

## АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ СОЇ В ЗАХІДНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Костюкєвич Т.К., Толмачова А.В., Колосовська В.В., Барсукова О.А.  
Одеський державний екологічний університет  
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса  
[kostyukevich1604@i.ua](mailto:kostyukevich1604@i.ua), [alla.tolmach@ukr.net](mailto:alla.tolmach@ukr.net), [v.kolosov@ukr.net](mailto:v.kolosov@ukr.net), [lena5933@ukr.net](mailto:lena5933@ukr.net)

Глобальні кліматичні зміни значно впливають на всі сектори сільського господарства. Уживання своєчасних заходів з адаптації до цих змін та пом'якшення їх наслідків допоможе не тільки уникнути втрат, а й забезпечити зростання конкурентоспроможності українського агропромислового комплексу на світовому ринку. Це передбачає завчасну оцінку впливу очікуваних змін клімату на умови вирощування сільськогосподарських культур. Сьогодні соя є стратегічною культурою для багатьох країн, продукти переробки якої широко використовуються в їжу. Продукти її переробки використовуються для відгодівлі тварин та в технічних цілях – для виробництві біопалива. Тому нині виникає гостра необхідність у всебічному вивченні впливу агрокліматичних умов на формування продуктивності сої на території України та визначенні впливу можливих змін клімату на майбутні врожаї. Метою дослідження є оцінка можливого впливу змін клімату на продуктивність посівів сої в умовах Західного Лісостепу України. У роботі розглянуто особливості формування врожаїв сої за різних агрометеорологічних умов упродовж вегетаційного періоду за даними спостережень із 1991 до 2010 рр., а також динаміка формування врожаїв різних агроекологічних категорій на майбутнє за період із 2021 до 2050 рр.. Очікувані метеорологічні показники на майбутнє розраховувались із використанням сценаріїв зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5. Оцінка впливу змін клімату на продуктивність сої виконана на основі математичної моделі оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур А.М. Польового. За умовами сценаріїв зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 (упродовж 2021–2050 рр.) очікуються сприятливі агроекологічні умови для розвитку культури, що призведе до збільшення врожаю сої порівняно із середнім багаторічним на 8–15% відповідно. *Ключові слова:* соя, агроекологічні категорії врожаїв, зміна клімату, сценарії RCP4.5 та RCP8.5.

**Agroecological assessment of soybean productivity in the Western Forest-Steppe of Ukraine in the face of climate changing.**  
**Kostiukievych T., Tolmachova A., Kolosovska V., Barsukova E.**

Global climate changes have a significant impact on all sectors of agriculture. Applying timely measures to adapt to these changes and to mitigate their consequences will help not only to avoid losses, but also to increase the competitiveness of the Ukrainian agro-industrial complex on the world market. This involves an early assessment of the impact of expected climate changing on the crop production conditions. Today soybeans are a strategic crop for many countries, its processed products are widely used in food. The products of its processing are used for fattening the animals and for the technical purposes – for biofuels producing. Therefore at present there is an urgent need for comprehensive studying the influence of agro-climatic conditions on forming the soybean productivity in the territory of Ukraine and determining the impact of possible climate changes on future yields. The aim of the study is to assess the possible climate changing impact on the soybean crop productivity in the Western Forest-Steppe of Ukraine. The paper considers the peculiarities of soybean crop formation under the different agrometeorological conditions during the growing season according to the observations data from 1991 to 2010, as well as the dynamics of forming the crop of different agroecological categories for the future from 2021 to 2050. Expected meteorological indicators for the future were calculated from using climate change scenarios RCP4.5 and RCP8.5. The estimation of the impact of climate changing on the soybean productivity is performed on the basis of the A.M. Polevoy mathematical model for estimating the agro-climatic resources of forming the crop productivity. According to climate change scenarios RCP4.5 and RCP8.5 (during 2021–2050), the favorable agro-ecological conditions for the crop development are expected, which will increase the soybean yield compared to the perennial average by 8–15%, respectively. *Key words:* soybean, agroecological crop categories, climate change, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

**Постановка проблеми.** Вплив кліматичних змін на сільське господарство і його наслідки для стану продовольчої безпеки країн уже давно викликають тривогу. Численні факти вказують на переважання негативних результатів цього впливу: падає продуктивність багатьох сільськогосподарських систем, зникають деякі види рослин і тварин, відбуваються зміни характеру хвороб рослин і видів сільськогосподарських шкідників, зменшується ресурс прісної води, що призводить до дефіциту води на орних площах. Ці зміни будуть безпосередньо впливати на сільськогосподарське виробництво, що спричинить відповідні економічні та соціальні наслідки і,

як наслідок, призведе до продовольчої безпеки [1]. З огляду на це, необхідні невідкладні заходи щодо забезпечення готовності виробництва продукції рослинництва до можливості швидкої зміни умов навколишнього середовища.

**Актуальність дослідження.** Однією із сільськогосподарських культур світового землеробства, що може сприяти вирішенню проблем із продовольчою безпекою, є соя. Від її виробництва залежать стабілізація землеробства, підвищення врожайності, ліквідація дефіциту білка, поповнення ресурсів жирів, запасів азоту в ґрунті, як біологічний азот-фіксатор вона є одним із кращих попередників у сівозміні.

Зважаючи на одночасне зростання попиту на сою на внутрішньому і зовнішньому ринках, в Україні спостерігається значне підвищення інтересу до цієї культури. В умовах глобальних і локальних змін клімату в Україні відбулися істотні зміни в розміщенні посівів сої за ґрунтово-кліматичними зонами: зменшилася частка посівів сої в зоні Степу, збільшилася – в Лісостепу та Поліссі, особливо в зонах, де вона раніше не вирощувалася. За останні роки врожайність сої в країні збільшилася вдвічі, причому це відбувалося більш високими темпами в Лісостепу і Поліссі.

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Тема дослідження відповідає основним напрямкам наукової діяльності кафедри агрометеорології та агроєкології Одеського державного екологічного університету і виконувалась у межах науково-дослідної теми «Оцінка впливу змін клімату на поновлювальні та невичерпні природні ресурси України».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для забезпечення сьогоденного рівня продовольчої безпеки в найближчі десятиліття були докладені зусилля зі створення імітаційних моделей, спрямованих на прогнозування зростання, розвитку та потенціалу врожайності сільськогосподарських культур у певних умовах навколишнього середовища. Згідно з даними [2; 3] головною проблемою, що впливає на ріст та розвиток рослин, є зміна погодних умов, які призводять до внутрішньосезонної мінливості врожайності.

Результати досліджень [4] підтвердили шкідливість впливу підвищення вмісту озону в тропосфері на врожайність, втрати якої для сої оцінювалися на рівні 8,5–1%. Очікується, що в тропічних регіонах втрати врожаю будуть більше, ніж у більш високих широтах, а зі зростанням глобального потепління наслідки будуть ще більш важкими.

У разі реалізації кліматичних сценаріїв із високим рівнем викидів зниження врожайності сої становить від 30 до 60%. Однак за умови максимальної ефективності «добрива» CO<sub>2</sub> вплив зміни клімату на врожайність буде меншим – до 30% [5].

Ученими з університету штату Айова [6] було досліджено вплив змін клімату на врожайність сої у вододілі Раккун. Для оцінки впливу зміни клімату на 2015–2099 роки з трьома траєкторіями викидів, що відображають сценарії низьких (RCP2.6), середніх (RCP4.5) і високих (RCP8.5) викидів парникових газів, була використана інтегрована кліматична модель (EPIС). Результати дослідження вказують на тенденцію до тривалого зниження врожайності сої за умовами сценарію RCP8.5. За умов же реалізації кліматичного сценарію RCP2.6 та RCP4.5 очікується збільшення врожайності на 11–13% відповідно.

Дослідження університету Таскігі (Алабама, США) з використанням моделі CROPGRO-Soybean показали, що зміна клімату негативно вплине на виробництво сої як за середніми (RCP4.5), так і за

високими (RCP8.5) викидами парникових газів [7]. Так, за кліматичними умовами сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 очікується зниження врожайності сої в середньому на 29% та 23% у 2045 році, на 19% та 43% у 2075 році відповідно. За їх розрахунками негативні наслідки підвищення температури можуть бути врівноважені оптимізацією зрошення і вирощуванням пізньостиглих сортів сої, які є найбільш стійкими до високих температур.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** З огляду на очікування підвищення температури повітря в Північній півкулі, продовольча безпека України знано залежатиме від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату. Це передбачає завчасну оцінку впливу очікуваних змін клімату на умови вирощування сільськогосподарських культур.

Для адаптації сої до сучасних кліматичних змін необхідним є виведення нових сортів. Це потребує вивчення не тільки агротехнічних прийомів обробітку, а й пізнання фізіологічних процесів, особливо процесу фотосинтезу, оскільки в ньому створюється понад 90% сухої маси рослин. Тому нині виникає гостра необхідність у всебічному вивченні впливу агрокліматичних умов на формування продуктивності сої на території України та визначенні впливу можливих змін клімату на майбутні врожаї.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Одним із найпростіших методів відображення можливих змін у кліматичному режимі будь-якої метеорологічної величини є порівняння з попередніми даними – середніми багаторічними величинами за базовий період. У цьому дослідженні за базовий береться період із 1991 до 2010 рр. Для оцінки можливих змін клімату нами були використані прогностичні дані метеорологічних елементів [8] за двома кліматичними сценаріями, а саме RCP4.5 і RCP8.5 (Репрезентативні траєкторії концентрації – Representative Concentration Pathways – RCP) за періоді з 2021 до 2050 рр.

Оцінка впливу змін клімату на продуктивність сої виконана на основі математичної моделі оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур А.М. Польового [9]. Ідентифікація параметрів моделі проведена на основі даних спостережень на мережі гідрометеорологічних станцій Гідрометеорологічної Служби України та Державної служби з надзвичайних ситуацій України [10].

**Виклад основного матеріалу.** За фактичними середніми багаторічними даними сіяти сою на території Західного Лісостепу починають у першій декаді травня. Під впливом кліматичних змін терміни сівби будуть проводитися на 4–6 днів пізніше (табл. 1). Прихід фотосинтетично-активної радіації (ФАР) за період «сівба – дозрівання» за фактичними середніми багаторічними даними становить 110,9 кДж/см<sup>2</sup>. Розрахунки показали, що за обома

сценаріями відзначатиметься зростання надходження ФАР (21–24%).

Сума активних температур, що накопичилась за період «сівба – дозрівання», за середніми багаторічними даними становить 2253 °С, за обома сценаріями відзначатиметься незначне зменшення (5–7%). Тривалість періоду за обома варіантами залишиться без значних змін. Показник середньої температури повітря за сценарними даними RCP4.5 очікується на рівні багаторічних. Значні зміни будуть спостерігатися за варіантом RCP8.5, за яким очікується зниження середньої температури повітря на 1,3 °С.

За сумами опадів значних змін не очікується. Так, за сценарієм RCP4.5 відзначається незначне зменшення – на 4%, а за сценарієм RCP8.5 спостерігатиметься незначне збільшення – на 6% (порівняно із середніми багаторічними) (табл. 1).

За умовами реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 за період «сівба – дозрівання» сої сумарне випаровування зменшиться порівняно із середньою багаторічною величиною на 25–43 мм. Зниження температурного режиму призведе до зменшення випаровуваності, що спричинить покращення умов вологозабезпеченості посівів. За середніми багаторічними умовами випаровуваність сої становила 431 мм. За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 очікується зменшення випаровуваності на 34–89 мм. Очікувані зміни показників сумарного випаровування за різними сценаріями призведуть до зміни показників вологозабезпечення культури, але тільки за сценарієм RCP8.5 (0,78 відн. од). За умовами сценарію RCP4.5 вологозабезпеченість посівів очікується на

рівні із середніми багаторічними даними та становить 0,72 відн. од.

Середнє багаторічне значення гідротермічного показника (далі – ГТК) становить 1,38 відн. од. За сценарієм зміни клімату RCP8.5 очікується підвищення значень ГТК до 1,46 відн. од., за сценарієм RCP4.5 ГТК залишиться майже на рівні середньої багаторічної величини (табл. 1).

Агрокліматичні зміни, що очікуються в майбутньому за різних сценаріїв зміни клімату, спричинять і різні рівні формування агроєкологічних категорій урожайності. Фотосинтез становить основу первинної біологічної продуктивності природних екосистем і визначає формування врожаїв у посівах сільськогосподарських рослин. Основну частину асиміляційної поверхні рослини становлять листя, адже саме в них здійснюється фотосинтез.

Розглянемо відмінності в інтенсивності нарощування площі листя у сої за всіма варіантами. Так, площа листя в період максимального розвитку в середньому за багаторічний період становить 4,3 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> (рис. 1), за умовами зміни клімату RCP4.5 очікується збільшення площі листя до 4,6 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, за умовами RCP8.5, а також очікується збільшення площі листя сої порівняно з обома попередніми варіантами – до 4,8 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Як бачимо, впродовж вегетаційного періоду динаміка наростання площі листя як за кліматичними змінами, так і за багаторічними умовами була майже однаковою, але її кількісні показники відрізняються. Але у всіх випадках ці значення відповідають міжфазному періоду вегетації «початок цвітіння – поява бобів».

Таблиця 1

**Оцінка умов формування продуктивності сої в Західному Лісостепу України  
(за період «сівба – дозрівання»)**

Показники	Базовий період (1991–2010 рр.)	Сценарії зміни клімату (2021–2050 рр.)	
		RCP4.5	RCP8.5
<b>Агрокліматичні показники</b>			
Дата початку вегетації	6 травня	12 травня	10 травня
Тривалість періоду	126	124	128
Середня температура повітря за період, °С	17,6	17,4	16,3
Сума температур за період, °С	2253	2163	2093
Сума опадів за період, мм	252	241	266
Сумарне випаровування за період (E), мм	310	285	267
Випаровуваність за період, (E <sub>0</sub> ), мм	431	397	342
Відносна вологозабезпеченість (E/E <sub>0</sub> ), відн.од	0,72	0,72	0,78
Середній за період ГТК, відн. од.	1,36	1,38	1,46
Сума ФАР, кДж/см <sup>2</sup> за період	110,9	134,6	137,9
<b>Агроєкологічні показники формування продуктивності сої</b>			
Потенційний урожай (ПУ) сухої маси, г/м <sup>2</sup> за декаду	943	1120	1141
Метеорологічно можливий урожай (ММУ) сухої маси, г/м <sup>2</sup> за декаду	548	598	630
Дійсно можливий урожай (ДМУ) сухої маси, г/м <sup>2</sup> за декаду	492	539	566
Фотосинтетичний потенціал (ФП), м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> , за період	263,1	279,0	289,8
Урожай бобів сої за вологості 14%, ц/га	22,5	24,2	25,8

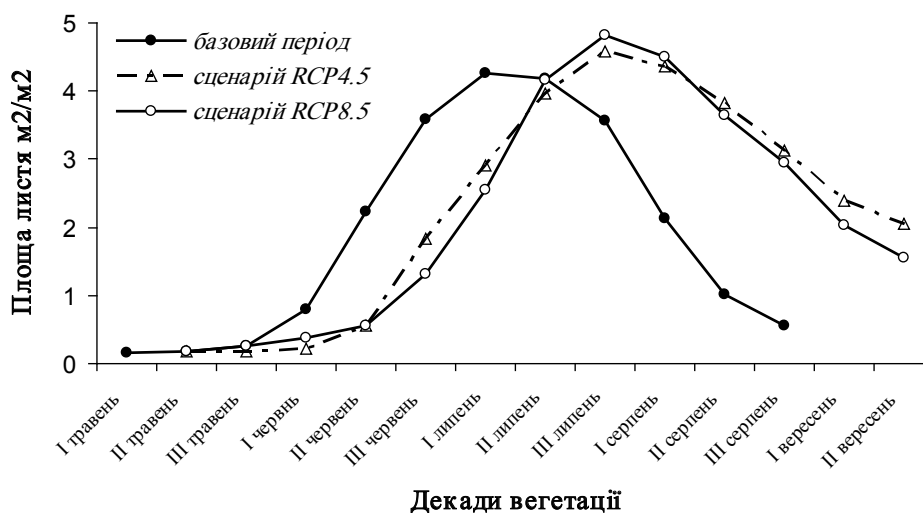


Рис. 1. Динаміка площі листя сої в період «сівба – дозрівання» за середніми багаторічними і сценарними даними для території Західного Лісостепу

Формування врожаю залежить не тільки від величини площі листя, а й від тривалості її функціонування. Фотосинтетичний потенціал (далі – ФП) об'єднує ці показники. ФП на кінець періоду «сівба – дозрівання» сої за базовими умовами сформувався на рівні 263,1 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. За сценарієм RCP4.5 та RCP8.5 очікується незначне збільшення значень до 279,0 та 289,8 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> відповідно (табл. 1).

Головна роль у формуванні врожаю рослин належить фотосинтезу, тому збільшення значення фотосинтетичного потенціалу сприятливо вплинуло на формування врожаю сої. Урожай сої за 14%-ї вологості зерна за умовами реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 очікується на рівні 24,2 та 25,4 ц/га відповідно, що перевищує середнє багаторічне значення, яке становить 22,5 ц/га.

Зміна фотосинтетичного потенціалу спричинить зміни у приростах усіх агроекологічних категорій урожаїв. Потенційний урожай (далі – ПУ) сухої маси сої за умовами базового періоду становив 943 г/м<sup>2</sup> за декаду. Оскільки приріст ПУ залежить від ФАР, а вона за розрахунками за обома варіантами кліматичних змін підвищиться, то й значення ПУ сухої маси збільшиться. За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 зростання ПУ сухої маси очікуватиметься майже на одному рівні – 1120 та 1141 г/м<sup>2</sup> за декаду відповідно, що становитиме 119 та 121% від середнього багаторічного значення.

Відповідні зміни очікуються у рівні дійсно можливого (далі – ДМУ) та метеорологічно можливого (ММУ) врожаїв. Так, за умовами сценарію RCP4.5 рівень ДМУ та ММУ становитиме 109 та 110% від середнього багаторічного значення. За умовами сценарію RCP8.5 рівень ДМУ та ММУ становитиме 115% від базових умов в обох випадках (табл. 1).

**Головні висновки.** На основі сценарію зміни клімату (упродовж 2021–2050 рр.) та агрокліматичної моделі формування агроекологічних категорій врожайності сої встановлено, що період «сівба – дозрівання» цієї культури буде проходити на тлі знижених температур за умовами сценарію RCP8.5. Очікувана кількість опадів за обома варіантами становить норму (104–106%). Зменшення температури повітря під час періоду «сівба – дозрівання» за сценарієм RCP8.5 призведе до збільшення врожайності на 15%. За кліматичними умовами сценарію RCP4.5 очікується збільшення врожайності на 8%.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Перспективою подальших досліджень є більш детальне врахування просторової та часової мінливості можливих кліматичних змін, проведення досліджень реакції на зміни клімату щодо інших груп сортів та гібридів цієї культури, а також розробка рекомендацій стосовно адаптації агротехніки вирощування сої в умовах кліматичних змін.

### Література

1. ФАО. Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства. Изменение климата, сельское хозяйство и продовольственная безопасность. Рим, 2016. URL: <http://www.fao.org/publications/sofa/2016/ru/> (дата звернення 14.03.2021)
2. Basso, B., Cammarano, D., & Carfagna, E. Review of Crop Yield Forecasting Methods and Early Warning Systems. In Proceedings of the First Meeting of the Scientific Advisory Committee of the Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics. Rome, 2013. P. 15–31.
3. Deryng, D., Conway, D., Ramankutty, N., Price, J. & Warren, R. Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. *Environmental Research Letters*. 2014. Vol.9. № 3. 13pp. DOI: 10.1088/1748-9326/9/3/034011
4. Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. & Trnka, M.I. Food security and food production systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects.*

- Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2014. P. 485–533.
5. Rosenzweig, C., Jones, J., Hatfield, J., Ruane, A., Boote, K., Thorburne, P., Antle, J., Nelson, G., Porter, C., Janssen, S., Asseng, S., Basso, B., Ewert, F., Wallach, D., Baigorria, G. & Winter, J. The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): Protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013. Vol.170. P. 166–182. DOI: 10.1016/j.agrformet.2012.09.011
  6. Bhattarai, M.D., Secchi, S., Schoof, J. Projecting corn and soybeans yields under climate change in a Corn Belt watershed. *Agricultural Systems*. 2017. Vol.152. P. 90–99. DOI: 10.1016/j.agsy.2016.12.013.
  7. Joseph E. Quansah, Pauline Welikhe, Gamal El Afandi, Souleymane Fall, Desmond Mortley & Ramble Ankumah CROPGRO-Soybean Model Calibration and Assessment of Soybean Yield Responses to Climate Change. *American Journal of Climate Change*. 2020. Vol.9, №. 3. P. 297–316. URL: <https://doi.org/10.4236/ajcc.2020.93019> (дата звернення 4.04.2021).
  8. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату : монографія / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса, 2018. 549 с.
  9. Полевой А.Н. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. 2004. Вып. 48. С. 195–205.
  10. Агрокліматичний довідник по території України / за ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіді, А.Л. Прокопенко. Кам'янець-Подільський, 2011. 107 с.