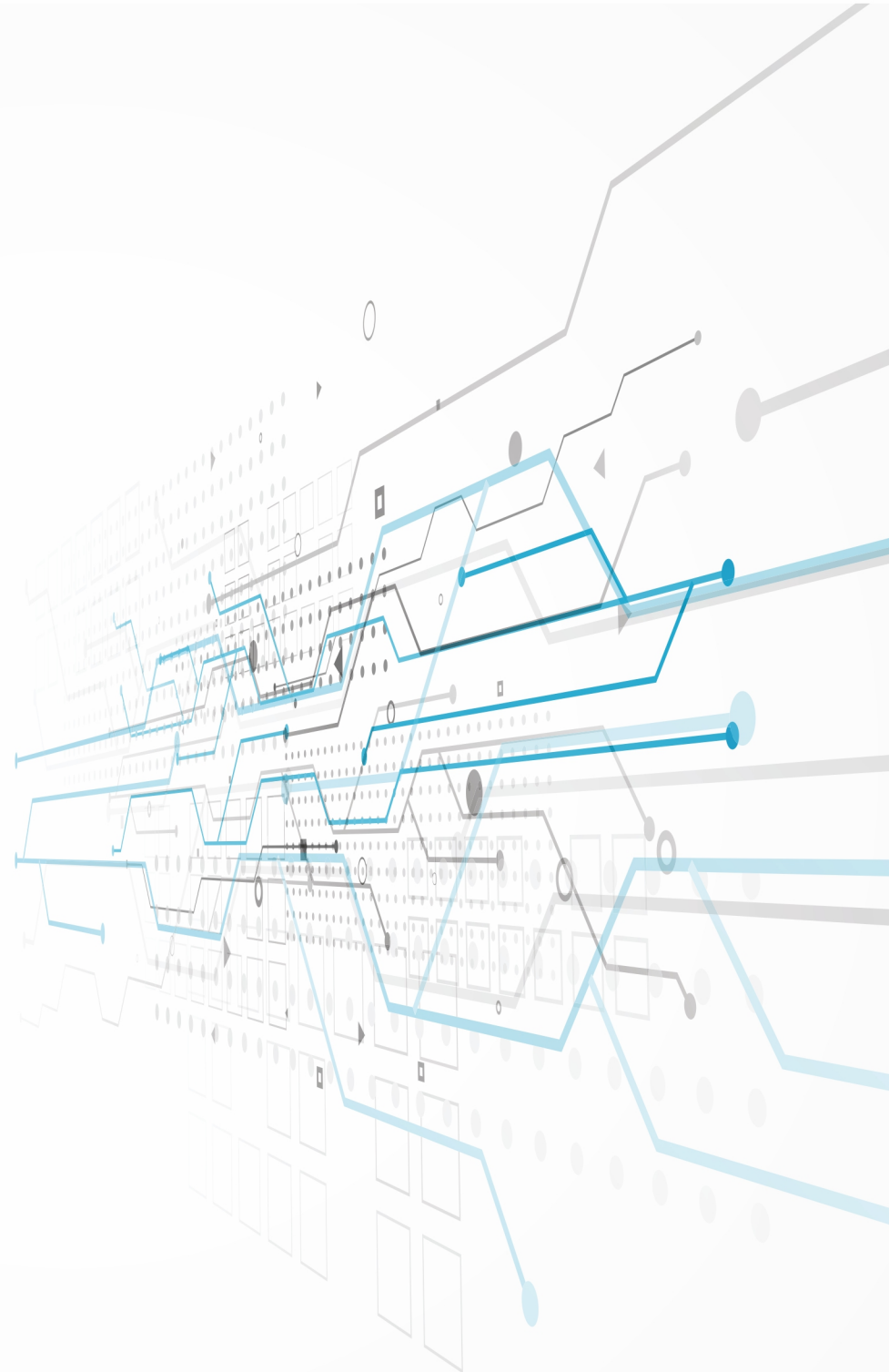




АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ У ПІДВИЩЕННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА
ЕНЕРГОЗАЛЕЖНОСТІ СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ



psaa
POLTAVA STATE AGRARIAN ACADEMY



АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА
ЕНЕРГІЇ У ПІДВИЩЕННІ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА
ЕНЕРГОЗАЛЕЖНОСТІ
СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ



ПОЛТАВА 2019

РОЗДІЛ 3

АГРОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

3.1. Оцінка агрокліматичних умов вирощування та фотосинтетичної продуктивності біоенергетичної культури міскантус в контексті очікуваних змін клімату

*Вольвач О. В., Волошина О. В., Жигайло О. Л.
Одеський державний екологічний університет*

Цивілізація сьогодення потребує величезної кількості енергії – для промислового та сільськогосподарського виробництва, освітлення та опалення житла, заправки транспорту, розвитку інформаційних технологій та телекомунікацій. Із зростанням потреб в енергії суспільство все краще розуміє, що доступних на сьогоднішній день джерел недостатньо, щоб забезпечити майбутні потреби людини. Тому виникла необхідність пошуку нових джерел енергії, у тому числі й нетрадиційних.

Одним з перспективних напрямків альтернативної енергетики майбутнього є методика виробництва палива з біомаси. Енергія, яку видобувають при спалюванні біомаси є доступною і такою, що не вимагає значних капітальних вкладень в устаткування. Використання енергетичних рослин представляє суттєвий інтерес, оскільки вони є одним з поновлювальних джерел палива.

Про виключну важливість дослідження питання відновлюваних джерел енергії свідчить прийнята Україною Енергетична стратегія на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [60]. Однією з цілей, прописаних у цьому документі є доведення виробництва енергії з біомаси, біопалива та відходів у структурі загального первинного постачання енергії України до 11 млн т нафтового еквіваленту (прогноз на 2035 р.).

Пріоритетне місце серед енергетичних культур займає міскантус або «слонова трава». Згідно з класифікацією Біоенергетичної асоціації України, міскантус за походженням є класичною культурою, з самого початку призначеною суцього для енергетичних цілей [61].

Хоча для України міскантус є новою біоенергетичною культурою, останнім часом суттєво збільшилася кількість публікацій стосовно його

⁶⁰ Розпорядження КМУ від 18 серпня 2017 р. № 605-р Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p> (дата звернення: 20.05.2019 р.).

⁶¹ Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Аналітична записка БАУ. 2014. № 10. URL : www.uabio.org/activity/uabio-analytics (дата звернення: 20.05.2019 р.).

селекції [62], відношення до умов навколишнього середовища [63, 64], технології виробництва та еколого-економічної оцінки використання палива з міскантуса [65, 66].

Протягом останніх років в Одеському державному екологічному університеті проводяться комплексні дослідження впливу змін клімату на всі галузі господарства України. Питання вибору сценаріїв можливих змін та кількісний опис часових змін в режимі температури і опадів розглядаються на кафедрі метеорології та кліматології.

Абсолютно достовірно зміну клімату зафіксовано при аналізі багаторічних рядів спостережень основних показників клімату (температури, опадів, проявів екстремальних явищ), а також вмісту парникових газів і аерозолів в атмосфері, рівня моря, стану екологічних систем, здоров'я людей. Кліматична система Землі змінилася в порівнянні з доіндустріальною епохою, як на глобальному, так і на регіональному рівнях. Цей процес прискорився і став більш відчутним в останні десятиліття.

Однією зі складових кліматичних ресурсів є опалювальний період. Нині, коли опрацьовується національна програма енергозбереження, визначення характеристик опалювального періоду набуває особливої актуальності. Опалювальний період необхідно враховувати під час удосконалення стратегії теплозабезпечення країни. Для цього необхідно проводити розрахунки теплозабезпечення з урахуванням характеристик опалювального періоду, що дасть змогу належним чином розподілити кошти і кількість палива для окремих регіонів.

В останні десятиліття зміни клімату в континентальних районах супроводжуються, як правило, істотним підвищенням температури в зимовий період. У зв'язку з цим можна чекати зниження енерговитрат на опалювання, які визначають споживання енергії в Україні взимку.

Дослідження впливу змін клімату на терміни і тривалість опалювального періоду були проведені О. В. Волошиною [67]. На основі прогнозу змін температури за чотирьома сценаріями (GFDL, UKMO, CCCM та GISS) на 2000–2010 рр., 2030–2040 рр. та 2070–2080 рр. було отримано зміни характеристик опалювального періоду не тільки в середньому для України, а також окремо для природних зон (Полісся,

⁶² Роїк М. В., Гонтаренко С. М., Лащук С. О. Сучасний стан розвитку селекції та реєстрації представників роду *Miscanthus* в Україні та світі. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур та цукрових буряків*. 2014. Вип. 21. С. 249–254.

⁶³ Гументик М. Я., Квак В. М., Замойський О. І. Урожайність біомаси міскантусу. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 32–35.

⁶⁴ 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*. 2018. № 1. С. 11–17.

⁶⁵ Ганженко О. М., Гументик М. Я., Квак В. М. Технологія виробництва твердого палива з міскантусу. *Біоенергетика*. 2015. № 2. С. 13–17.

⁶⁶ Трибой О. В. Оцінка життєвого циклу виробництва теплової енергії з тріски біомаси *Miscanthus x giganteus* в Україні. *Біоенергетика*. 2018. № 2 (12). С. 22–27.

⁶⁷ Степаненко С. М., Польовий А. М. та ін. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України : монографія ; за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса : Екологія, 2011. 696 с.

степова та лісостепова зони) впродовж ХХІ сторіччя.

На підставі отриманих даних можна зробити висновок, що в майбутньому в Україні буде спостерігатися сильне скорочення потреби в тепловій енергії в опалювальний період, однак значно зростуть витрати електроенергії на кондиціонування в теплу пору.

Отже, і в умовах змін клімату залишається гостра необхідність використання перш за все екологічної енергії біомаси для потреб народного господарства України, в том у числі і сільського господарства.

Дослідження стосовно впливу змін клімату на вирощування сільськогосподарських культур проводиться колективом кафедри агрометеорології і агроєкології Одеського державного екологічного університету. Теоретичним підґрунтям для виконання цих досліджень є положення школи динамічного моделювання продукційного процесу сільськогосподарських культур, започаткованої завідувачем кафедри, доктором географічних наук, професором А.М. Польовим.

Аналіз умов вирощування і формування урожайності міскантусу проводилися в умовах сучасного глобального потепління та подальших змін клімату на період до 2050 року. Оцінка виконана шляхом порівняння середніх багаторічних агрокліматичних показників (1980–2010 рр.) продуктивності міскантусу з такими ж показниками на майбутнє по десятиріччях за три періоди: 2021–2030 рр., 2031–2040 рр., 2041–2050 рр. для умов Полісся України. Розрахунки змін клімату виконувались за сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 (Representative Concentration Pathways), які детально описані в [68].

Розрахунки як середньої багаторічної продуктивності міскантусу, так і продуктивності його посадок в умовах змін клімату виконані за чотирма видами урожайності: потенційна урожайність, яка при оптимальній забезпеченості рослин теплом, вологою та мінеральним живленням визначається надходженням сонячної радіації; метеорологічно можлива врожайність, що забезпечується температурним режимом та режимом зволоження території; дійсно можлива врожайність, яка забезпечується природною родючістю ґрунту; фактична урожайність в природних умовах. Алгоритм розрахунків за динамічною моделлю продуктивності А. М. Польового представлений в [69].

Треба ще раз відзначити, що міскантус є досить новою культурою для України, тому на сьогоднішній день у агрометеорологів немає багаторічних матеріалів спостережень за міскантусом, тому для ідентифікації параметрів моделі використовувались лише літературні відомості. Результати розрахунків представлені в табл. 1.

⁶⁸ Степаненко С. М., Польовий А. М., Лобода Н. С. та ін. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України ; за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса : ТЕС, 2015. 520 с.

⁶⁹ Польовий А. М. Моделювання продуктивності агроєкосистем. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2005. Вип. 1. С. 79–86.

1. Агromетeоролoгiчнi умoви вeгeтaцiї мiскaнтyсу при сeрeднiх бaгaтopiчних умoвaх в пopiвняннi з сцeнapними умoвaми

Період	Дата початку вегетації	t_{cp} , °C	ΣR^* , мм	E^* , мм	E_o^* , мм	Волого-забезпеченість (E/E_o), відн.од.	Середній за період ГТК, відн. од.	Сума ФАР, кДж/см ² за період
1980-2010	25.04	16,1	377	366	487	0,75	1,44	148,1
RCP4.5								
2021–2030	2.05	16,1	282	308	449	0,69	1,18	149,4
2031–2040	4.05	15,8	203	294	404	0,73	1,39	146,8
2041–2050	26.04	16,0	266	313	490	0,64	1,05	151,0
RCP8.5								
2021–2030	23.04	15,6	312	331	472	0,70	1,23	158,0
2031–2040	28.04	16,1	201	334	513	0,65	1,12	159,0
2041–2050	22.04	15,3	372	344	431	0,77	1,46	156,0

Примітки: * ΣR – сума опадів за період; E – сумарне випаровування за період; E_o – випаровуваність за період
Джерело: авторські розрахунки.

Відновлення вегетації посадок міскантусу третього року вирощування в Поліссі починається з переходом температури повітря через 10 °C, який за середніми багаторічними даними відбувається наприкінці квітня – 25.04. За умов реалізації сценарію RCP 4.5 протягом 2041–2050 рр. строк відновлення вегетації практично співпадає з базовим (26.04), протягом першого та другого сценарних періодів відновлення вегетації буде починатись дещо пізніше (на 7–9 днів) – на початку травня.

Прихід ФАР за вегетаційний період за середніми багаторічними даними складає 148,1 кДж/см². За сценарієм RCP4.5 у перший та другий сценарний періоди (2021–2030 та 2031–2040 рр.) посадки будуть отримувати кількість ФАР, близьку до багаторічної. У третій сценарний період очікується незначне збільшення кількості ФАР до 102 % від базового значення. Це обумовить дуже несуттєву різницю в формуванні потенційної урожайності сухої маси міскантусу (ПУ) протягом першого та другого сценарних періодів. При середніх багаторічних умовах вона складає 786 ц/га, в той час як протягом двох перших сценарних періодів вона буде становити 99–101 % від середньої багаторічної. Для третього періоду зміни ПУ будуть більш суттєвими і вона становитиме 109 % від базової (табл. 2).

2. Формування урожаю міскантусу при середніх багаторічних умовах в порівнянні з сценарними умовами

Період	Загальна суха маса, ц/га			Фотосинтетичний потенціал, $\text{м}^2/\text{м}^2$ за період	Урожай біомаси при 19% вологості, ц/га
	потенційного урожаю	метеорологічно можливого урожаю	дійсно можливого урожаю		
1980-2010	786	531	319	495	265
RCP4.5					
2021–2030	792	450	270	490	225
2031–2040	778	477	286	481	238
2041–2050	854	479	287	480	239
RCP8.5					
2021–2030	841	514	308	472	257
2031–2040	843	510	306	477	255
2041–2050	827	542	325	528	271

Джерело: авторські розрахунки.

Середня за вегетацію температура повітря, яка становила $16,1^{\circ}\text{C}$, в сценарні періоди очікується близькою до середньої багаторічної ($15,8\text{--}16,1^{\circ}\text{C}$).

За базових умов протягом вегетаційного періоду міскантусу сума опадів становить 377 мм. За кліматичним сценарієм RCP 4.5 очікується дуже суттєве зменшення суми опадів за період вегетації у всі сценарні періоди. Найбільш суттєвим воно буде протягом 2031–2040 рр., коли сума опадів становитиме 203 мм, тобто трохи більше половини від базової. Протягом першого та третього періодів зменшення кількості опадів також досить суттєвим – на 25–30 %.

Така ситуація протягом першого та третього сценарних періодів дуже погіршить умови вологозабезпечення рослин: збільшиться дефіцит води (різниця випаровуваності E_0 та випаровування E) до 141–177 мм, проти 121 мм у базовий період. Також зменшиться відносна вологозабезпеченість міскантусу (E/E_0) з 0,75 до 0,69–0,64 відн. од. відповідно. Зменшиться величина ГТК до 1,18–1,05 відн. од. відповідно у перший та третій сценарні періоди, тоді як за базових умов ця величина становить 1,44 відн. од.

В цей же час протягом другого періоду, хоча очікується суттєве зменшення кількості опадів, дефіцит води буде менш значним, ніж у перший та третій періоди і становитиме 110 мм. Вочевидь, збільшенню сумарного випаровування сприятиме більш ефективне використання корінням міскантусу води більш глибоких шарів ґрунту в умовах зменшення кількості атмосферних опадів, які, як відомо, є основним джерелом поповнення запасів ґрунтової води. Також, завдяки дещо зменшеному температурному фону, набагато меншою очікується і величина

випаровуваності за вегетаційний період, тому відносна вологозабезпеченість буде більшою, ніж в перший та третій сценарних періоди.

Зменшення вологозабезпеченості в перший та третій сценарні періоди призведе до зменшення площі листя (рис. 1). Її динаміка буде аналогічна динаміці площі листя при середніх багаторічних даних, але рівень буде дещо нижчим. Якщо максимальна відносна площа листя при середніх багаторічних становить $5,85 \text{ м}^2/\text{м}^2$, то для періоду 2021–2030 рр. та 2041–2050 рр. вона очікується в межах $5,8$ – $5,54 \text{ м}^2/\text{м}^2$, причому для першого сценарного періоду вона буде вищою. В другий період сформується дещо вищий рівень площі листя, в період максимального розвитку вона становитиме $5,95 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

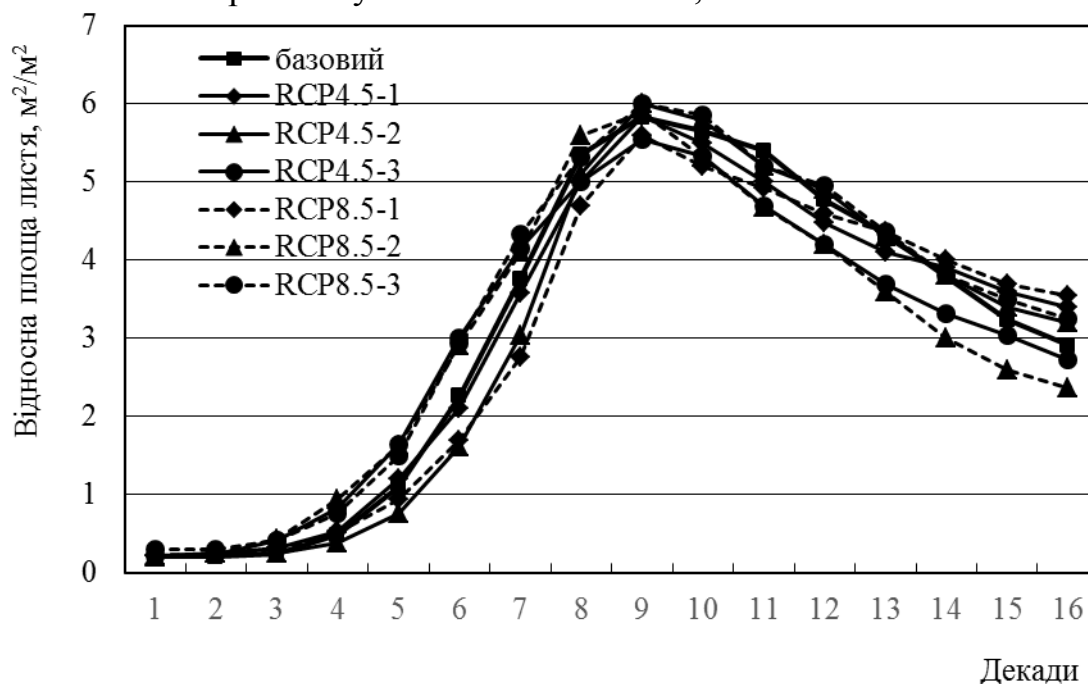


Рис. 1. Динаміка накопичення відносної площі листя посіву міскантусу при середніх багаторічних умовах в порівнянні з сценарними умовами

Джерело: авторські дослідження.

Значення фотосинтетичного потенціалу (ФСП) посадок міскантусу за вегетаційний період при середніх багаторічних умовах складає $495 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Для всіх сценарних періодів він зменшиться і буде становити 99 % від середнього багаторічного значення протягом 2021–2030 рр. та 97 % від середнього багаторічного значення протягом 2031–2050 рр.

Зменшення вологозабезпечення посадок міскантусу в 2021–2050 рр. обумовить менший рівень метеорологічно можливої урожайності сухої маси (ММУ) в порівнянні з базовим періодом (450–479 ц/га проти 531 ц/га). З урахуванням природної родючості ґрунту рівень дійсно можливого урожаю сухої маси (ДМУ) складатиме в перший сценарний період 85 % від середнього багаторічного. Для періоду 2031–2050 рр. він очікується на рівні 90 % в порівнянні з середнім багаторічним.

Урожай міскантусу при вологості 19 % становить при середніх багаторічних умовах 26,5 т/га (табл. 2). За сценарієм RCP4.5 в агрометеорологічних умовах першого сценарного періоду він буде складати 85 % від середнього багаторічного і очікується дещо вищим (до 90 % від базового) для другого та третього періоду.

За умов реалізації сценарію RCP8.5 протягом трьох сценарних періодів строк відновлення вегетації практично співпадає з базовим (23.04, 28.04 та 22.04 відповідно) (табл. 1).

За кліматичним сценарієм RCP8.5 за період вегетації міскантусу буде очікуватись суттєве збільшення приходу сонячної радіації. В 2021–2050 рр. кількість ФАР буде значно більше в порівнянні не тільки з середнім багаторічним значенням, але і по відношенню до кількості ФАР за сценарієм RCP4.5. Вона становитиме 105–107% від середньої багаторічної величини і в середньому на 10 кДж/см² буде більше в порівнянні зі сценарними даними RCP4.5 за період вегетації.

Прихід ФАР обумовлює рівень ПУ травостою, тому буде спостерігатись різниця в формуванні ПУ всієї сухої маси міскантусу в залежності від кількості ФАР. В перший сценарний період ПУ становитиме 841, в другий 843 і в третій – 827 ц/га, що відповідно складає 107, 107 і 105% від середньої багаторічної величини ПУ (табл. 2).

Температурний режим протягом вегетації міскантусу буде у другий сценарний період близьким до середньобагаторічного (16,1 °С). Для першого і третього періодів температура повітря буде на 0,5–0,8 °С нижче. Сума опадів за період вегетації у другий сценарний період буде набагато меншою від середньої багаторічної суми та складатиме лише 53 % від її величини. У перший період вона підвищиться до 83 %, а у третій період очікується суттєве зростання суми опадів (практично до базового рівня).

Досить значна кількість опадів і суттєве зменшення випаровуваності завдяки зниженню температурного фону третього сценарного періоду відповідно знизить дефіцит вологи ($E_o - E$) до 87 мм (проти 141 мм у перший період та 179 мм у другий). Також в третій сценарний період очікується покращення умов вологозабезпеченості, коли на фоні понижених температур повітря відносна вологозабезпеченість складатиме 0,77 відн. од., що трохи вище, ніж за середньобагаторічними умовами. Особливістю третього періоду є також значне збільшення ГТК (до 1,46 відн. од.), що сприяє наростанню рослинної маси.

Формування площі листя (рис. 1) іде аналогічно динаміці площі листя при середніх багаторічних агрометеорологічних умовах. В період максимального розвитку вона буде на 0,25 м²/м² меншою в порівнянні з середньою багаторічною величиною (5,85 м²/м²) протягом 2021–2030 рр. Очікується, що найбільший рівень відносної площі листя буде у другий сценарний період (5,9 м²/м²) та третій сценарний період (6 м²/м²).

Така динаміка площі листя та роботи фотосинтетичного апарату сформує досить високий фотосинтетичний потенціал травостою протягом третього сценарного періоду ($528 \text{ м}^2/\text{м}^2$ проти $495 \text{ м}^2/\text{м}^2$ за базовий період). В умовах зменшення вологозабезпеченості посадок міскантусу, що очікується у період 2012–2040 рр., сформується ФСП, нижчий за значенням у порівнянні не тільки з середньобагаторічним, але й зі сценарними (за сценарієм RCP4.5). Він буде становити 95 % від середньобагаторічного значення у перший сценарний період та 96 % – у другий.

Завдяки збільшенню значень ФАР, що надходить до посіву протягом вегетації міскантусу, відповідно зростають і значення ПУ. При очікуваних сценарних агрометеорологічних умовах зростання посівів рівень ММУ в два перші сценарні періоди буде становити 510–514 ц/га сухої рослинної маси, що дещо менше, чим рівень ММУ посівів при середньобагаторічних умовах (531 ц/га). Це складатиме 96 % від середнього багаторічного значення (табл. 2). Слід відмітити, що в порівнянні з розрахованими значеннями ММУ міскантусу за сценарієм RCP4.5, рівень ММУ сухої маси за сценарієм RCP8.5 очікується значно вищим: на 64 ц/га протягом 2021–2030 рр., на 33 ц/га протягом 2031–2040 рр. та на 11 ц/га протягом 2041–2050 рр.

Також буде досить високим і рівень ДМУ сухої рослинної маси за сценарієм RCP8.5 у порівнянні із сценарієм RCP4.5. А ДМУ протягом третього сценарного періоду (325 ц/га) буде складати 102 % від середньобагаторічного значення.

За сценарієм RCP8.5 урожай маси міскантусу при вологості 19 % для перших двох сценарних періодів буде становити 25,5–25,7 т/га (табл. 2). В агрометеорологічних умовах двох перших періодів він буде складати 97 % від середнього багаторічного, але очікується дещо вищим (до 102 %) для третього періоду.

Таким чином, можна сказати, що майбутні зміни клімату на території Полісся будуть незначно впливати на агрокліматичні умови вирощування міскантусу, продуктивність його посадок майже не зміниться, а в деяких випадках і збільшиться. Тож посадки цієї біоенергетичної культури будуть й надалі залишатися вигідним джерелом постачання енергії.

У сільському господарстві ця енергія (зокрема, тріска та пелети з міскантуса завдяки його високій теплотвірній здатності) може використовуватися перш за все для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання житлових та виробничих приміщень. Також енергія біомаси може використовуватись для сушки зерна, насіння і кормів, теплової обробки сільськогосподарської продукції при різних технологічних процесах на сільськогосподарських підприємствах. Особливо це стосується негазифікованих сільських територій, в умовах відсутності магістрального газу, який до того ж з кожним роком дорожчає.

З огляду на це, враховуючи не тільки високу продуктивність, а й здатність посадок міскантусу запобігати водній ґрунтовій ерозії та сприяти збільшенню гумусу у ґрунті, хотілося б рекомендувати більшу увагу приділяти вирощуванню цієї біоенергетичної культури в контексті підвищення енергоефективності та енергонезалежності сільських територій.

3.2. Роль відновлюваних джерел енергії у розвитку сільських територій

Галанець В. В., Дзюрах Ю. М.

Національний університет «Львівська політехніка»

Розвиток сільського господарства України взаємопов'язаний із станом розвитку сільських територій, які займають більшу частину площі території країни. Вони переважно мають вигідне географічне розташуванням та сприятливі умови для проживання та ведення господарської діяльності. Водночас варто відзначити, що використання природно-ресурсного потенціалу сільських територій України в умовах нестабільності, як політичної, так і економічної, є нераціональним, антропогенний вплив на навколишнє середовище зростає. Депопуляція сільських територій, зубожіння жителів сіл, їх виїзд закордон у пошуках роботи та заробітку, непривабливість ведення бізнесу в сільській місцевості, екстенсивні та застарілі методи і технології ведення сільського господарства, які призводять до забруднення навколишнього середовища – це те, що перешкоджає розвитку сільських територій.

Причиною такого стану справ є нестача фінансових ресурсів, відсутність стратегій сталого розвитку сільських територій. Необхідно здійснювати пошук перспективних напрямів забезпечення сталого розвитку сільських територій країни.

Такими напрямками зокрема можуть бути: відновлювальна енергетика, переорієнтація на альтернативні джерела енергії, застосування біоенергетичних технологій. В умовах політичного шантажу, загострення підвищення вартості енергоресурсів, підвищення їх вартості, проблеми енергозабезпечення стає особливо актуальною. Варто переглянути структуру наявних джерел енергії на користь тих технологій, що використовують відновлювані енергоресурси.

Серед усіх різновидів найбільш поширеними відновлюваними джерелами енергетики є: сонячна енергетика, вітроенергетика, гідроенергетика, біоенергетика. Всі перелічені джерела у порівнянні із традиційними мають низку суттєвих переваг: екологічність, безпека, доступність, невичерпність, утилізація відходів тощо.

Незважаючи на потужний потенціал сільських територій щодо