представлена динаміка показників теплового та вологісного режиму вегетаційного періоду світчграсу для Сумської області. Стосовно декадних температур можна бачити, що саме у цьому випадку сценарні і базові температури, починаючи з третьої декади червня, найбільше дорівнюють одна одній. Лише протягом травня-червня як і для Вінницької та Полтавської областей, базові температури дещо перевищують сценарні. Стосовно декадних сум опадів спостерігається ситуація, аналогічна попереднім випадкам, тобто їх базові значення у більшості декад вегетації є більшими за сценарні.

Біоенергетичні культури, хоча і є досить новими для України, але у плані біологічних особливостей, технології створення енергоплантацій, селекції та агротехніки вирощування уже досить добре вивчені.

Однак традиційних агрометеорологічних спостережень на мережі гідрометстанцій України за енергокультурами поки ще не проводиться. Тому для визначення впливу змін клімату на терміни настання фенологічних фаз рослин світчграсу було використано дані, отримані вченими Інституту цукрового буряку та біоенергетичних культур під час досліджень по вивченню цієї культури та перспектив її вирощування на території Лісостепу України [26, 27, 31].

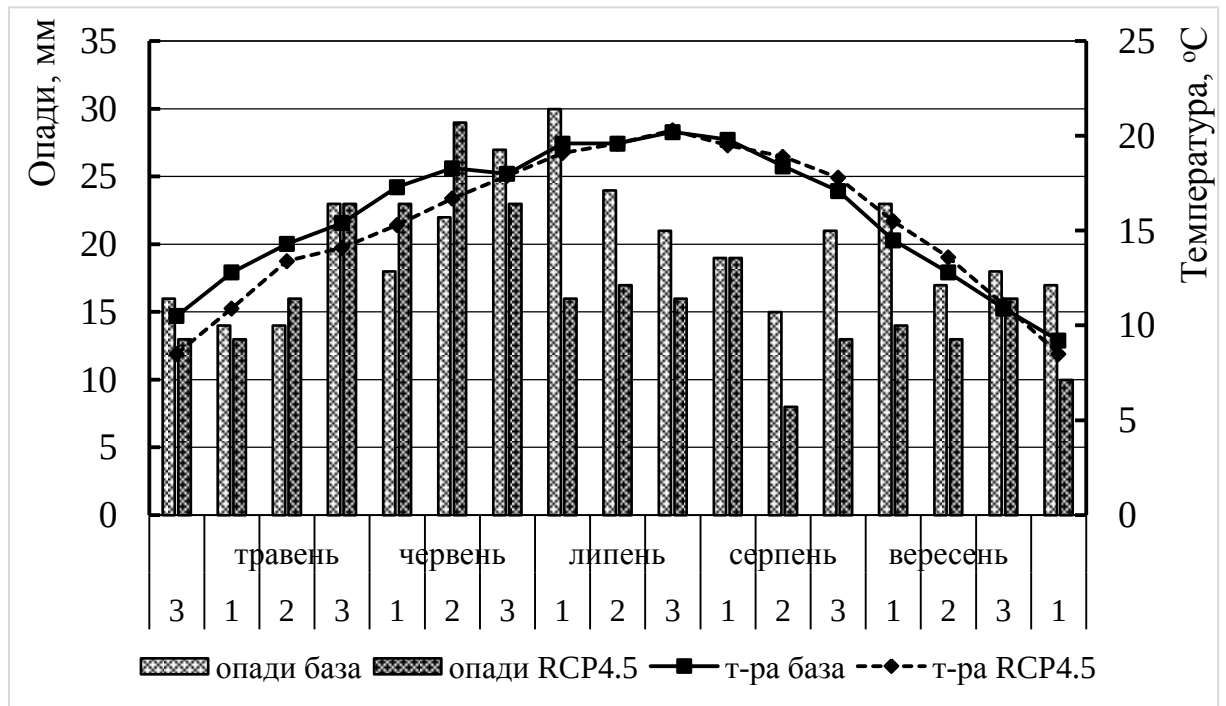


Рисунок 4.3 – Динаміка показників вегетаційного періоду світчграсу (Сумська область)

Результати розрахунків за базовими та кліматичними даними представлені у табл. 4.1. За літературними даними, термін відновлення вегетації світчграсу майже співпадає з датою переходу температури повітря через 10°C, тому для початкових розрахунків було вибрано саме цю дату. Найраніше починається відновлення вегетації посівів проса прутovidного в Полтавській області – 19 квітня. Дещо пізніше відновлюють вегетацію посіви в Вінницькій (22 квітня) і Сумській (24 квітня) областях.

Таблиця 4.1 - Фази розвитку світчграсу за базовими даними (1986-2005 рр.) та сценарієм зміни клімату RCP4.5 у лісостепових областях України

Період, сценарій	Відновлення вегетації	Вихід в трубку	Викидання волоті	Цвітіння волоті	Початок пожовтіння листя
Вінницька область					
1986–2005	22.04	18.05	7.07	28.07	25.09
RCP4.5	29.04	26.05	18.07	7.08	5.10
Різниця	7	8	11	10	10
Полтавська область					
1986–2005	19.04	15.05	3.07	27.07	22.09
RCP4.5	28.04	24.05	12.07	31.07	25.09
Різниця	9	9	9	4	3
Сумська область					
1986–2005	24.04	20.05	8.07	29.07	1.10
RCP4.5	1.05	27.05	16.07	6.08	10.10
Різниця	7	7	8	8	9

За умов реалізації сценарію RCP4.5 у всіх областях строки поновлення вегетації світчграсу зсуваються на більш пізні дати. У Вінницькій та Сумській областях відновлення відбуватиметься на тиждень пізніше - відповідно 29 квітня та 1 травня. У Полтавській області це запізнення буде ще тривалішим – на 9 днів, тобто відновлення вегетації відбудеться 28 квітня.

За нашими розрахунками, виконаними на основі літературних даних, для настання наступної фази розвитку світчграсу – вихід у трубку – необхідна сума температур вище 10° порядку 345°C , що накопичується від дати відновлення вегетації. Хоча традиційна програма агрометеорологічних спостережень на станціях вже декілька років не включає визначення дати виходу у трубку у злакових культур, автори літературних джерел стосовно світчграсу цю фазу визначають.

Як можна бачити з таблиці 4.1, вихід у трубку на посівах світчграсу на дослідженій території раніше всього відбувається у Полтавській області – 15 травня, у Вінницькій області – 18 травня, а найпізніша дата виходу в трубку у світчграса спостерігається у Сумській області – 20 травня. За умов реалізації сценарію RCP4.5 і фаза виходу в трубку також відбуватиметься пізніше на 7-9 днів: від 24 травня у Полтавській області до 27 травня у Сумській.

Наступна фаза розвитку, що спостерігається у світчграсу – викидання волоті. Для її настання необхідно накопичення суми активних температур близько 870°C . Як і для попередніх фаз, найраніше викидання волоті спостерігається за базових умов у Полтавській області – 3 липня, у Вінницькій області – 7 липня, а у Сумській – 8 липня. За умов реалізації сценарію RCP4.5 спостерігається аналогічна ситуація – зсув термінів настання фази на 8-11 днів у бік більш пізніх дат. Так, у Полтавській області викидання волоті очікується 12 липня, у Сумській – 16 липня, у Вінницькій – 18 липня.

Приблизно через три тижні після викидання волоті починає цвісти. Для настання цієї фази від дати викидання волоті повинна накопичитися

сума температур близько 410°C. За базових умов цвітіння волоті в Полтавській області починається 27 липня, у Вінницькій – 28 липня, у Сумській – 29 липня. За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 найменша різниця між базовою і сценарною датами настання цієї фази очікується у Полтавській області – на 4 дні пізніше за базовий строк – 31 липня. У Сумській області ця різниця дещо більше – волоть зацвітатиме на 8 днів пізніше - 6 серпня. Найпізніше у порівнянні з базовими умовами буде цвісти волоть світчграсу у Вінницькій області – 7 серпня (тобто на 10 днів пізніше).

Світчграс збирають у різні терміни, в залежності від намірів використання урожаю (на насіння або на біомасу), часто збирання культури відбувається протягом зимових місяців, коли рослини повністю висохнуть. Тому останньою видимою фазою розвитку світчграсу є початок підсихання листя. За настання цієї фази у рослин вже не відбувається активний ріст, а навпаки, загальна маса починає зменшуватися завдяки процесам висушування. Для того, щоб відбулося настання цієї фази необхідно накопичення від дати цвітіння волоті приблизно суми температур близько 1000°C.

Як можна бачити з таблиці 4.1, за базових умов листя починає підсихати у Полтавській області 22 вересня, у Вінницькій – 25 вересня, а найпізніше це відбувається у Сумській області – 1 жовтня. Сценарні дати настання фази підсихання, як і у попередніх випадках очікуються дещо пізніше. Найменша різниця базової і сценарної дати – 3 дні у Полтавській області (підсихання листя почнеться 25 вересня). Різниця для Сумської та Вінницької областей більш суттєва – 9 і 10 днів, а підсихання листя почнеться відповідно 10 та 5 жовтня.

Крім дослідження впливу змін клімату на дати настання основних фаз розвитку світчграсу, представляє інтерес також питання впливу очікуваних змін на температурний режим та умови зволоження вегетаційного періоду. Для вирішення цього питання були проаналізовані наступні дані:

- середні за міжфазні періоди температури повітря;
- суми активних температур повітря за окремі міжфазні періоди та за весь вегетаційний період;
- суми опадів за міжфазні періоди;
- сума опадів за вегетаційний період в мм та у відсотках від кліматичної норми, за яку ми приймаємо базове значення;
- сумарне випаровування та випаровуваність за вегетаційний період;
- вологозабезпеченість за період вегетації.

Результати розрахунків представлені у табл. 4.2.

Як можна бачити з таблиці, відновлення вегетації світлграсу за базових умов відбувається за температур 11,2-13,1°C, що повністю відповідає біологічними особливостям культури. Суми температур, які накопичуються за цей період також майже не відрізняються на всій території дослідження. В умовах зміни клімату за сценарієм RCP4.5 відновлення вегетації відбуватиметься за температур 12,5-13,3°C, тобто сценарні середні за період температури і суми температур практично не будуть відрізнятися від базових.

Стосовно сум опадів за період відновлення вегетації – вихід у трубку, то за базових умов на всій досліджуваній території вони становлять 38 мм. За реалізації сценарію ці суми зростуть також по всій території дослідження, однак, у Полтавській області це зростання буде зовсім несуттєвим – всього на 3 мм (8% від базового значення) – і сума опадів становитиме 41 мм.

Дещо більше зросте сценарна сума опадів у Сумській області – до 45 мм, тобто на 7 мм (18% від базового значення). Найбільше зростання очікується у Вінницької області, становитиме воно 21 мм або 55% від базового значення, тобто сценарна сума опадів буде більш ніж на половину більше базової – 59 мм.

Таблиця 4.2 - Очікувані агрокліматичні показники міжфазних періодів світлграду у порівнянні з базовими

Період, сценарій	Період відновлення вегетації – вихід в трубку			Період вихід в трубку – викидання волоті			Період викидання волоті – цвітіння			Період цвітіння - початок пожовтіння листя		
	середня темпера- тура, °C	сума темпера- тур, °C	сума опадів, мм	середня темпера- тура, °C	сума темпера- тур, °C	сума опадів, мм	середня темпера- тура, °C	сума темпера- тур, °C	сума опадів, мм	середня темпера- тура, °C	сума темпера- тур, °C	сума опадів, мм
Вінницька область												
1986 – 2005	13,1	342	38	17,4	872	138	19,8	416	59	16,8	994	135
RCP4.5	12,5	349	59	16,3	865	120	20,2	404	36	14,4	835	79
Різниця	-0,6	7	21	-1,1	-7	-18	0,4	-12	-23	-2,4	-159	-56
Різниця,%			55			-13			-39			-41
Полтавська область												
1986 – 2005	11,2	336	38	18,0	880	105	17,5	420	50	17,5	998	102
RCP4.5	13,3	347	41	17,7	869	93	21,3	405	20	17,8	994	57
Різниця	2,1	11	3	-0,3	-29	-12	3,8	-15	-30	0,3	-4	-45
Різниця,%			8			-11			-60			-44
Сумська область												
1986 – 2005	12,8	334	38	17,6	863	114	19,9	417	49	15,7	1002	119
RCP4.5	13,2	342	45	17,3	864	110	19,9	418	34	14,8	965	78
Різниця	0,4	8	7	-0,3	1	-4	0	1	-15	-0,9	-37	-41
Різниця,%			18			-4			-31			-34

Розглядаючи температурні умови періоду вихід в трубку – викидання волоті можна сказати, що, як і для першого міжфазного періоду вони суттєво не зміняться і за умов реалізації сценарію RCP4.5 середні температури за період будуть лише на 0,3-1,1°C нижче за базові. Сценарні суми опадів за цей період також зменшаться, причому, якщо для Сумської області це зменшення буде вкрай несуттєвим – лише на 4 мм (4% від базового значення), то для Вінницької і Полтавської області воно буде вже більш помітним. За базової суми 138 мм у Вінницькій області, сценарне значення становитиме 120 мм, тобто сума опадів зменшиться на 18 мм (13%). За базової суми 105 мм у Полтавській області, сценарне значення становитиме 93 мм, тобто сума опадів зменшиться на 12 мм (11%).

Період викидання волоті для світчграсу є критичним і від умов зволоження у першу чергу залежить майбутній урожай біомаси культури. Сценарні температурні умови цього періоду у Вінницькій та Сумській областях у порівнянні з базовими залишаються без змін. Досить суттєво збільшиться середня температура цього періоду лише у Полтавській області. Вона становитиме 21,3°C, що у порівнянні з базовою буде на 3,8°C вище. За достатнього зволоження така температура не призводить до зменшення продуктивності посівів, але, як можна бачити з таблиці, сума опадів за цей період за умов реалізації сценарію зменшиться більш ніж на половину від базової і становитиме 20 мм проти базових 50 мм. Тобто очікувані умови зволоження критичного періоду світчграсу у Полтавській області будуть несприятливими для культури.

Також зменшення сум опадів у критичний період слід очікувати і в двох інших областях. Можна сказати, що ці суми зменшаться більш ніж на третину у порівнянні з базовим варіантом – на 39% у Вінницькій області і на 31% у Сумській.

Період цвітіння волоті - початок пожовтіння листя у світчграсу є досить довгим, його тривалість становить близько двох місяців, протягом

яких світчграс більш вимогливим є до вологи, аніж до тепла. Як можна бачити з таблиці, температурні умови цього періоду за умов реалізації сценарію RCP4.5 зміняться на всій території дослідження несуттєво і відповідатимуть біологічним вимогам культури.

Стосовно сум опадів за цей період можна бачити, що відбуватиметься подальше їх зменшення. За базових умов у Сумській області сума опадів становить 119 мм, тоді як сценарне значення – 78 мм, тобто на 41 мм (34%) менше. У Вінницькій області це зменшення є ще більшим, базова сума опадів становить 135 мм, а сценарна – 79 мм (тобто на 56 мм чи 41% менше). Найбільш суттєве зменшення суми опадів за період цвітіння - початок пожовтіння листя відбудеться у Полтавській області. Якщо тут базова сума становить 102 мм, то сценарна очікується 57 мм, що на 45 мм (44%) менше за базову.

У таблиці 4.3 представлені узагальнені температурні та вологісні характеристики вегетаційного періоду світчграсу на досліджуваній території. Можна бачити, що сценарний вегетаційний період на всій дослідженій території буде починатися на 7-9 днів пізніше за базові умови, але й закінчуватися він також буде пізніше, в середньому по трьом областям на тиждень. Суми температур, що очікуються за умов зміни клімату практично не відрізняються, тому можна сказати, що температурні умови вегетаційного періоду світчграсу залишаться без змін.

Інша ситуація очікується з показниками зволоження. Сценарні суми опадів за вегетацію світчграсу по всіх досліджених областях суттєво зменшаться. Найменше зміняться суми опадів на території Сумської області: у порівнянні з базовим значенням, яке становить 320 мм, сценарне значення становитиме 267 мм, що на 53 мм менше. Якщо прийняти базову кількість опадів за норму, тобто 100%, то це зменшення становить 17%.

Базове значення суми опадів для Вінницької області становить 370 мм, тоді як очікуване – 294 мм. Це на 76 мм або на 21% менше. Найсуттєвіше зменшаться опади в Полтавській області, де базове їх значення також є

найменшим по досліджуваній території – 296 мм. За умов реалізації сценарію RCP4.5 сума опадів зменшиться майже на третину і становитиме 211 мм.

Базова величина сумарного випаровування (E_{ϕ}) посівів світчграсу у Вінницькій області становить 441 мм, базове значення вологопотреби (E_o) становить 540 мм. За умов реалізації сценарію RCP4.5, завдяки зменшенню кількості опадів, фактичне вологоспоживання посадок також зменшиться на 70 мм і становитиме 371 мм. Також за сценарних умов відбудеться і зменшення величини випаровуваності (E_o) до 489 мм. У порівнянні із базовим значенням це зменшення становить 51 мм.

Таблиця 4.3 – Агрокліматичні умови вегетаційного періоду світчграсу у Лісостепу в порівнянні з умовами за сценарієм RCP4.5 зміни клімату

Період, сценарій	Дати		Сума активних температур за вегетаційний період, °С	Сума опадів		Сумарне випаро- вування, (Е _ф), мм	Випаро- вуваність (Е _о), мм	Волого- забезпе- ченість (Е _ф /Е _о), %	Середній за період ГТК, відн. од.	Сума ФАР, кДж/см ² за період
	Відновл. вегетації	Початок пожовт. листя		Сума опадів, мм	У відсотках від базової суми					
Вінницька область										
1986–2005	22.04	25.09	2624	370	100	441	540	82	1,41	152
RCP4.5	29.04	5.10	2518	294	79	371	489	76	1,17	153
Різниця	7	10	-106	-76	-21	-70	-51	-6	-0,24	1
Полтавська область										
1986–2005	19.04	22.09	2634	296	100	376	510	74	1,13	160
RCP4.5	28.04	25.09	2615	211	71	345	550	63	0,80	164
Різниця	9	3	-19	-85	-29	-31	40	-11	-0,33	4
Сумська область										
1986–2005	24.04	1.10	2616	320	100	401	510	79	1,22	148
RCP4.5	1.05	10.10	2590	267	83	348	473	74	1,03	156
Різниця	7	9	-26	-53	-17	-53	-37	-5	-0,19	8

Базова величина сумарного випаровування (E_{Φ}) посівів світчграсу у Сумській області становить 401 мм, базове значення вологопотреби (E_o) становить 510 мм. За умов реалізації сценарію RCP4.5, завдяки зменшенню кількості опадів, фактичне вологоспоживання посадок також зменшиться на 53 мм і становитиме 348 мм. Також за сценарних умов відбудеться і зменшення величини випаровуваності (E_o) до 473 мм. У порівнянні із базовим значенням це зменшення становить 37 мм.

Базова величина сумарного випаровування (E_{Φ}) посівів світчграсу у Полтавській області становить 376 мм, базове значення вологопотреби (E_o) становить 510 мм. Як і в попередніх випадках, за умов реалізації сценарію RCP4.5, завдяки зменшенню кількості опадів, фактичне вологоспоживання посадок також зменшиться на 31 мм і становитиме 345 мм. Але на відміну від попередніх випадків у Полтавській області за сценарних умов відбудеться невелике збільшення величини випаровуваності (E_o) до 550 мм. У порівнянні із базовим значенням це збільшення становить 40 мм.

За сценарних умов зменшиться і сценарна величина вологозабезпеченості вегетаційного періоду світчграсу по всій території дослідження. У Вінницькій області вона становитиме 76% проти 82% базових, у Полтавській – 63% проти 74% базових, у Сумській області – 74% проти 79% базових. також за рахунок сценарного зменшення кількості опадів зменшиться величина ГТК: з базової 1,13-1,41 до сценарної 0,80-1,17 відн. од.

Фотосинтетично активна радіація (ФАР) приймає участь в процесі фотосинтезу і її сумарні величини за вегетаційний період суттєво впливають на урожайність будь-якої сільськогосподарської культури. За умов реалізації сценарію RCP4.5 на всій досліджуваній території очікується збільшення сум ФАР. Так, за базовими даними сума ФАР у Вінницькій області становить 152 кДж/см² (табл. 4.3). За сценарієм RCP4.5 прихід ФАР тут очікується практично рівний базовому – 153 кДж/см², що всього на 1 кДж/см² більше. Дещо більшою буде величина сценарної суми ФАР в Полтавській області,

тут за базових значень 160 кДж/см^2 очікується сума 164 кДж/см^2 . Найбільш суттєвим збільшення суми ФАР буде в Сумській області і становитиме воно 8 кДж/см^2 (з 148 до 156 кДж/см^2 відповідно).

Таким чином, можна зробити висновок, що на території трьох лісостепових областей термічний режим вирощування світчграсу за сценарними умовами практично не зміниться. Невелике збільшення сум ФАР можливо спричинить відповідне зростання величин потенційного урожаю. Але вирішальним фактором подальших перспектив створення енергопосівів лозовидного проса на території Вінницької, Полтавської та Сумської областей очевидно будуть умови зволоження.

4.3 Вплив змін клімату на продуктивність посівів світчграсу третього року вирощування

Як вже відзначалося, потенційний урожай – це максимальний урожай фітомаси посівів світчграсу, який можна виростити за оптимальної забезпеченості рослин вологою, теплотою і мінеральним ґрунтовим живленням. У такому випадку він визначається лише приходом ФАР протягом вегетаційного періоду і коефіцієнтом її використання.

При базових умовах ПУ загальної сухої маси світчграсу становить у Вінницькій області 530 ц/га (табл. 4.4). Оскільки суми ФАР при реалізації сценарію RCP4.5 у Вінницькій області збільшаться вкрай несуттєво, то ПУ також зросте дуже несуттєво і становитиме 532 ц/га, тобто можна сказати, що залишиться на рівні базового.

В умовах Полтавської області у порівнянні з Вінницькою та Сумською областями, базова сума ФАР найвища, тому і базовий ПУ сухої загальної біомаси тут найвищий – 563 ц/га. У цій області очікується і найвищий сценарний прихід ФАР, відповідно сценарний ПУ сухої загальної біомаси становить 588 ц/га – це найбільше сценарне значення на досліджуваній території.

Таблиця 4.4 – Показники продуктивності посівів світчграсу у Лісостепу в порівнянні з умовами за сценарієм RCP4.5 зміни клімату

Період, сценарій	Загальна суха маса, ц/га			Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ² за період	Урожай при 20% вологості, ц/га
	потенцій- ного урожаю	метеоро- логічно можливого урожаю	дійсно можли- вого урожаю		
Вінницька область					
Базовий	530	288	199	545	150
RCP4.5	532	270	186	531	144
Різниця	2	-18	-13	-14	-6
Різниця, %	0	6	6	3	4
Полтавська область					
Базовий	563	260	161	464	130
RCP4.5	588	224	139	445	120
Різниця	25	-36	-22	-19	-10
Різниця, %	4	14	14	5	8
Сумська область					
Базовий	519	280	170	527	142
RCP4.5	554	251	153	502	138
Різниця	35	-29	-17	-25	-4
Різниця, %	7	10	10	5	3

У Сумській області базова сума ФАР найнижча, тому і базовий потенційний урожай сухої біомаси також найнижчий по території – 519 ц/га. Однак, завдяки суттєвому збільшенню приходу ФАР у сценарних умовах, значення ПУ на цій території очікуються також більшими - 554 ц/га.

Таким чином, можна сказати, що за умов реалізації сценарію RCP4.5 на території Сумської та Полтавської областей величина ПУ всієї сухої біомаси світчграсу очікується на 4-7% більше, ніж за базових умов, тоді як у Вінницькій області таких змін урожаю не очікується.

Оскільки, як вже відзначалося, за умов сценарію RCP4.5 температурні умови вирощування світчграсу зміняться несуттєво, то, вочевидь, величини ММУ всієї сухої маси будуть визначатися ступенем вологозабезпеченості посівів. Так, базова вологозабезпеченість посівів у Вінницькій та Сумській областях становить відповідно 82 і 79%, а МВУ всієї сухої біомаси – 288 і 280 ц/га. Величина вологозабезпеченості посівів у Полтавській області дещо менше і становить за базових умов 74%, а величина МВУ відповідно становить 260 ц/га. Після зменшення величини вологозабезпеченості за сценарних умов до 76% у Вінницькій, 74% у Сумській і 63% у Полтавській областях, очікується і зменшення значення МВУ, який становитиме 270, 251 та 224 ц/га відповідно. Тобто можна сказати, що сценарне погіршення умов зволоження вегетаційного періоду спричинить втрати метеорологічно-можливих урожаїв світчграсу на досліджуваній території у межах 6-10 %.

Базовий рівень ДМУ загальної сухої біомаси світчграсу, обумовлений природною родючістю ґрунту, становить у Вінницькій області 199 ц/га, у Полтавській – 161 ц/га, в Сумській – 170 ц/га. За умов зміни клімату, з врахуванням зменшення сценарних величин ДМУ, з табл. 4.4 можна бачити, що очікувані величини ДМУ дещо менше – на 6% у Вінницькій області (тут ДМУ становить 186 ц/га), на 14% у Полтавській (тут ДМУ становить 139 ц/га) і на 10% у Сумській області (тут ДМУ становить 153 ц/га).

Відомо, що урожайність будь-якої сільськогосподарської культури визначається не тільки агрометеорологічними умовами, що складаються

протягом вегетації, але й показниками фотосинтетичної продуктивності її посівів. Перш за все це – площа листової поверхні і фотосинтетичний потенціал, тобто загальна площа листя посіву, що приймала участь у фотосинтезі протягом всього вегетаційного періоду.

На рисунку 4.4 представлена динаміка накопичення відносної площі листя посіву світчграсу у трьох лісостепових областях в умовах зміни клімату за сценарієм RCP4.5 в порівнянні з базовим періодом.

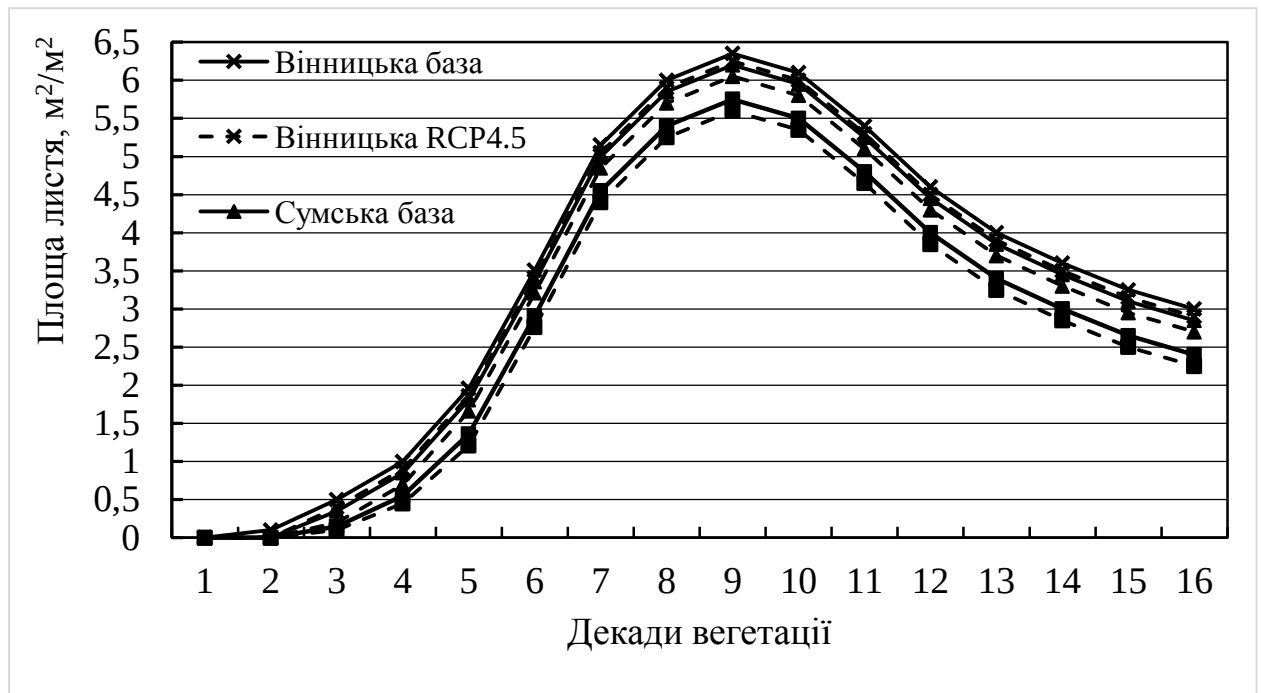


Рисунок 4.4 - Динаміка накопичення відносної площі листя за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовими умовами

Як можна бачити з рисунка, зменшення вологозабезпеченості в умовах реалізації сценарію RCP4.5 для всіх досліджуваних областей призводить до того, що у всіх трьох випадках сценарна площа листя, що очікується, буде менше за базову. Так, при базовому значенні максимальної площі листя (це, як правило, 8-10 декада вегетації), що становить у Вінницькій області $6,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$, сценарна площа очікується $6,25 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тобто на $0,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$ менше. Аналогічна ситуація спостерігається і на території Сумської області, де за

базових умов максимальна площа листя становить $6,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а сценарна $6,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$, величина зменшення у цьому випадку становить $0,15 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Найменша ступінь вологозабезпеченості протягом вегетації, причому як за базовим, так і за сценарним варіантом, спостерігається в Полтавській області. Це є причиною найменших на досліджуваній території значень максимальної площі листя, яка в базових умовах становить $5,75 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а в сценарних – на $0,15 \text{ м}^2/\text{м}^2$ менше, тобто $5,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Динаміка сценарного росту площі буде аналогічною динаміці росту за базових умов, але величини площі будуть дещо менше.

Базове значення фотосинтетичного потенціалу посівів становить у Вінницькій області $545 \text{ м}^2/\text{м}^2$, за умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 воно дещо зменшиться до $531 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тобто на $14 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (на 3%). Базове значення фотосинтетичного потенціалу посівів становить у Полтавській області

$464 \text{ м}^2/\text{м}^2$, за умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 воно дещо зменшиться до $445 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тобто на $19 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (на 5%). Базове значення фотосинтетичного потенціалу посівів становить у Сумській області $527 \text{ м}^2/\text{м}^2$, за умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 воно дещо зменшиться до $502 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тобто на $25 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (на 5%).

Розподіл урожайності біомаси світчграсу за стандартної 20% вологості у виробництві (УВ) також подібний до розподілу ММУ і ДМУ. Найбільші врожаї у виробництві очікуються у базовий період – 150 ц/га у Вінницькій області, 142 ц/га – у Сумській та 130 ц/га у Полтавській. За сценарними умовами вони дещо зменшаться - до 144 ц/га у Вінницькій області, 120 ц/га – у Сумській та 138 ц/га у Полтавській.

Таким чином, за умов реалізації сценарію RCP4.5 термічні ресурси вегетаційного періоду світчграсу до 2050 рр. зміняться не суттєво, але відбудеться деяке погіршення умов вологозабезпеченості посівів на всій досліджуваній території. Тому слід очікувати не дуже суттєвого зменшення виробничих урожаїв. Але, оскільки світчграс вирощують на маргінальних

землях (не сільськогосподарського призначення) протягом тривалого часу, тобто близько 15-20 років поспіль, таке несуттєве зменшення урожайності не вплине на значущість вирощування світчграсу.

Також не слід забувати, що не менш важливою особливістю багаторічних енергетичних культур є продукування значного обсягу рослинних решток після закінчення вегетації. Це в свою чергу за наявності вологи та при взаємодії із ґрунтовою біотою сприяє накопиченню органічної речовини у ґрунті. Також перевагами вирощування біомаси світчграсу для навколишнього середовища є: відсутність потреби використання пестицидів, боротьба з ерозією ґрунтів, сприяння збереженню природних умов, поліпшенню структури ґрунту та зменшення викидів парникових газів [18].

Тому слід вважати вирощування світчграсу на території лісостепових областей України, як і інших біоенергетичних культур, дуже перспективним і приділяти цьому питанню більшу увагу.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Виконавши оцінку біологічної продуктивності клімату трьох областей Лісостепу України, можна зробити висновок, що згідно до шкали Д.І. Шашко вся територія Сумської, Вінницької та Полтавської областей є сприятливою зоною для рослинництва.

Враховуючи, що найбільш активно ріст і розвиток світчграсу відбувається саме у період з температурами вище 10°C, можна сказати, що і для вирощування такої нової енергетичної культури як просо лозовидне на сьогоднішній день в Лісостепу також складаються сприятливі умови.

2. Тенденції зміни агрокліматичних умов формування продуктивності посівів нової біоенергетичної культури світчграсу на території трьох областей Лісостепу України (Вінницької, Полтавської та Сумської) розглядались з використанням одного з набору сценаріїв зміни клімату, а саме Репрезентативних траєкторій концентрацій (Representative Concentration Pathways) – RCP4.5.

Як теоретична основа для виконання розрахунків та порівняння результатів в чинній роботі була використана розроблена професором А.М. Польовим модель оцінки агрокліматичних ресурсів вирощування сільськогосподарських культур. Всі розрахунки було виконано шляхом порівняння середніх багаторічних характеристик за 1986 по 2005 рік (базовий період), і сценарний період за сценарієм RCP4.5 - 2021-2050 pp.

3. Було визначено основні агрокліматичні характеристики вегетаційного періоду світчграсу (дати настання фенологічних фаз; суми активних температур повітря за міжфазні періоди та за весь період вегетації; суми опадів, величини випаровування, випаровуваності та вологозабезпеченості. Аналіз отриманих величин свідчить про те, що за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 строки настання фаз розвитку

світчграсу у всіх досліджуваних областях змістяться на більш пізні строки, це зміщення у середньому становитиме близько тижня.

Температурний режим вегетаційного періоду світчграсу на всій території практично не зміниться, однак відбудеться деяке погіршення умов вологозабезпеченості посівів на всій досліджуваній території. Кількість опадів за весь вегетаційний період світчграсу при зміні клімату зменшиться на

17-29 % за сценарієм RCP4.5, причому найменше опадів очікується у Полтавській області, тут же очікується і найбільше погіршення умов вологозабезпеченості.

Величина вологозабезпеченості вегетаційного періоду світчграсу в Вінницькій області за умов реалізації сценарію RCP4.5 становитиме 76%, тоді як базове значення вологозабезпеченості складає 82%. У Сумській області – 74%, тоді як базове значення вологозабезпеченості складає 79%. За умов реалізації сценарію RCP4.5 у Полтавській області сценарна вологозабезпеченість становитиме 63%, що у порівнянні з базовим значенням (74%) зменшиться більш суттєво.

4. Під впливом зміни агрокліматичних умов вирощування світчграсу, відбудеться і зміна показників фотосинтетичної діяльності його посівів, що обумовлюють рівень урожайності культури.

Був проведений аналіз таких показників, як розміри фотосинтезуючої площі, фотосинтетичний потенціал посівів, а також кількісні показники приростів сухої біомаси всіх категорій урожаїв.

За умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 в 2021-2050 рр. потенційний урожай (ПУ) у Вінницькій області майже не зміниться у порівнянні з базовим періодом і становитиме 532 ц/га, в Сумській області величина ПУ зросте від базової 519 ц/га до сценарної 554 ц/га. У Полтавській області сценарне підвищення кількості ФАР також обумовить відповідне зростання рівня ПУ світчграсу до 588 ц/га (проти базових 563 ц/га).

За умов сценарної зміни клімату в 2021-2050 рр. ММУ та ДМУ зменшаться на всій території дослідження. У Вінницькій області ММУ зменшиться порівняно з базовим періодом з 288 до 270 ц/га, а ДМУ, відповідно, з 199 до 186 ц/га. У Сумській області також очікується зменшення всіх рівнів урожаю світчграсу: ММУ від 280 до 251 ц/га, а ДМУ від 170 до 153 ц/га. Така ж ситуація очікується і в Полтавській області, де ММУ зменшиться порівняно з базовим періодом з 260 до 220 ц/га, а ДМУ, відповідно, з 161 до 139 ц/га.

У цілому можна зробити висновок, що для земель не сільськогосподарського призначення на території трьох лісостепових областей України за умов реалізації сценарію RCP4.5 утворяться умови, досить сприятливі для вирощування світчграсу, незважаючи на деяке зниження урожайності цієї перспективної біоенергетичної культури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуцаленко Л.В., Фабіянська В.Ю. Стан та основні чинники розвитку виробництва біологічного палива в Україні та світі. Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2013. Вип. 19. С. 168-174.
2. Гуцаленко О.О., Корпанюк Т.М. Еколого - економічні аспекти виробництва біопалива в контексті енергозберігаючої політики держави. Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2013. Вип. 19. С. 174-181.
3. Прийдак Т. Б. Перспективы развития альтернативных видов топлива на сельскохозяйственных предприятиях Украины. Молодой учёный. 2015. № 15 (95). С. 407-411.
4. Долинский А., Гелетука Г. Возможности замещения природного газа в Украине за счет местных видов топлива. Энергетическая политика Украины. 2006. № 3-4. С. 60-65.
5. Тарасенко С.Є., Поліщук В.М., Дубровіна О.В. Використання поновлюваних джерел енергії в Україні. Техніка та енергетика. 2013. № 185. С. 327-337.
6. Калетник Г.Н., Токарчук Д.М. Ефективність вирощування енергетичних культур та їх переробки на біопаливо в контексті забезпечення енергетичної автономії аграрних підприємств. Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2021. № 1. С. 7-25.
7. N. El Bassam Handbook of Bioenergy Crops. London: Earthscan, 2010. 516 p.
8. Закон України «Про альтернативні види палива»
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14#Text>
9. Гелетука Г.Г., Желєзна Т.А., Голубовська Т.М., Конеченков А.Є. Огляд відновлюваних джерел енергії в сільському та лісовому господарстві України. Київ: Інститут економічних досліджень та політичних консультацій, 2006. 58 с.

10. Роїк М.В., Курило В.Л., Гументик М.Я., Ганженко О.М. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку. Біоенергетика. 2013. №2. С. 5-10.
11. Василенков В.Є., Заблоцький Я.І. Використання енергії біомаси для теплозабезпечення комунально-побутових об'єктів господарства. Енергетика і автоматика. 2020. №3. С. 138-147. DOI 10.31548/energiya2020.03.138.
12. Рахметов Д. Нетрадиционные виды растений для биоэнергетики. Нитра, 2018. С. 103.
13. Агрокліматичний довідник по Полтавській області (1986 – 2005 pp) / за ред. Т.І. Адаменко. [Електронний ресурс]: Полтава, 2013. 221 с.
14. Агрокліматичний довідник по Сумській області (1986 – 2005 pp) / за ред. Т.І. Адаменко. [Електронний ресурс]: Суми, 2013. 212 с.
15. Агрокліматичний довідник по Вінницькій області (1986 – 2005 pp) / за ред. І.З. Федика, Т.І. Адаменко. [Електронний ресурс]: Вінниця, 2013. 214 с.
16. Чайка Т.О., Яснолоб І.О. Еколого-соціо-економічні переваги вирощування енергетичних культур. Економіка АПК. 2017. № 12. С. 28-34.
17. Романчук Л.Д., Зінченко В.О., Василюк Т.П. Особливості вирощування енергетичних культур в умовах Полісся України. У кн. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України; відп. ред. О.В. Скидан. Київ: Центр учбової літератури, 2014. С. 81-112.
18. Пришляк Н.В. Потенційні можливості вирощування біоенергетичної сировини на виробництво твердого біопалива. Агросвіт. 2021. № 1-2. С.35-43. DOI: 10.32702/2306&6792.2021.1-2.33
19. Гелетука Г.Г., Желєзна 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.
20. Курило В.Л., Рахметов Д.Б., Кулик М.І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. Вісник Полтавської державної аграрної академії. Вип. 1 (88), 2018. С. 11-17. DOI 10.31210/visnyk2018.01.01

21. 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. DOI 10.17586/2310-1172-2019-12-1-33-44
22. Гелетуха Г.Г. Біомаса як паливна сировина. Промислова теплотехніка. 2011. Т.55. №5. С. 76-78.
23. Мороз О.В., Смірних В.М., Курило В.Л. та ін. Свічграс як нова фітоенергетична культура. Цукрові буряки. 2011. № 3. С. 12–14.
24. 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.
25. Курило В.Л., Гументик М.Я., Каськів В.В. Вплив строків сівби та глибини загортання насіння «Свічграсу» проса лозовидного на польову схожість в умовах західної частини лісостепу України. Наукові праці ІБКіЦБ НААН України. 2013. №17. т. II. С. 358-361.
26. Вирощування біоенергетичних культур /За редакцією М. Я. Гументик/ [М.Я. Гументик, Б.М. Радейко, Я.Д. Фучило, В.М. Сінченко, О.М. Ганженко, В.С. Бондар, А.С. Фурса, В.М. Квак, М.М. Харитоновв. В.М. Кателевський]. Київ: ТОВ «ЦП «Компринт», 2018. 179 с.
27. Мандровська С.М., Балан В.М. Продуктивність проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) залежно від норми висіву та сортових особливостей. Наукові праці ІБКіЦБ НААН України. 2015. №23. С. 44-49.
28. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні: практичний посібник. За ред. Г. Гелетухи. Київ: «Поліграф плюс», 2016. 104 с.
29. Кулик М.І., Галицька М.А., Самойлік М.С., Жорник І.І. Фіторемедіаційні аспекти використання енергетичних культур в умовах України. Agrology. 2019. Т. 2. №1. С. 65-73. doi: 10.32819/2617-6106.2018.14020

30. Найдено В.В. Продуктивність проса прутоподібного залежно від варіантів гербіцидного захисту посівів. Наукові праці ІБКіЦБ НААН України. 2018. №26. С. 133-137.
31. Браніцький Ю.Ю., Мазур О.В. Кількісні показники рослин проса лозовидного за різних технологічних прийомів вирощування. Збірник наукових праць ВНАУ. Сільське господарство та лісівництво. 2019. № 12. С. 28-43.
32. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2021 рік. <https://sops.gov.ua/reestr-sortiv-roslin>
33. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. 247 с.
34. Вольвач О.В., Ярмолінський О.Ю. Агрокліматична оцінка біокліматичного потенціалу Вінницької області стосовно вирощування біоенергетичних культур. Другий Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд: тези доповідей. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2021. С. 11-12.
35. Полевой А.Н. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур. Метеорология, климатология и гидрология. 2004. № 48. С. 195-211.
36. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. 264 с.
37. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: монографія / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: ТЕС, 2018. 548 с.
38. Замфірова М.С., Хохлов В.М. Режим температури повітря та опадів в Україні в 2021-2050 роках за даними ансамблю моделей CORDEX. Український гідрометеорологічний журнал. 2020. Вип. 25. С. 17-27. doi: 10.31481/uhmj.25.2020.02