



**BULLETIN OF POLTAVA
STATE AGRARIAN
ACADEMY**

ISSN: 2415-3354 (Print)
2415-3362 (Online)

<https://journals.pdaa.edu.ua/visnyk>



original article | UDC 633.85: 551.58 | doi: 10.31210/visnyk2021.01.22


THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON SUNFLOWER YIELD IN THE NORTHERN STEPPE OF UKRAINE: ANALYSIS AND FORECAST

O. L. Zhygailo

O. V. Volvach

A. V. Tolmachova*

T. K. Kostiukievych

ORCID  [0000-0002-3552-327X](https://orcid.org/0000-0002-3552-327X)

ORCID  [0000-0002-6650-758X](https://orcid.org/0000-0002-6650-758X)

ORCID  [0000-0002-9340-5028](https://orcid.org/0000-0002-9340-5028)

ORCID  [0000-0002-1952-8839](https://orcid.org/0000-0002-1952-8839)

Odessa State Environmental University, 15, Lvivska str., Odesa, 65016, Ukraine

*Corresponding author

E-mail: alla.tolmach@ukr.net

How to Cite

Zhygailo, O. L., Volvach, O. V., Tolmachova, A. V., & Kostiukievych, T. K. (2021). *The influence of climate change on sunflower yield in the Northern Steppe of Ukraine: analysis and forecast*. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (1), 180–186. doi: 10.31210/visnyk2021.01.22

Global climate changes are creating new conditions for all sectors of the world and Ukrainian economy, including agriculture. Their influence is associated with agro-climatic conditions for growing crops, including sunflower. The assessment of these conditions is relevant because they must be taken into account in the potential adaptation of sunflower to climate change and the profitability of its cultivation in certain natural climatic zones of Ukraine. The aim of this study was to identify the degree of climate change influence on sunflower yield. Modern RCP2.6 and RCP4.5 scenarios (moderate and medium greenhouse gas emissions) were used to assess the impact of climate change on sunflower yields. According to these scenarios, the climatic period from 2021 to 2050 was studied. For the comparative analysis of scenario meteorological values with the previous data, the period from 1980 to 2010 was taken. The study of sunflower yield formation was carried out using a mathematical model for estimating agro-climatic resources of crop productivity formation, adapted for sunflower cultivation. According to the calculations, an increase in PAR (by 8 and 21 %) in both scenarios will lead to an increase in the potential sunflower yield (up to 1.63 t/ha and 1.83 t/ha against 1.51 t/ha). According to the RCP2.6 scenario, agro-climatic conditions (increased temperature (by 0.7 °C) and sufficient precipitation for drought-resistant sunflower, 223 mm) will increase the photosynthetic potential, and a slight increase in MPU (0.83 t/ha vs. 0.81 t/ha). Some increase in seed yield (by 4 %) is expected. Agro-climatic conditions under the RCP4.5 scenario will be drier during the flowering-ripening period. But sunflower yield will not be significantly affected by these conditions. Seed yield is expected to be the same as under the actual average long-term conditions (2.3 t/ha). Under the implementation of both scenarios due to the positive impact of expected climatic conditions on all categories of sunflower yields in the next three decades, sunflower will be one of the most popular and profitable crops in the Northern Steppe of Ukraine.

Key words: sunflower, climate change, agro-climatic conditions, modeling, RCP2.6 and RCP4.5 scenarios.

ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА УРОЖАЙНІСТЬ СОНЯШНИКУ В ПІВНІЧНОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ: АНАЛІЗ І ПРОГНОЗ*О. Л. Жигайло, О. В. Вольвач, А. В. Толмачова, Т. К. Костюкєвич*

Одеський державний екологічний університет, м. Одеса, Україна

Глобальні зміни клімату формують нові умови для всіх галузей світової та української економіки, включаючи сільське господарство. З їх впливом пов'язані агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур, зокрема соняшнику. Необхідність оцінити ці умови є актуальною, тому що вони вкрай важливі при врахуванні потенційної адаптації соняшнику до кліматичних змін і рентабельності вирощування в окремих природо-кліматичних зонах України. Метою цього дослідження було виявити ступінь впливу кліматичних змін на врожайність культури соняшнику. Для оцінки впливу змін клімату на врожайність соняшнику використовуються сучасні сценарії RCP2.6 і RCP4.5 (помірного та середнього рівня викидів парникових газів). За сценаріями RCP2.6 і RCP4.5 досліджений кліматичний період з 2021 по 2050 рр. Для порівняльного аналізу сценарних метеорологічних значень з минулими даними взятий період з 1980 по 2010 роки. Дослідження формування урожайності соняшнику проводили з використанням математичної моделі оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур, адаптованої для культури соняшнику. Згідно з розрахунками збільшення ФАР (на 8 і 21 %) за обома сценаріями призведе до збільшення потенційного урожаю соняшнику (до 163 ц/га і 183 ц/га проти 151 ц/га). За сценарієм RCP2.6 агрокліматичні умови (підвищений температурний режим (на 0,7 °С) і достатня за вегетацію для посухостійкого соняшнику сума опадів, 223 мм) сприятимуть збільшенню фотосинтетичного потенціалу незначного, але зростання ММУ (83 ц/га проти 81 ц/га). Очікуватиметься деяке збільшення врожаю насіння (на 4 %). Агрокліматичні умови за сценарієм RCP4.5 будуть більш посушливими в період цвітіння-достигання. Але на урожайність соняшнику ці умови суттєво не вплинуть. Урожай насіння очікується такий, як при фактичних середніх багаторічних умовах (2,3 т/га). У разі реалізації обох сценаріїв унаслідок позитивного впливу очікуваних кліматичних умов на всі категорії урожайності соняшнику найближчі три десятиліття він буде однією з найбільш затребуваних і рентабельних сільськогосподарських культур у Північному Степу України.

Ключові слова: соняшник, зміни клімату, агрокліматичні умови, моделювання, сценарії RCP2.6 і RCP4.5.

Вступ

Глобальні зміни клімату є значущим випробуванням як для людства загалом, так і для окремо взятих країн. Вони пов'язані, насамперед, зі зміною середньорічних температур (найбільше з їх ростом – «глобальним потеплінням»), кількістю опадів (збільшення в одних регіонах та зменшення в інших), а також супроводжуваними вищенаведене підвищення рівня Світового океану, таїння льодовиків тощо. Вищезазначені показники призводять до суттєвих соціально-економічних наслідків і створюють довгострокові ризики для сталого розвитку. Глобальні зміни клімату відчутно впливають на агропромисловий комплекс, що цілком природньо з урахуванням залежності врожаїв і реалізації базових сільськогосподарських практик від погодних умов, які є короткостроковим утіленням клімату і його динаміки [1–4].

І зарубіжні й вітчизняні вчені визнають, що глобальні зміни клімату створюють ризики для сільського господарства [4–9]. При цьому цілком очевидно, що сільське господарство і, зокрема, рослинництво кліматично найбільш залежні і вразливі, тобто на них дуже впливає кліматичний фактор. 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 їхнього використання тощо. Адаптація його до мінливих умов можлива лише завдяки селекції і використанню 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 для 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, зокрема соняшнику.

Наприклад, у країнах ЄС проведені дослідження впливу змін клімату на посіви і врожай соняшнику, який культивують у 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 тепер і в умовах змін клімату. Дослідження показали, що в цих регіонах високі температури і зменшення кількості опадів призведуть до значних втрат урожаю, зменшення вмісту олії та зміни жирних кислот [10].

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 прогнозування 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 з OSBOL за прогнозами GDFL, через підвищення середньої температури на 3,7 °C і збільшення середньої кількості опадів на 40 %, біомаса і потреба у воді для зрошуваного соняшнику також збільшувались. Біомаса богарного соняшнику зростає, а кількість днів до дозрівання і індекс урожаю скорочується [11].

У Туреччині вчені провели дослідження можливого впливу кліматичних змін на майбутню врожайність соняшнику за кліматичними прогнозами на основі Глобальної кліматичної моделі HadGEM2-ES і сценарію RCP8.5. Прогнозовані результати свідчать, що очікується зниження врожайності, особливо у другій половині цього століття. В областях Текірдаг і Конья, де інтенсивно вирощується соняшник, очікується різке зниження врожайності в усі вивчені періоди [12].

У південній частині Азії (Пакистан) учені провели тематичне дослідження для оцінки потенційного впливу зміни клімату на врожайність насіння соняшнику у кліматичних умовах регіону Пенджаб. Дослідження було зосереджено на впливі поступової зміни температури на урожай соняшнику. Встановлено, що при середньому підвищенні температури на + 1 °C у 2020-х роках, врожайність насіння може знизитися до 15 % і до 25 % у 2050-х роках, якщо температура підвищиться на 2 °C [13]. Чисельні експерименти з моделлю «CSM-CROPGRO-Sunflower» показали, що через зміни клімату прискориться зростання і розвиток рослин соняшнику, настання фенологічних фаз розвитку характеризуватиметься більш ранніми термінами [14].

Мета дослідження в цій роботі: виявити ступінь впливу кліматичних змін на врожайність культури соняшнику за сценаріями RCP2.6 і RCP4.5 на основі моделі «Оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур».

Завдання дослідження: за сценаріями RCP2.6 і RCP4.5 змоделювати і провести аналіз впливу змін клімату на агрокліматичні умови й очікуваний урожай культури соняшнику на сільськогосподарських угіддях Північного Степу України.

Матеріали і методи досліджень

У цій 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 [15, 16].

Дослідження формування урожайності соняшнику проводили 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 в горбистому рельєфі. Вона має блокову структуру, що містить: вхідну інформацію, показники сонячної радіації і водно-температурного режиму з урахуванням 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: 1980–2010 рр. [18], що є базовим; 2021–2050 рр. за сценаріями RCP2.6 і RCP4.5. Як кліматичні характеристики використані: середня температура повітря, інтенсивність сумарної радіації, сума опадів, відносна вологість та дефіцит вологості повітря. Показники погодних умов розраховувалися по декадах.

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ЕКОЛОГІЯ

Розрахунки виконані для природно-кліматичної підзони України – Північний Степ.

Результати досліджень та їх обговорення

Сіяти соняшник за фактичними середніми багаторічними даними у Північному Степу починають на початку квітня, за сценаріями зміни клімату RCP2.6 (табл.) сіятимуть дещо раніше, за сценаріями RCP4.5 на 5–6 днів пізніше.

Агрокліматичні умови формування урожаю соняшника в Північному Степу України (за період сівба – збиральна стиглість)

Показники	Кліматичний період		
	1980–2010 рр. фактичний	2021–2050 рр. за сценарієм RCP2.6	2021–2050 рр. за сценарієм RCP4.5
<i>Агрокліматичні показники</i>			
Дата сівби	07.04	02.04	13.04
Середня температура повітря за період (Т _{ср.}), °С	18,3	18,9	17,6
Сума опадів за період (R), мм	221	223	200
Сумарне випаровування за період (E), мм	287	319	238
Випаровуваність за період, (E ₀), мм	565	671	630
Відносна вологозабезпеченість (E/E ₀), відн. од.	0,51	0,47	0,38
Середній за період ГТК, відн. од.	0,9	0,9	0,8
Сума ФАР, кДж/см ²	132,8	143,7	161,5
<i>Показники формування урожаю соняшника</i>			
Потенційний урожай (ПУ), ц/га	151	163	183
Метеорологічно можливий урожай (ММУ), ц/га	81	83	80
Дійсно можливий урожай (ДМУ), ц/га	50	52	49
Фотосинтетичний потенціал (ФП), м ² /м ² , за період	342	369	432
Урожай соняшника:			
- суха надземна маса, т/га	3,5	3,6	3,4
- маса насіння (при вологості 14 %), т/га	2,3	2,4	2,3

Прихід ФАР за період сівба – збиральна стиглість за фактичними середніми багаторічними даними становить 132,8 кДж/см². За сценарієм RCP2.6 очікується деяке збільшення приходу ФАР (до 8 %). Це дещо збільшить потенційну урожайність порівняно з фактичною середньою багаторічною.

Середня за період сівба – збиральна стиглість температура повітря, яка натеper складає 18,2 °С, за сценарієм очікується на 0,7 °С вище.

Очікувана кількість опадів буде такою, як фактична (на 2 мм більше). Однак підвищений температурний режим впливатиме на дефіцит вологи (352 мм проти 278 мм). Але загалом вологозабезпеченість рослин становитиме 92 % від фактичної середньої багаторічної. ГТК очікується рівним середньому багаторічному.

Підвищений температурний режим і достатня за вегетацію для посухостійкого соняшнику сума опадів призведе до більшого наростання площі листя. Сценарна динаміка площі листя буде аналогічно фактичній, однак величина площі буде трохи вище. Якщо в період цвітіння при фактичних агрокліматичних умовах площа листя становить 5,9 м²/м², то за сценарієм RCP2.6 вона збільшиться до 6,4 м²/м² (рис.).

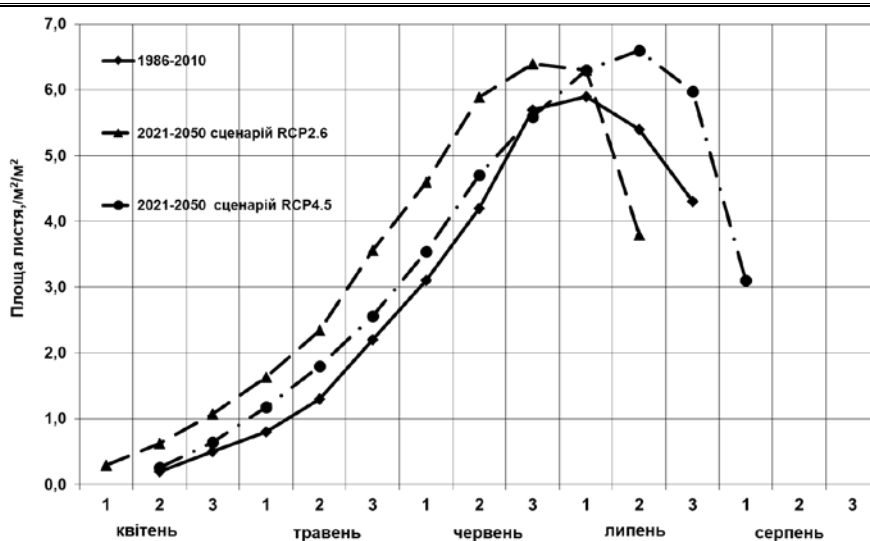


Рис. Динаміка площі листя в період сівби – збиральна стиглість порівняно з фактичними середніми багаторічними і сценарними розрахунковими даними для Північного Степу України

Це позначиться на фотосинтетичному потенціалі. Величина фотосинтетичного потенціалу при фактичних умовах становить 342 м²/м² за період сівби – збиральна стиглість. За сценарієм він буде трохи вище (на 8 %).

Агрокліматичні умови за сценарієм RCP2.6 зумовлять дещо трохи вищу величину – рівень метеорологічно-можливої урожайності всієї сухої маси порівняно з фактичною середньою багаторічною. Рівень дійсно можливого врожаю становитиме 104 % від фактичного середнього багаторічного (табл.).

Урожай надземної маси становить при фактичних умовах 3,5 т/га, дещо більше він очікується за сценарієм RCP2.6 (на 3%). Очікується деяке збільшення врожаю насіння (на 4 %).

За кліматичним сценарієм RCP4.5 за період сівби – збиральна стиглість очікується ще збільшення приходу ФАР на посіви соняшнику (на 21 %). Це зумовить більш високий рівень потенційної урожайності всієї сухої маси посівів (на 32 ц/га від фактичної). Прихід ФАР за цим сценарієм буде на 12 % більше, ніж за сценарієм RCP2.6, тому величина потенційної врожайності буде на 20 ц/га вище (табл.).

Температурний режим періоду сівби – збиральна стиглість за другим сценарієм порівняно з фактичним знизиться на 0,6 °С, а порівняно з температурним режимом за сценарієм RCP2.6 на 1,3 °С.

Сценарна кількість опадів за вегетаційний період очікується дещо менше фактичної і становитиме 90 % від її величини. Зниження кількості опадів спричинить зменшення випаровування на 83 % від фактичного, однак високі температури (середня температура повітря становить 22,2 °С) в період цвітіння і наливу насіння сприятимуть зростанню випаровуваності, що збільшить дефіцит вологи до 392 мм. Тому вологозабезпеченість складатиме 0,38 від. од., що на 25 % нижче, ніж за фактичними середніми багаторічними умовами. Нижче буде і ГТК.

Порівняно з умовами вологозабезпеченості за сценарієм RCP2.6 умови сценарію RCP4.5 будуть також більш посушливими. Вологозабезпеченість становитиме 81 % від її величини. Однак слід зазначити, що водно-тепловий режим у період від посіву до цвітіння буде менш посушливим, що сприятиме наростанню рослинної маси.

Динаміка площі листя буде аналогічна динаміці площі листя за фактичними середніми багаторічними даними, але рівень буде трохи вище. У період цвітіння, коли спостерігається максимальне формування листкової поверхні, її рівень становитиме 6,6 м²/м², що на 0,7 м²/м² більше порівняно з фактичною величиною і на 0,2 м²/м² порівняно з величиною за сценарієм RCP2.6 (рис.).

Така динаміка площі листя і роботи фотосинтетичного апарату сформує досить високий фотосинтетичний потенціал посівів за період посів–дозрівання, який буде вище порівняно з фотосинтетичним потенціалом, який формується при фактичних умовах і умовах сценарію RCP2.6 (табл.).

У таких агрокліматичних умовах фотосинтетичної діяльності посівів рівень ММУ становитиме 99 % від фактичного середнього багаторічного і 96 % від метеорологічно-можливого врожаю за сценарієм RCP2.6. Рівень дійсно можливого врожаю, який залежить від родючості ґрунту, на якому ви-

рошують соняшник, за сценарієм RCP4.5 складатиме 49 ц/га всієї сухої рослинної маси (98 % від фактичних значень і 94 % від сценарних RCP2.6).

В агрокліматичних умовах за сценарієм RCP4.5 урожай надземної маси посіву буде дещо менше фактичного, порівняно із сценарною величиною RCP2.6 він становитиме 94 %. Урожай насіння очікується таким же, як при фактичних середніх багаторічних умовах і дещо менше урожаю за сценарієм RCP2.6 (табл.).

У раніше опублікованих роботах [19, 20] ми показали результати моделювання впливу змін клімату на продуктивність культури соняшнику за сценаріями A1B, RCP4.5 і RCP8.5 на основі моделі водно-теплогового режиму та формування продуктивності. Згідно з розрахунками, отриманими за допомогою цієї моделі, за умов реалізації всіх трьох сценаріїв продуктивність посівів соняшника у Північному Степу знижується, однак ризики недобору урожаю насіння розцінюються як середні [20]. У результаті досліджень з використанням моделі оцінки агрокліматичних ресурсів встановлено, що урожайність насіння соняшника найближчі тридцять років у дослідженій ґрунтово-кліматичній зоні очікується близькою до фактичної (2,3 т/га). Треба відзначити, що вхідною кліматичною інформацією до розрахунків за цією моделлю є не тільки середньодекадна температура повітря та декадна сума опадів, але й інтенсивність сумарної радіації, відносна вологість та дефіцит вологості повітря.

Висновки

Отже, збільшення приходу ФАР за обома сценаріями (RCP2.6 і RCP4.5) збільшить потенційну врожайність соняшнику. Умови температурного режиму і умови зволоження за сценарієм RCP2.6 сприятимуть збільшенню метеорологічно можливого і дійсно можливого врожаю. За сценарієм RCP4.5 через підвищений температурний режим у період цвітіння соняшнику очікується незначне зниження ММУ і ДМУ. Розрахунки показали, що за обома сценаріями зниження врожаю насіння соняшнику не очікується. Тому при реалізації будь-якого із цих сценаріїв соняшник залишиться однією із затребуваних і рентабельних культур у Північному Степу України.

Перспективи подальших досліджень. У подальшому планується за цією моделлю провести розрахунки й аналіз у Лісостеповій зоні України. Оцінити перспективи вирощування культури соняшнику за сценаріями RCP6.0 і RCP8.5.

References

1. Ivanyuta, S. P., Kolomyeyec, O. O., Malinovska, O. A., & Yakushenko, L. M. (2020). *Zmina klimatu: naslidki ta zahodi adaptaciyi: analit. dopovid.* Kiyiv: NISD [In Ukrainian].
2. Pachauri, R. K., & Mejer, L. A. (2014). *Izmenenie klimata. Obobshayushij doklad. Vklad Rabochih grupp I, II i III v Pyatyj ocenochnyj doklad Mezhravitelstvennoj grupy ekspertov po izmeneniyu klimata.* MGEIK, Zheneva, Shvejcariya [In Russian].
3. Houghton, J. (2009). *Global Warming: The Complete Briefing. 4-th Edition.* Cambridge, Cambridge University Press, 438.
4. Yashalova, N. N., & Ruban, D. A. (2018). *Dolgovremennye riski rossijskogo rastenievodstva v usloviyah globalnyh izmenenij klimata v kontekste prodovolstvennoj bezopasnosti.* *Regionalnaya Ekonomika: Teoriya i Praktika*, 16 (6), 1127–1140 [In Russian].
5. Brouziyne, Y., Abouabdillah, A., Hirich, A., Bouabid, R., Zaaboul, R., & Benaabidate, L. (2018). *Modeling sustainable adaptation strategies toward a climate-smart agriculture in a Mediterranean watershed under projected climate change scenarios.* *Agricultural Systems*, 162, 154–163. doi: 10.1016/j.agry.2018.01.024
6. Stepanenko, S. M., & Pol'ovyy, A. M. (2018). *Klimatichni riziki funkcionuvannya galuzej ekonomiki Ukrayini v umovah zmini: monografiya.* Odesa: TES, 549 [In Ukrainian].
7. Omarov, A.E. (2017). *Suchasnij stan ekologichnoyi bezpeki v Ukrayini.* *Visnyk Natsionalnoho Universytetu Tsyvilnoho Zakhystu Ukrainy. Seriya "Derzhavne Upravlinnya"*, 2 (7), 156–164. doi: 10.5281/zenodo.1038892 [In Ukrainian].
8. Tarariko, O. G., Ilyenko, T. V., & Kuchma, T. L. (2016). *Vpliv zmin klimatu na produktivnist ta valovi zbori zernovih kultur: analiz ta prognoz.* *Ukrayinskij Geografichnij Zhurnal*, 1, 14–22. doi: 10.15407/ugz2016.01.014 [In Ukrainian].

9. Polovij, V. M., Lukashuk, L. Ya., & Luk'yanik, M. M. (2019). Vpliv zmin klimatu na rozvitok roslinnictva v umovah Zahidnogo regionu. *Visnik Agrarnoyi Nauki*, 9 (798), 29–34. doi: 10.31073/agrovisnyk201909-04 [In Ukrainian].
10. Debaeke, P., Casadebaig, P., Flenet, F., & Langlade, N. (2017). Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case-studies in Europe. *OCL*, 24 (1), D 102. doi: 10.1051/ocl/2016052
11. Koocheki, A., Nassiri, M., Soltani, A., Sharifi, H., & Ghorbani, R. (2006). Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. *Climate Research*, 30 (3), 247–253. doi: 10.3354/cr030247
12. Hudaverdi, G., Yasin, O., Nilgun, B., Huseyin, B., & Mustafa, Y. (2020). Possible Impacts of Climate Change on Sunflower Yield in Turkey. *Agronomy. Climate Change & Food Security*. doi: 10.5772/intechopen.91062
13. Wajid, N.J., Hatem, B., Ashfaq, A., Muhammad, H., Khawar, J., Kalim, U., Shah, F., Muhammad, Sh., & Gerrit, H. (2016). Modelling Climate Change Impacts and Adaptation Strategies for Sunflower in Pakistan. *Outlook on Agriculture*, 45 (1), 39–45. doi: 10.5367/oa.2015.0226
14. Muhammad, T., Shakeel, A., Shah, F., Ghulam, A., Sajjad, H., Zartash, F., Wajid, N., Muhammad, M., Muhammad, H., Muhammad, A.K., Muhammad, A., Carol, J.W., & Gerrit, H. (2018). The impact of climate warming and crop management on phenology of sunflower-based cropping systems in Punjab, Pakistan. *Agricultural and Forest Meteorology*. 256-257, 270–282. doi: 10.1016/j.agrformet.2018.03.015.
15. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., & Miller, H. L. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
16. Mohov, I. I., & Eliseev, A. V. (2012). Modelirovanie globalnyh klimaticheskikh izmenenij v XX–XXIII vekah pri novykh scenariyah antropogennyh vozdeystvij RCP. *Doklady Akademii Nauk*, 443 (6), 732–736 [In Russian].
17. Polevoj, A. N. (2004). Bazovaya model ocenki agroklimaticheskikh resursov formirovaniya produktivnosti selskohozyajstvennyh kultur. *Meteorologiya, Klimatologiya i Gidrologiya*, 48, 195–205 [In Russian].
18. Adamenko, T. I., Kulbida, M. I., & Prokopenko, A. L. (2011). *Agroklimatichnij dovidnik po teritoriyi Ukrayini*. Kam'yanec-Podilsk [In Ukrainian].
19. Zhigajlo, O. L., & Zhigajlo, T. S. (2016). Ocinka vplivu zmin klimatu na agroklimatichni umovi viroshuvannya sonyashniku v Ukrayini. *Ukrayinskij Gidrometeorologichnij Zhurnal*, 17, 86–92. doi: 10.31481/uhmj.17.2016.10 [In Ukrainian].
20. Zhigajlo, O. L., & Zhigajlo, T. S. (2017). Modelyuvannya produktivnosti sonyashniku v umovah majbutnih zmin klimatu v Ukrayini za scenariyami antropogennoho vplivu RCP. *Ukrayinskij Gidrometeorologichnij Zhurnal*, 19, 71–78. doi: 10.31481/uhmj.20.2017.08 [In Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 04.02.2021 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Жигайло О. Л., Вольвач О. В., Толмачова А. В., Костюкевич Т. К. Вплив змін клімату на урожайність соняшника в Північному Степу України: аналіз і прогноз. *Вісник ПДАА*. 2021. № 1. С. 180–186.

© Жигайло Олена Леонідівна, Вольвач Оксана Василівна,
Толмачова Алла Вікторівна, Костюкевич Тетяна Костянтинівна, 2021