

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ОВОЧІВНИЦТВА І БАШТАННИЦТВА
ДОСЛІДНА СТАНЦІЯ «МАЯК»**

**АГРАРНА НАУКА І ОСВІТА:
ІСТОРИЧНИЙ ЕКСКУРС,
СУЧАСНА ПАРАДИГМА,
СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ**

**МАТЕРІАЛИ
V Міжнародної
науково-практичної конференції**

**(у рамках VIII наукового форуму
«Науковий тиждень у Крутах – 2023»,
3 березня 2023 р.)**

Крути - 2023

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ВРОЖАЙ СОНЯШНИКУ В ЦЕНТРАЛЬНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Жигайло О.Л.¹, Жигайло Т.С.²

¹Одеський державний екологічний університет
м. Одеса, Україна
e-mail: elenajigaylo@gmail.com

²Державне підприємство «Дослідне господарство «Андріївське»
Інституту водних проблем та меліорації
Національної академії аграрних наук України»
с. Андріївка, Білгород-Дністровський р-он,
Одеська область, Україна
e-mail: Fanenger@gmail.com

Вступ. Глобальні зміни клімату є значущим випробуванням як для людства в цілому, так і для окремо взятих країн. Вони пов'язані, перш за все, із зміною середньорічних температур (у більшості випадків з їх ростом – «глобальним потеплінням»), кількістю опадів (збільшення в одних регіонах та зменшення – в інших), а також супроводжуваними вищевказане, підвищенням рівня Світового океану, таїнням льодовиків тощо. Вищезазначене тягне за собою суттєві соціально-економічні наслідки і створює довгострокові ризики для сталого розвитку. Глобальні зміни клімату відчутно впливають на агропромисловий комплекс, що цілком природньо з урахуванням залежності врожайних культур і реалізації базових сільськогосподарських практик від погодних умов, які є короткостроковим втіленням клімату і його динаміки [1, 2].

І зарубіжними, й вітчизняними вченими визнається, що глобальні зміни клімату створюють ризики для сільського господарства[3, 4, 5, 6, 7]. При цьому цілком очевидно, що сільське господарство і, зокрема, рослинництво кліматично найбільш залежні й вразливі, тобто сильно піддаються дії кліматичного фактору. З одного боку, врожайність основних культур безпосередньо пов'язана з температурним режимом і зволоженням. З іншого боку, рослинництво «прив'язане» до визначеної території з конкретними земельними ресурсами, традиціями їх використання тощо. Адаптація його до

мінливих умов можлива лише завдяки селекції і використання нових сортів, докорінної корекції сільськогосподарських практик, нових технологій. Для визначення ефективності таких заходів має здійснюватися своєчасний моніторинг, як триваючих кліматичних змін, так і впливу адаптаційних заходів на галузь рослинництва.

Сільське господарство в усьому Світі має пристосуватися до нових умов глобальних змін клімату з метою забезпечення продовольчої безпеки людства, що є абсолютно неможливим без прогнозування майбутніх чинників. Тому як ніколи актуальним стає питання визначення впливу очікуваних змін клімату на агрокліматичні умови вирощування, продуктивність та валовий збір урожаю провідних культур, а саме соняшнику.

Так в країнах ЄС проведені дослідження впливу змін клімату на посіви і врожай соняшнику, який культивують в південних і східних регіонах Європи. В роботі використані кліматичні сценарії, засновані на чотирьох сценаріях викидів СДСВ МГЕЗК (A1, A2, B1 і B2), щоб передбачити потенційний розподіл біоенергетичних культур в Європі в даний час і в умовах змін клімату. Дослідження показали, що в цих регіонах високі температури і зменшення кількості опадів приведуть до значних втрат врожаю, зменшення вмісту олії та зміни жирних кислот [8].

У Західній Азії (Іран) критерії врожайності і вирощування зрошуваного і богарного соняшнику були вивчені при моделюванні змін клімату для Тебриза. Середньомісячна температура і опади при подвоєнні CO₂ були спрогнозовані з використанням моделей Інституту космічних досліджень Годдарда (GISS) і Лабораторії геофізичної гідродинаміки (GFDL). Вплив кліматичних змін на період зростання сільськогосподарських культур, компоненти врожайності і потреби у воді цих культур оцінювали за допомогою імітаційної моделі сільськогосподарських культур (OSBOL). Згідно OSBOL за прогнозами GDFL, через підвищення середньої температури на 3,7°C і збільшення середньої кількості опадів на 40%, біомаса і потреба в воді для зрошуваного соняшнику були збільшені. Біомаса богарного соняшнику збільшується, а кількість днів до дозрівання і індексу врожаю скорочується [9].

У Туреччині вченими були проведені дослідження можливого впливу кліматичних змін на майбутню врожайність соняшнику за кліматичними прогнозами на основі Глобальної кліматичної моделі

HadGEM2-ES і сценарію RCP8.5. Прогнози показують, що очікується зниження врожайності, особливо в другій половині цього століття. В областях Текірдаг і Конья, де інтенсивно вирощується соняшник, очікується різке зниження врожайності в усі вивчені періоди [10].

У південній частині Азії (Пакистан) вченими проведено тематичне дослідження для оцінки потенційного впливу зміни клімату на врожайність насіння соняшнику в кліматичних умовах регіону Пенджаб. Дослідження було зосереджено на впливі поступової зміни температури на врожай соняшнику. Встановлено, що при середньому підвищенні температури на $+1^{\circ}\text{C}$ в 2020-х роках врожайність насіння може знизитися до 15% і до 25% в 2050-х роках, якщо температура підвищиться на 2°C [11]. Чисельні експерименти з моделлю «CSM-CROPGRO-Sunflower» показали, що через зміни клімату прискориться зростання і розвиток рослин соняшнику, наступ фенологічних фаз розвитку характеризуватиметься більш ранніми термінами [12].

У раніше опублікованих роботах [13-14] нами показано результати моделювання впливу змін клімату на продуктивність культури соняшнику за сценаріями A1B, RCP4.5 і RCP8.5 на основі моделі водно-теплого режиму та формування продуктивності соняшнику. Подано результати впливу змін клімату на урожай соняшнику в Північному Степу України за сценаріями RCP2.6 і RCP4.5 на основі математичної моделі оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур [15].

Ціллю дослідження цієї роботи є виявлення ступеня впливу кліматичних змін на врожайність культури соняшнику за сценаріями RCP2.6 і RCP4.5 на основі моделі «Оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур». Змоделювати і провести аналіз впливу змін клімату на агрокліматичні умови й очікуваний урожай культури соняшнику на сільськогосподарських угіддях у Центральному Лісостепу України.

Методи досліджень. В даній роботі для моделювання й аналізу змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату було використано сучасні сценарії сімейства RCP (Representative Concentration Pathways / Репрезентативні траєкторії концентрацій) – RCP2.6 і RCP4.5, що належать до сценаріїв помірного та середнього рівнів викидів парникових газів [16].

Дослідження формування урожайності соняшнику

проводилося за допомогою математичної моделі оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур [17], адаптованої для культури соняшнику. Модель заснована на концепції максимальної продуктивності рослин, результатах моделювання формування урожаю рослин і методах оцінки мікрокліматичної мінливості елементів клімату у горбистому рельєфі. Вона має блокову структуру, що містять: вхідну інформацію, показники сонячної радіації і водно-температурного режиму з врахуванням експозиції схилів, функції впливу фази розвитку і метеорологічних факторів на продукційний процес рослин, родючість ґрунту і забезпеченість рослин мінеральним живленням, агроекологічні категорії урожайності та узагальнюючі оцінюючі характеристики.

З математичною моделлю було проведено чисельні експерименти за кліматичні періоди: з 1980-2010 рр. [18], що є базовим; з 2021 по 2050 рр. за сценаріями RCP2.6 і RCP4.5. В якості кліматичних характеристик використані: середня температура повітря, інтенсивність сумарної радіації, сума опадів, відносна вологість та дефіцит вологості повітря. Показники погодних умов розраховувались по декадах. Розрахунки виконані для природно-кліматичної зони України – Лісостеп (його центральної частини).

Результати досліджень. В Центральному Лісостепу в даний час сіяти соняшник починають в середньому в другій декаді квітня, за сценарієм змін клімату RCP2.6 (табл. 1) сіяти будуть дещо раніше (на 7-8 днів), а за сценарієм RCP4.5 пізніше на 10-14 днів.

Прихід ФАР за період сівба - збиральна стиглість за фактичними середніми багаторічними даними становить 154,3 кДж/см². За сценарієм RCP2.6 прихід фотосинтетичної активної радіації (ФАР) на посіви соняшнику буде трохи менше (до 94% від фактичної середньої багаторічної). Це зумовить незначну різницю у формуванні потенційної врожайності всієї сухої маси соняшнику (ПУ). При фактичних умовах потенційна врожайність становить 179 ц/га, в той час як за сценарієм вона становитиме 94% від фактичної середньої багаторічної (табл. 1).

Середня температура повітря за період, яка в даний час в середньому становить 16,2°C, за сценарієм очікується на 2,1°C вище.

За кліматичним сценарієм RCP2.6 очікується зниження суми опадів за період сівба - збиральна стиглість на 20%. Це трохи

погіршить забезпечення рослин вологою, збільшить дефіцит вологи до 240 мм, замість 158 мм, а також знизить відносну вологозабезпеченість соняшнику з 0,72 до 0,62 від.од., знизиться величина ГТК до 1,0 від.од.

Таблиця 1

Показники формування урожаю соняшнику в Центральному Лісостепу України (за період сівба – збиральна стиглість)

Показники	Кліматичний період		
	1980-2010 рр. фактичний	2021-2050 за сценарієм RCP2.6	2021-2050 за сценарієм RCP4.5
<i>Агрокліматичні показники</i>			
Дата сівби	11.04	04.04	25.04
Середня температура повітря за період (T_{cp}), °C	16,2	18,3	14,7
Сума опадів за період (R), мм	383	307	336
Сумарне випаровування за період (E), мм	405	400	348
Випаровуваність за період (E_0), мм	562	640	498
Відносна вологозабезпеченість (E/E_0), від.од.	0,72	0,62	0,70
Середній за період ГТК, від. од	1,4	1,0	1,2
Сума ФАР, кДж/см ² за період	154,3	145,1	177,2
<i>Показники формування урожаю соняшнику</i>			
Потенційний урожай(ПУ), ц/га	179	168	206
Метеорологічно можливий урожай(ММУ), ц/га	98	95	113
Дійсно можливий урожай (ДМУ), ц/га	69	67	79
Фотосинтетичний потенціал, (ФП), м ² /м ² за	459	508	686

період

Урожай соняшника при
його вологості 14 %:

Надземної маси, т/га	4,8	4,7	5,5
Маса насіння, т/га	3,1	3,0	3,6

Підвищений температурний режим і незначне зниження режиму зволоження призведе до більш інтенсивного наростання площі листя (рис. 1). Її динаміка буде аналогічна динаміці площі листя при фактичних середніх багаторічних даних, протепчаток цвітіння буде наставати раніше (третя декада червня проти першої декади липня), а площа листя буде більшою. Якщо на початок цвітіння при фактичних умовах максимальна площа листя становить $7,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$, то в умовах сценарію RCP2.6 вона складатиме $8,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

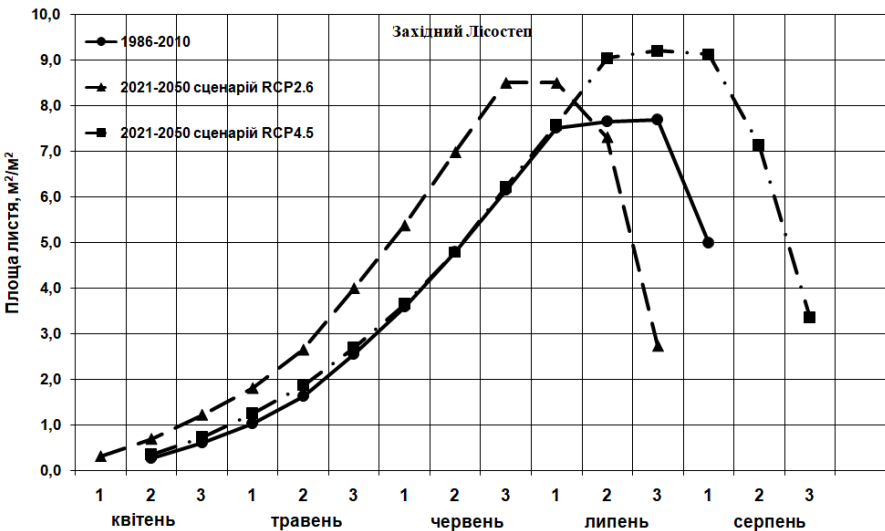


Рисунок 1. Динаміка площі листя соняшнику протягом вегетаційного періоду в Західному Ліссесті України

Значення фотосинтетичного потенціалу соняшнику при фактичних умовах становить $459 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За сценарієм очікується деяке збільшення фотосинтетичного потенціалу (на 3%).

Підвищений температурний і кілька знижений водний режим практично не позначиться на метеорологічно-можливому урожаї (95 ц/га проти 98 ц/га). З урахуванням природної родючості ґрунту рівень дійсно можливого урожаю всієї сухої маси становитиме 97% від фактичного середнього багаторічного.

Урожай надземної маси соняшнику при фактичних середніх багаторічних умовах становить 4,8 т/га. В очікуваних агрокліматичних умовах він буде складати 98% від фактичного середнього багаторічного. Не очікується також значних змін урожаю насіння (3,0 т/га проти 3,1 т/га).

За кліматичним сценарієм RCP4.5 за період сівба - збиральна стиглість очікується збільшення приходу ФАР на посіви соняшнику (на 15%). Це зумовить більш високий рівень потенційної урожайності всієї сухої маси посівів (на 27 ц/га від фактичної). Прихід ФАР за таким сценарієм буде вище ФАР за сценарієм RCP2.6 на 22%, тому рівень потенційної врожайності буде на 38 ц/га вище (табл. 1).

Температурний режим за період від посіву до збиральної стиглості в порівнянні з фактичним буде знижений на 1,5°C, а в порівнянні з температурним режимом за сценарієм RCP2.6 на 3,6°C.

Кількість опадів за вегетаційний період очікується дещо менше фактичної і становитиме 88% від її величини. Зниження опадів зменшить випаровування на 14% від фактичного. Однак невисокі температури в період цвітіння і наливу насіння практично не спричинять зростання випаровуваності, тому дефіцит вологи за сценарієм RCP4.5 буде менший за фактичний (150 мм проти 157 мм), а вологозабезпеченість складатиме 0,70 від.од., що лише на 3% нижче, ніж за фактичними середніми багаторічними умовами. Коефіцієнт посушливості (ГТК) очікується більш одиниці, що вказує на сприятливі умови зволоження для соняшнику за даним сценарієм.

У порівнянні з умовами вологозабезпеченості за сценарієм RCP2.6 умови сценарію RCP4.5 будуть більш сприятливими. Вологозабезпеченість становитиме 112% від її величини. Слід зазначити, що водно-тепловий режим протягом вегетаційного періоду від посіву до збиральної стиглості буде сприяти наростанню рослинної маси.

В цілому, агрокліматичні умови за сценарієм RCP4.5 будуть більш сприятливими в порівнянні з умовами за сценарієм RCP2.6, що сприятиме формуванню більшої площі листя (рис. 1). У період

цвітіння вона буде вище ($9,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$ проти $8,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$) в порівнянні з величиною за сценарієм RCP2.6.

Така динаміка площі листя сформує високий фотосинтетичний потенціал посівів соняшнику за період сівба - збиральна стиглість (на 39% вище фактичного). Фотосинтетичний потенціал за сценарієм RCP4.5 буде вище на $178 \text{ м}^2/\text{м}^2$ фотосинтетичного потенціалу за сценарієм RCP2.6.

При таких агрокліматичних умовах фотосинтетичної діяльності посівів рівень ММУ становитиме 113 ц/га всієї сухої рослинної маси (табл.1), що значно більше, ніж рівень ММУ посівів при фактичних середніх багаторічних умовах (98 ц/га). Слід зазначити, що в порівнянні з розрахованими значеннями ММУ посівів за сценарієм RCP2.6, рівень ММУ посівів за сценарієм RCP4.5 очікується значно вище (на 18 ц/га). Під впливом природної родючості ґрунту рівень ММУ знизиться до рівня ДВУ посівів, який складатиме 79 ц/га всієї сухої рослинної маси (115% від фактичного середнього значення).

За сценарієм RCP4.5 урожай надземної маси посівів становитиме 5,5 т/га (табл. 1), що буде на 15% вище фактичного середнього багаторічного. Вище він буде і в порівнянні з урожаєм за сценарієм RCP2.6 (5,5 ц/га проти 4,7 ц/га). Урожай насіння очікується вище фактичного середнього багаторічного на 16% і на 20% за сценарієм RCP2.6.

Висновки.

Таким чином, якщо реалізується сценарій RCP2.6, тоагрокліматичні умови в Центральному Лісостепу будуть посушливими, однак на урожай соняшника такі умови значно не впливатимуть. Урожай надземної маси і насіння очікується в межах фактичного багаторічного та дорівнюватиме 4,7 т/га і 3,0 т/га відповідно.

При реалізації сценарію RCP4.5 агрокліматичні умови в період вегетації соняшника в розглянутому регіоні очікуватимуться найбільш кращими за фактичні, що сприятиме зростанню врожаю, як надземної маси (5,5 т/га проти 4,8 т/га), так і насіння (3,6 т/га проти 3,1 т/га).

Список використаних джерел

1. Іванюта С.П., Коломієць О.О., Малиновська О.А., Якушенко Л. М. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь. Київ: НІСД, 2020, 110 с.
2. Houghton J. Global Warming: The Complete Briefing. 4-th Edition. Cambridge, Cambridge University Press. 2009, 438p.
3. Brouziyne Y., Abouabdillah A., Hirich A., Bouabid R et al. Modeling sustainable adaptation strategies toward a climate-smart agriculture in a Mediterranean watershed under projected climate change scenarios. *Agricultural Systems*. 2018, Vol. 162,P. 154-163. doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.024.
4. Stepanenko, S.M., Polovyj, A.M. Klimatichni riziki funkcionuvannya galuzej ekonomiki Ukraini v umovah zmini. Odesa: TES. 2018, 549с.
5. Омаров А.Е. Сучасний стан екологічної безпеки в Україні. *Вісник НУЦЗУ. Серія "державне Управління"*. 2017, №2,с.156-164. doi.org/10.5281/zenodo.1038892.
6. Тараріко О.Г., Ільєнко Т.В., Кучма Т.Л. Вплив змін клімату на продуктивність та валові збори зернових культур: аналіз та прогноз. *Український географічний журнал*. 2016, №1,С.14-22. doi:10.15407/ugz2016.01.014.
7. Польовий В.М., Лукашук Л.Я., Лук'яник М.М. Вплив змін клімату на розвиток рослинництва в умовах Західного регіону. *Вісник аграрної науки*. 2019, №9 (798),С. 29-34. doi.org/10.31073/agrovisnyk201909-04.
8. Debaeke P., Casadebaig P., Flenet F., Langlade N. Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case-studies in Europe.*OCL*. 2017, Vol. 24,No.1, D102. doi.org/10.1051/ocl/2016052.
9. Koocheki A., Nassiri M., Soltani A., Sharifi H., Ghorbani R. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. *Climate Research*.2006, Vol. 30, No 3,c. 247-253. doi: 10.3354/cr030247.
10. Hudaverdi G., Yasin O., Nilgun B., Huseyin B., Mustafa Y. Possible Impacts of Climate Change on Sunflower Yield in Turkey. *Agronomy. Climate Change & Food Security*. 2020. doi:10.5772/intechopen.91062.

11. Mubeen M., Ahmad A., Wajid A., Khaliq T. et al. Modelling Climate Change Impacts and Adaptation Strategies for Sunflower in Pakistan. *Outlook on Agriculture*. 2016, Vol. 45, No. 1, P. 39-45. doi.org/10.5367/oa.2015.0226.
12. Muhammad T., Shakeel A., Shah F., Ghulam A. et al. The impact of climate warming and crop management on phenology of sunflower-based cropping systems in Punjab, Pakistan. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018, Vol. 256-257, P. 270-282. doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.03.015.
13. Жигайло О.Л., Жигайло Т.С. Оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування соняшнику в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016, №17, с. 86-92. doi.org/10.31481/uhmj.17.2016.10.
14. Жигайло О.Л., Жигайло Т.С. Моделювання продуктивності соняшнику в умовах майбутніх змін клімату в Україні за сценаріями антропогенного впливу RCP. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2017, №19, с. 71-78.
15. Жигайло О.Л., Вольвач О.В., Толмачова А.В., Костюкевич Т.К. Вплив змін клімату на урожайність соняшнику в Північному Степу України. *Вісник Полтавської державної академії*. 2021, №1, 180-186. doi: 10.31210/visnyk2021.01.22.
16. Solomon S., Qin D., Manning M. et al. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Eds. Cambridge; N.Y.: Cambridge Univ. Press. 2007, 996p.
17. Polevoj, A.N. Bazovaya model ocenki agroklimaticheskikh resursov formirovaniya produktivnosti selskohozyajstvennykh kultur. *Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya*. 2004, No 48, P. 195-205.
18. Адаменко Т.І., Кульбіда М.І., Прокопенко А.Л. *Агрокліматичний довідник по території України*. Кам'янець-Подільськ. 2011, 107 с.