



**Енергоефективність  
і енергонезалежність  
сільських територій:  
передумови формування та  
функціонування**

Полтава 2020

*Рецензенти:*

**П. В. Писаренко**, доктор сільськогосподарських наук, професор, академік Інженерної академії України, професор кафедри землеробства і агрохімії імені В. І. Сазанова, професор кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля Полтавської державної аграрної академії

**М. Я. Шевніков**, доктор сільськогосподарських наук, професор, директор ВСП «Аграрно-економічний фаховий коледж Полтавської державної аграрної академії»

**О. В. Климчук**, доктор економічних наук, доцент, учений секретар науково-дослідної частини, професор кафедри менеджменту та поведінкової економіки Донецького національного університету імені Василя Стуса

*Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Полтавської державної аграрної академії (протокол № 2 від 13.10.2020 р.)*

Е 61 Енергоефективність і енергонезалежність сільських територій: передумови формування та функціонування : колективна монографія ; за ред.Т. О. Чайки, І. О. Яснолоб, О. О. Горба. Полтава : Видавництво ПП «Астрая», 2020. 180 с.

ISBN 978-617-7669-99-8

У колективній монографії з позицій міждисциплінарного підходу викладено результати досліджень сучасного стану використання альтернативних джерел енергії в умовах розвитку сільських територій. Наведено економічні, соціальні та правові проблеми використання альтернативних джерел енергії. Розглянуто питання щодо агроекологічних особливостей та перспектив використання альтернативних джерел енергії в сучасних умовах. Визначено проблеми та перспективи технологічних і технічних рішень в галузі альтернативної енергетики. Досліджено напрями вдосконалення використання альтернативних джерел енергії в умовах розвитку сільських територій. Розкрито використання вітчизняного і зарубіжного досвіду у підвищенні енергоефективності та енергонезалежності сільських територій.

Колективна монографія є частиною науково-дослідних тем Полтавської державної аграрної академії «Концепція розвитку енергоефективних і енергонезалежних сільських територій задля зміцнення конкурентоспроможності національної економіки» (номер державної реєстрації 0119U100028 від 10.01.2019 р.).

Розраховано на науковців, викладачів, керівників і спеціалістів органів державного управління, фахівців агроформувань, аспірантів, студентів і всіх, хто цікавиться питаннями використання альтернативних джерел енергії в умовах сільських територій.

УДК 620.9:332.122(1-22)

*Автори вміщених матеріалів висловлюють власну думку, яка не завжди збігається з позицією редакції. За зміст матеріалів відповідальність несуть автори.*

ISBN 978-617-7669-99-8

© Колектив авторів, 2020.

Даний підхід органічно вписується в уже існуючу систему і дозволяє ефективно використовувати наявні рослинні ресурси, перетворюючи їх на паливо для виробництва теплової енергії.

В результаті реалізації даної концепції територіальні громади отримують наступні переваги:

1. Енергонезалежність села від постачання зовнішніх енергоносіїв на основі виробництва власної теплової та електроенергії;

2. Більш стабільне прогнозування витрат на виробництво теплової енергії (зменшення залежності від зміни ринкових цін на енергоносії);

3. Створення додаткових робочих місць, зростання зайнятості населення та зростання добробуту;

4. Ефективне використання малопродуктивних земель для вирощування енергетичних культур, після багаторічного їхнього використання можливість переведення у землі сільськогосподарські призначення;

5. За рахунок зменшення використання природного газу – вивільнення коштів для розвитку інфраструктури територіальної громади та об'єктів соціальної інфраструктури.

#### **1.4. Оцінка агрокліматичних умов продуктивності сорго в Степовій зоні України в умовах змін клімату**

*Польовий А. М., Божко Л. Ю., Барсукова О. А.  
Одеський державний екологічний університет*

Сорго – продовольча, кормова і технічна культура використовується в різних сферах діяльності людства: для виготовлення крупи, комбікормів і як концентрований корм для тваринництва і птахівництва. Воно входить до п'ятірки найбільш популярних рослин у світі. Сорго вирощується на усіх континентах в зонах з тропічним та помірним кліматом. В Європі основними виробниками сорго є Росія і Україна, де посівні площі сорго становлять відповідно 225 тис. та 70 тис. га.

Сорго відноситься до другої групи зернових культур, відзначається найбільшою теплолюбністю серед культур цієї групи і може вирощуватись як головна, так і пожнивна культура.

Серед польових культур сорго найбільш посухостійка та жаростійка, невибаглива до ґрунтів злакова рослина з добре розвиненим

корінням, що дозволяє вирощувати його в умовах малородючих земель. Насіння проростає за мінімальної вологості посівного шару ґрунту. Слід відзначити, що за сильної посухи ріст сорго призупиняється і відновлюється за настання сприятливих умов. Рослини сорго використовують опади на протязі всього літа. Не зважаючи на посухостійкість сорго добре відкликається на покращення водного режиму. Добре реагує на зрошення.

За хімічним складом зерно сорго подібне кукурудзі, але вміщує більше білків. За вмістом вітамінів групи В, каротину та рибофлавіну не поступається пшениці і іншим зерновим культурам. Сорго також відзначається високим вмістом антиоксидантів, відсутністю глютеїну і є джерелом клітковини і калію.

Сорго має велику агротехнічну цінність як просапна рослина та попередник ярих культур. Сорго дає високі і стійкі врожаї зерна – від 20 до 40 ц/га, силосної маси від 200 до 400 ц/га та зеленої маси в сумі за два–три укоси від 250 до 600 ц/га. Основними областями вирощування сорго на Україні, є Луганська, Донецька, Запорізька, Херсонська, Миколаївська, Одеська області а також південні райони Харківської, Дніпропетровської, Кіровоградської областей [43, с. 464].

Чисельні сорти сорго за характером використання у виробництві поділяються на чотири групи: зернові, цукрові, віниччі і трав'янисті. Найбільше поширені сорти зернового, цукрового та трав'янистого сорго. В південних областях степовій зоні України районовані сорти і гібриди зернового сорго: Генічеський 5/11, Кактус, Одеський 205 та Степовий.

Сорго – одна із перспективних кормових культур для вирощування в районах з річною кількістю опадів до 400 мм. Особливо перспективна ця культура для степових районів України, де посушливість зросла у зв'язку із потеплінням клімату, яке спостерігається з кінця минулого століття донині і яке призвело до збільшення посушливості в літній період. Сума опадів в останні роки зменшилася до 250–350 мм за вегетаційний період [44, с. 7].

Мета дослідження полягає в порівнянні агрокліматичних умов формування продуктивності сорго за різних змін клімату на період до 2050 р. Аналіз впливу змін клімату на режим агрокліматичних показників розвитку і формування продуктивності сорго в південних областях України виконувався шляхом порівняння середніх

---

<sup>43</sup> Біологія та екологія сільськогосподарських рослин: Підручник / Паламарчук В. Л. та ін. Вінниця, 2013. 724 с.

<sup>44</sup> Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату ; за ред. С. М. Степанека, А. М. Польового. Одеса : ТЕС, 2018. 549 с.

багаторічних величин продуктивності сорго, які визначені за фактичними спостереженнями за період 1986–2015 рр., та розрахованих показників в умовах змін клімату за різними кліматичними сценаріями RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 за період з 2021 по 2050 рр. Ці чотири RCP містять один сценарій зменшення викидів CO<sub>2</sub> (RCP2.6) і він передбачає низький рівень впливу; два сценарії стабілізації (RCP4.5 і RCP6.0) і сценарій з дуже високим рівнем викидів парникових газів (RCP8.5) [44, с. 7]. Згідно сценарію RCP2.6 радіаційний вплив викидів досягне максимуму і потім почне знижуватись, за сценарієм RCP4.5 радіаційний вплив стабілізується до 2100 року, а за сценаріями RCP6.0 та RCP8.5 він не досягне максимального значення. Для розрахунків агрокліматичних показників використовувалась базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів ) [45, с. 198].

Дослідження динаміки врожайності сорго в південних областях показали, що тенденція тренду має характер зростання з часом, але характер зростання врожаїв по областях різний (табл. 1).

### 1. Рівняння ліній трендів по областях Південного Степу

Область	Рівняння ліній трендів	Коефіцієнт варіації врожаїв сорго під впливом погоди, %
Запорізька	$U = 0,2834 + 23,06$	13,6
Миколаївська	$U = 0,2545 + 29,057$	12,9
Одеська	$U = 0,130x + 42,86$	21,4
Херсонська	$U = 0,419x + 34,17$	28,2

Джерело: авторські розрахунки.

Найменший щорічний приріст урожайності за трендом відзначається в Одеській області, найбільший – в Херсонській.

За значенням коефіцієнту варіації найбільше стійкі врожаї сорго в Миколаївській області (коефіцієнт варіації 12,9 %), найменше – в Херсонській області (коефіцієнт варіації 28,2 %).

Як відомо, врожайність сільськогосподарських культур залежить від багатьох факторів, провідними серед яких є біологічні властивості і клімат. Для виявлення впливу змін клімату на продуктивність сорго використовувалось поняття агроекологічних категорій урожайності, запропоноване Х. Г. Тоомінгом: потенційна врожайність (ПУ), метеорологічно можлива врожайність (ММВ), дійсно можлива врожайність (ДМВ) та урожайність у виробництві (УВ) [46, с. 136].

<sup>45</sup> Полевой А. Н. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур. *Метеорология, климатология и гидрология*. 2004. № 48. С. 195–205.

<sup>46</sup> Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. 200 с.

У табл. 2 представлені показники агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сорго, розраховані в середньому по чотирьох областях: надходження фотосинтетично активної радіації (ФАР), суми температур за вегетаційний період сорго, суми опадів, сумарне випаровування та вологопотреба сорго, яка прирівнюється до випаровуваності, гідротермічний коефіцієнт Г. Т. Селянинова, за яким оцінюється посушливість території (ГТК).

Надходження фотосинтетично активної радіації (ФАР) за вегетаційний період сорго за середній багаторічний період становило складає 139,6 кДж/см<sup>2</sup>. Розрахунки показали, що за усіма сценаріями відзначатиметься зростання надходження ФАР. Меншим це зростання буде в разі реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 і становитиме відповідно 158,3 та 156,7 кДж/см<sup>2</sup>. За сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 ФАР зросте майже однаково і становитиме відповідно до 249,2 та 248,8 кДж/см<sup>2</sup>, що вище середньої багаторічної величини відповідно на 109,6 та 109,2 кДж/см<sup>2</sup>.

За базовий період за вегетацію сорго накопичувалась сума активних температур повітря 3348 °С. Підвищення надходження ФАР сприятиме підвищенню сум температур у розрахунковий період за усіма сценаріями, окрім RCP6.0, де сума температур очікуватиметься майже на рівні суми базового періоду. Найвища сума температур 3665°С очікуватиметься в разі реалізації сценарію RCP8.5.

## **2. Порівняння середніх багаторічних агрокліматичних показників формування врожаїв сорго з розрахованими за різними сценаріями зміни клімату**

Період, сценарій	Сума температур за вегетаційний період, °С	Сума опадів за період, мм/%	Сумарне випаровування за період (E), мм	Випаровуваність за період, (вологопотреба) (E <sub>0</sub> ), мм	Відносна вологозабезпеченість (E/E <sub>0</sub> ), відн.од.	Середнє за період ГТК, відн. од.	Сума ФАР, кДж/см <sup>2</sup> за період
1986-2015	3348	273	390	886	0,44	0,53	139,6
<b>RCP2,6</b>							
2021–2050	3428	263/96	372	1047	0,41	0,68	249,2
Різниця	120	-10	-18	161	-0,03	0,15	109,6
<b>RCP4,5:</b>							
2021–2050	3528	208/76	369	998	0,41	0,58	158,5
Різниця	180	-65	-21	112	-0,03	0,05	18,9
<b>RCP6,0:</b>							
2021–2050	3321	276/101	368	1047	0,28	0,57	248,8
Різниця	-27	3	-22	161	-0,16	0,04	109,2
<b>RCP8,5</b>							
2021–2050	3665	184/67	483	973	0,32	0,54	156,7
Різниця	317	-89	93	87	-0,12	0,01	17,1

Джерело: авторські розрахунки.

За середніми багаторічними даними сума опадів за вегетаційний період сорго становила 273 мм. Розрахунки за усіма досліджуваними сценаріями свідчать, що впродовж вегетаційного періоду сума опадів очікуватиметься за усіма сценаріями, окрім сценарію RCP6.0 меншою середньою багаторічної суми і становитиме від 67 до 76 % від середньої багаторічної. За кліматичним сценарієм RCP6.0 сума опадів очікуватиметься майже на рівні середньої багаторічної величини (96 %).

За умовами реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 за вегетаційний період сорго сумарне випаровування зменшиться у порівнянні із середньою багаторічною величиною на 18–22 мм і тільки в разі реалізації сценарію RCP8,5 сумарне випаровування зросте через зростання сум температур на 93 мм.

Підвищення температурного режиму призведе до підвищення випаровуваності, що спричинить погіршення умов вологозабезпеченості посівів. Так, в середньо багаторічному випаровуваності (вологопотреба сорго) становила 886 мм. За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 випаровуваність зросте до 1047 мм. За сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 очікується підвищення випаровуваності до 930 мм.

Очікувані зміни показників сумарного випаровування за різними сценаріями призведуть до зміни показників волого забезпечення культури, яка за середніми багаторічними даними становить 0,44 відн. од. За розрахунками за усіма сценаріями вологозабезпеченість сорго зменшиться. Найвідчутніше зменшення відбудеться в разі реалізації сценаріїв RCP6.0 та RCP8.5 коли вологозабезпеченість посівів становитиме відповідно 0,28 та 0,32 відн. од. що становить 63 та 74 % від середньо багаторічної величини.

ГТК в середньо багаторічному становить 0,53 відн. од. За усіма сценаріями змін клімату очікується незначне підвищення значень ГТК тільки за сценарієм RCP8,5 воно залишиться майже на рівні середньої багаторічної величини (табл. 2).

Зміни у радіаційному і волого температурному режимі, які будуть спостерігатись у майбутньому за різних сценаріїв зміни клімату, спричинять і різні рівні формування агроекологічних категорій урожайності.

Потенційний врожай сухої маси сорго в середньому за базовий період становив 2105 г/м<sup>2</sup>дек. Оскільки приріст ПУ залежить від надходження сонячної радіації, а вона за розрахунками за усіма сценаріями підвищиться, то і ПУ сухої маси зросте, але за різними сценаріями даними зростання буде неоднаковим. За сценаріями RCP2.6

та RCP6.0 зростання ПУ сухої маси очікуватиметься майже на одному рівні відповідно 2233 та 2246 г/м<sup>2</sup>дек, що становитиме 107 та 108 % від середньої багаторічної величини. За сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 прирости ПУ очікуватимуться вищими і становитимуть відповідно 2346 та 2310 г/м<sup>2</sup>дек, що становитиме 113 та 111 % від середньої багаторічної величини (табл. 3).

Під впливом зміни волого-температурного режиму за розрахунковий період через вплив змін клімату очікуватимуться зміни у формуванні величини сухої маси ММВ.

### 3. Порівняння середніх багаторічних агроекологічних врожаїв сухої маси сорго з розрахованими за різними сценаріями зміни клімату

Період, сценарій	Вся суха маса, г/м <sup>2</sup> дек			Фотосинтетичний потенціал, м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	Баланс гумусу, т/га	Урожай сорго (вологість 14 %), ц/га
	ПУ	ММВ	ДМУ			
1980–2010	2105	878	580	311,3	0,067	24,9
RCP2.6:						
2021–2050	2233	860	567	370,4	0,033	26,4
RCP4.5:						
2021–2050	2346	885	569	324,8	0,067	23,1
RCP6.0:						
2021–2050	2246	859	569	368,7	0,033	26,5
RCP8.5:						
2021–2050	2310	846	596	318,6	0,069	23,0

Джерело: авторські розрахунки.

За середньо багаторічними даними ММУ становив 878 г/м<sup>2</sup>дек. За сценарієм RCP4.5 очікується значення ММУ до 845 г/м<sup>2</sup>дек на рівні середнього багаторічного врожаю сухої маси. За сценарієм RCP8.5, через кращі умови тепло- та вологозабезпеченості, ММУ зросте до 846 г/м<sup>2</sup>дек, що становитиме 107 % від середньо багаторічного. За сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 ММУ становитиме 860 та 859 г/м<sup>2</sup>дек, відповідно 97 та 96 % від середнього багаторічного.

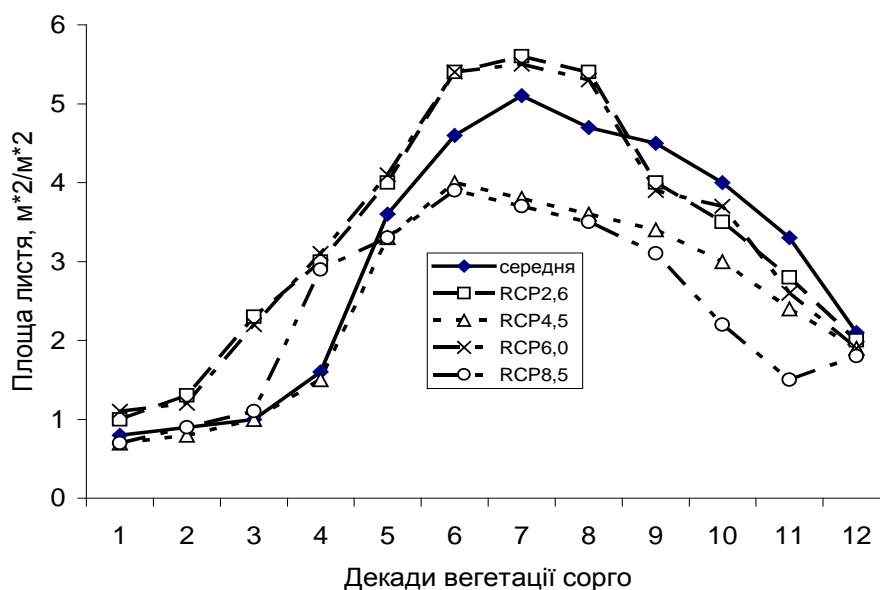
ДМУ всієї сухої маси сорго в середньо багаторічному складало 580 г/м<sup>2</sup>дек. За сценарієм RCP4.5 ДМУ знизиться до 567 г/м<sup>2</sup>дек, що становитиме 98 % від середньо багаторічного. За сценарієм RCP8.5 ДМУ складатиме 103 %, в порівнянні з середньо багаторічним значенням. За сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 ДМУ зменшиться відповідно до 567 г/м<sup>2</sup>дек та 569, що становитиме 96 % від середньої величини базового періоду.

Зміна показників надходження сумарної радіації і волого-температурного режиму спричинить зміну показників фотосинтетичної



продуктивності сорго, одним із показників якої є площа асимілюючої поверхні рослин.

Значення середньої багаторічної площі листя сорго в період максимального розвитку рослин була  $5,1 \text{ м}^2/\text{м}^2$  (рис. 1).



**Рис. 1. Порівняння середньої багаторічної площі листя за вегетаційний період сорго та площі листя розраховані за період з 2021 по 2050 рр.**

Джерело: авторські дослідження.

Як показують розрахунки і видно із (рис. 1) найнижча площа листя впродовж вегетаційного періоду сформується в разі реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 порівняно з середньо багаторічним періодом і складатиме відповідно  $4,0$  та  $3,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . За сценаріями RCP2,6 та RCP6.0 площа листя сформується вищою від середньої багаторічної, буде майже однакова за обома сценаріями і становитиме в період максимального розвитку  $5,6$  та  $5,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

Фотосинтетичний потенціал (ФП) на кінець вегетації сорго за базовий період сформувався на рівні  $313,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . За сценарієм RCP2.6 та RCP6.0 ФП зросте відповідно до  $370,4$  та  $368,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 ФП зросте незначно в порівнянні із середньою багаторічною і становитиме відповідно  $324,8$  та  $318,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$  (табл. 3).

Фотосинтетичний потенціал сприяє формуванню врожаю насіння сорго. Урожай сорго за 14%-ї вологості зерна при середніх багаторічних умовах становив  $24,9$  ц/га (табл. 3). За умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 урожай сорго зменшиться відповідно до  $23,1$  та  $23,0$  ц/га. За сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 урожай сорго зросте і очікуватиметься на рівні  $26$  ц/га.

Зміни волого-температурного режиму також спричинять зміну балансу гумусу під посівами сорго. За середній багаторічний період баланс гумусу становив 0,067 т/га. За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 значення балансу гумусу очікуватиметься на рівні середнього багаторічного, а за сценаріями RCP2.6 та RCP6.0 – він зменшиться і становитиме 0,033 т/га.

На підставі виконаних розрахунків середніх багаторічних агрокліматичних показників формування агроекологічних категорій врожайності сорго та розрахунків за сценаріями змін клімату на період 2021–2050 рр. можна відзначити, що за сценарні періоди в порівнянні з фактичним за багаторічний період очікуватимуться відчутні зміни у температурному режимі та вологозабезпеченості сорго впродовж вегетаційного періоду в разі реалізації будь-якого із сценаріїв. Слід зазначити, що відхилення термічних показників будуть незначними, але ці показники визначені за багаторічний період, який містить останні роки минулого століття і початок поточного, коли зростання температури вже відбулося. Тому подальші зміни температурного режиму не сприятимуть створенню сприятливих умов для розвитку сорго. Кращі умови для розвитку рослин і формування врожаю сорго і майже однакові за обома сценаріями складуться в разі реалізації сценаріїв RCP2.6 та RCP6.0, що сприятиме збільшенню очікуваного врожаю зерна сорго. За реалізації сценаріїв RCP4,5 та RCP агрокліматичні умови для розвитку сорго складуться несприятливі через підвищення посушливості, яка призведе до зменшення врожаю в порівнянні із середнім багаторічним на 3–4 ц/га. Особливо несприятливі умови для формування продуктивності сорго складуться в разі реалізації сценарію RCP8.5, врожай зерна очікуватиметься у розмірі 88 % від середнього багаторічного. Не зважаючи на підвищену посухостійкість і жаростійкість сорго підвищення температурного режиму і зменшення кількості опадів впродовж вегетаційного періоду не будуть сприяти у майбутньому підвищенню врожаїв зерна сорго. Перспективним буде вирощування сорго для отримання зеленої маси, яка може використовуватись і як корм для тваринництва, і як сировина для виготовлення біопалива.