

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ПРОДУКТИВНІСТЬ АГРОСЕКТОРА

©2024 ГУР'ЯНОВА Л. С., КОРОВІН О. О.

УДК 33.303.519.85
JEL: C1; C49; R12; Q13

Гур'янова Л. С., Коровін О. О. Моделювання впливу кліматичних змін на продуктивність агросектора

У статті запропоновано концептуальний підхід до моделювання впливу кліматичних змін на продуктивність агросектора, обґрунтовано фактори кліматичних змін, сформовано інформаційну базу дослідження. Зокрема, дані щодо опадів були взяті з бази даних станцій Climate Hazards Group InfraRed Precipitation (CHIRPS), що представляє собою квазіглобальний набір даних про кількість опадів за 30+ років. CHIRPS включає супутникові зображення з роздільною здатністю 0,05° з даними місцевих станцій для створення сітчастих часових рядів опадів, щоб аналізувати тренди і моніторити сезонну посуху. Для того, щоб отримати дані щодо опадів по кожній з обраних країн, була використана база даних великомасштабних міжнародних кордонів (LSIB). Ці дані створені з двох інших наборів даних: векторного файлу ліній LSIB і векторних берегових ліній світу (WVS) від Національного агентства геопросторової розвідки (NGA). Додаткова інформація щодо опадів була отримана з використанням системи Google Earth Engine після виконання процедур з вибіркою геолокаційних даних для кожної країни, отримання фактичних даних по опадах за період спостереження, експорту даних та їх обробки для приведення результатів до річного показника. Сформована інформаційна база щодо факторів кліматичних змін дозволила розробити моделі продуктивності виробництва зернових у країнах, що є найбільшими виробниками пшениці у світі. Результати розробки моделей дозволили дійти висновку, що кліматичні зміни впливають на показники урожайності в країнах, які є провідними виробниками злакових. Отримані результати можуть бути використані для прогнозування зміни урожайності та виробництва залежно від таких кліматичних параметрів, як температура та рівень опадів, а також для визначення оптимальних та екстремальних значень кліматичних факторів.

Ключові слова: кліматичні зміни, агросектор, продуктивність, моделювання.

Рис.: 9. **Табл.:** 1. **Бібл.:** 11.

Гур'янова Лідія Семенівна – доктор економічних наук, професор, професор кафедри економічної кібернетики та прикладної економіки, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (майдан Свободи, 4, Харків, 61022, Україна)

E-mail: guryanovalidiya@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2009-1451>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/L-3402-2017>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36068855600>

Коровін Олексій Олегович – магістр кафедри економічної кібернетики та прикладної економіки, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (майдан Свободи, 4, Харків, 61022, Україна)

E-mail: oleksii.korovin@gmail.com

UDC 33.303.519.85
JEL: C1; C49; R12; Q13

Guryanova L. S., Korovin O. O. Modeling the Impact of Climate Change on the Productivity of the Agrarian Sector

The article proposes a conceptual approach to modeling the impact of climate change on the productivity of the agrarian sector, substantiates the factors of climate change, and forms the information base of the study. Specifically, rainfall data was taken from the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station database (CHIRPS), which is a quasi-global dataset of precipitation amounts over 30+ years. CHIRPS incorporates 0.05° resolution satellite imagery together with data from local stations to create gridded rainfall time series to analyze trends and monitor seasonal drought. In order to obtain rainfall data for each of the selected countries, the Large-Scale International Borders (LSIB) database was used. This data is taken from two other datasets: the LSIB Lines Vector File and the World Vector Shoreline (WVS) from the National Geospatial-Intelligence Agency (NGA). Additional precipitation information was obtained using the Google Earth Engine after performing procedures with a sample of geolocation data for each country, obtaining actual precipitation data for the observation period, exporting the data and processing them to bring the results to the annual figure. The formed information base on the factors of climate change has allowed to develop models of productivity of grain production in the countries that are the largest wheat producers in the world. The results of the development of models led to the conclusion that climate change affects crop yields in countries that are leading producers of cereals. The obtained results can be used to predict changes in yield and production depending on climatic parameters such as temperature and precipitation, as well as to determine the optimal and extreme values of climatic factors.

Keywords: climate change, agrarian sector, productivity, modeling.

Fig.: 9. **Tabl.:** 1. **Bibl.:** 11.

Guryanova Lidiya S. – D. Sc. (Economics), Professor, Professor of the Department of Economic Cybernetics and Applied Economics, V. N. Karazin Kharkiv National University (4 Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine)

E-mail: guryanovalidiya@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2009-1451>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/L-3402-2017>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36068855600>

Korovin Oleksii O. – Master of the Department of Economic Cybernetics and Applied Economics, V. N. Karazin Kharkiv National University (4 Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine)

E-mail: oleksii.korovin@gmail.com

Розглядаючи домінантні глобальні ризики в довгостроковій перспективі, можна виокремити екологічні, на які припадає половина ризиків серед десятка інших, що було відзначено у звіті Давоського економічного форуму «The Global Risks Report 2024» [11]. Серед екологічних ризиків та викликів найбільш помітним останніми роками є кліматичні зміни. Треба зазначити, що згідно зі звітом Національного управління океанічних і атмосферних досліджень (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) – федерального відомства в структурі Міністерства торгівлі США, «2023 рік був найтеплішим роком за всю історію спостережень з 1850 року при 1,18 °C (2,12 °F) вище середнього значення 20 століття 13,9 °C (57,0 °F). Десять найтепліших років в 174-річній історії спостережень були зафіксовані протягом останньої декади (2014–2023 рр.)» [9].

Поточні зареєстровані значення температури швидко наближаються до рівня, відзначеного в Паризькій угоді 2015 р.: «обмеження підвищення температури до 1,5 °C вище доіндустріального рівня» [9], що свідчить про брак заходів з обмеження викидів, тож реалістичність виконання цієї угоди виглядає сумнівно. Вважаючи поточний тренд на підвищення температури об'єктивно наявним кліматичним фактором, треба зазначити, що це впливає також на інший фактор, яким є кількість опадів, що залежить, зокрема, від води в атмосфері, кількість якої постійно збільшується.

Слід зазначити, що агропромисловий сектор є невід'ємною частиною світової економіки, тому питання щодо стійкості розвитку цього сектора в умовах кліматичних змін має високу актуальність. Глобальні зміни в агропромисловому секторі можуть викликати перерозподіл виробничих процесів, ланцюгів постачань, зміни ключових показників на глобальному та національному рівнях, привести до зміни рівня продовольчої безпеки. Треба відзначити також важливість оцінювання впливу кліматичних змін на характеристики трудових ресурсів, що задіяні для виконання виробничих процесів. Можливості адаптації виробництв обмежені фізичними можливостями агрокультур та умовами праці, характеристиками трудових ресурсів, тому проблема оцінювання впливу кліматичних змін на продуктивність агросектора є важливою з точки зору довгострокового планування, а наявність адекватних моделей є необхідним інструментом для оцінки ризиків, які є глобальними та в тому чи іншому вигляді проявляються в показниках безпеки національної економіки.

Треба відзначити, що проблему впливу кліматичних змін на продуктивність агросектора в тому чи іншому вигляді розглядали в дослідженнях,

присвячених окремим регіонам і країнам. Наприклад, у дослідженні [7], присвяченому Марокко, вказується на кореляцією між кількістю опадів та врожайністю зернових. Математичні моделі також використовувалися в роботі, присвяченій Гамбії. Зокрема, для розрахунку врожайності в регіоні використовувалися коефіцієнти SPEI, максимальна та мінімальна температури [5].

У дослідженні [8], присвяченому аналізу кліматичного потенціалу виробництва пшениці в різних областях північної півкулі, наведені розрахунки, що пов'язані з випаровуванням. Так, було розглянуто рівняння водного балансу ґрунту для вегетаційного періоду та для окремих періодів росту, де як параметри було враховано: ET – випаровування (мм), SWD – виснаження вимірної глибини ґрунту під час вегетаційної фази, P – кількість опадів (мм), I – зрошення (мм), D – дренаж ґрунтової води (мм), R – поверхневий стік (мм), Wg – вода, використана культурою через капілярний підйом від ґрунтових вод (мм) [8]. Аналогічні дослідження були проведені під час симуляції обсягів врожаю пшениці в Пакистані в роботі [3].

При дослідженні впливу кліматичних змін на агропромисловість Швеції були отримані результати, які свідчать про зростаючу потребу в зрошенні зернових культур на початку сезону (травень-червень) з двох основних причин: 1) перехід до більш раннього початку періоду врожаю, що приводить до більш ранньої потреби в зрошенні; 2) більша ймовірність сухої весняної погоди, що значно збільшує потребу в зрошенні в посушливі роки [2].

У роботі [1] були проведені глибокі дослідження з вибором параметрів для прогнозування агропромислового виробництва в Австралії, в яких набір даних для щорічного прогнозування врожайності містить температурні аномалії, аномалії кількості опадів, викиди вуглекислого газу (CO₂), використання добрив, площі посівів для кожного типу культур і врожайність посівів вівса, кукурудзи, рису та пшениці в країні між 1979 і 2020 рр.

У роботі [4], присвяченій поліпшенню прогнозів щодо впливу клімату на потенційну врожайність озимої пшениці Великої Британії, факторами впливу було визначено: температура, опади, рівень CO₂ та інші. Одним із головних висновків було те, що більша частина Великої Британії стане все менш придатною для вирощування озимої пшениці після 2040 р. через зменшення літніх опадів. При дослідженні врожайності регіону Табріз була підтверджена кореляція індексу задоволення потреби у воді протягом шести періодів вирощування пшениці, яка не орошалася, з її врожайністю, та було виявлено, що найвища кореляція спостерігається протягом усього періоду вегетації [6].

Водночас означена проблема впливу кліматичних змін на продуктивність агросектора розглянута недостатньо повно з точки зору комплексного підходу, який би об'єднував країни, що займаються виробництвом зернових, і дозволив би визначити найбільш впливові фактори, зробити загальний висновок щодо глобального впливу кліматичних змін на продуктивність агросектора. Не до кінця вирішеними залишаються питання прогнозів щодо розвитку агросектора та виявлення залежності його продуктивності від кліматичних явищ на рівні країн і регіонів.

Метою даної роботи є розробка моделей, які оцінюють глобальний вплив головних кліматичних характеристик на продуктивність агросектора на прикладі виробництва злакових. Для досягнення поставленої мети виконано такі завдання:

- ✦ визначено домінуючих виробників виробництва злакових;
- ✦ розроблено регресійні моделі для кожної із досліджених країн;
- ✦ здійснено оцінку впливу середньої температури та рівня опадів на продуктивність виробництва злакових.

Очікується, що результати дослідження можуть вказати на оптимальні для забезпечення сталого розвитку сектора та екстремальні параметри клімату, які призводять до зниження продуктивності агросектора.

Запропонований концептуальний підхід до моделювання впливу кліматичних змін на продуктивність агросектора включає такі етапи:

- ✦ обґрунтування інформаційної бази дослідження, переліку країн, аналіз динаміки розвитку агросектора яких дозволить оцінити глобальні ризики;
- ✦ обґрунтування факторів кліматичних змін, формування інформаційної бази дослідження;
- ✦ розробка моделей регресії для оцінювання впливу кліматичних змін на продуктивність агросектора.

На *першому етапі* дослідження зроблено аналіз списку країн, які є головними постачальниками пшениці у світі. Згідно зі звітом OECD-FAO за 2021–2030 рр., «у всьому світі близько 17% виробництва зернових продається на міжнародному ринку, причому частки окремих товарів коливаються від 9% для рису до 25% для пшениці» [10]. На цьому етапі було обрано вісім перших за обсягами країн – Китай, Індію, Росію, США, Австралію, Францію, Канаду та Україну, яка посіла у 2021 р. 7-ме місце з показником в 32,2 млн т. Обрані країни займають 63,47% ринку пшениці у 2021 р. і 64,36% у 2022 р.

На *другому етапі* дослідження при виборі факторів кліматичних характеристик було проведено попереднє оцінювання з метою з'ясувати, чи залежить продуктивність агросектора тільки від середньої температури як фактора. Результати регресійного аналізу показали відсутність такого зв'язку та необхідність використання додаткових параметрів. Тому до списку кліматичних факторів був доданий зареєстрований сумарний річний рівень опадів та зростаюча числова послідовність, що позначає кумулятивний фактор, якій відбиває постійне зростання інших факторів впливу, таких як CO₂, накопичений досвід, поліпшення технологій тощо. Після визначення факторів впливу на продуктивність агросектора однієї з визначених країн були зібрані дані з ресурсів з відкритим доступом.

Для кожної з обраних країн взяті дані з відкритих джерел за 26 років (1996–2022 рр.). Статистика виробництва пшениці взята з даних Продовольчої та сільськогосподарської організації з бази даних FAOSTAT. Фактичні значення та історичні дані щодо урожайності зернових і середньої температури були отримані з відкритих джерел, які використовують бази даних Світового банку.

Дані щодо опадів були взяті з бази даних станцій Climate Hazards Group InfraRed Precipitation (CHIRPS), що представляє собою квазіглобальний набір даних про кількість опадів за 30+ років. CHIRPS включає супутникові зображення з роздільною здатністю 0,05° з даними місцевих станцій для створення сітчастих часових рядів опадів для аналізу трендів і моніторингу сезонної посухи. Для того, щоб отримати дані щодо опадів по кожній з обраних країн, була використана база даних великомасштабних міжнародних кордонів (LSIB). Ці дані створені з двох інших наборів даних: векторного файлу ліній LSIB і векторних берегових ліній світу (WVS) від Національного агентства геопросторової розвідки (NGA).

Слід зазначити, що додаткова інформація щодо опадів була отримана з використанням системи Google Earth Engine після виконання процедур з вибіркою геолокаційних даних для кожної країни, отримання фактичних даних по опадах за період спостереження, експорту даних та обробки даних для приведення результатів до річного показника.

На *третьому етапі* дослідження були розроблені моделі регресії для оцінювання впливу кліматичних змін на продуктивність агросектора. Регресійний аналіз було проведено для кожної з країн, які були обрані для дослідження. Результати аналізу показали адекватність моделей, в яких використовуються два головні кліматичні фактори, такі як середня температура та річний рівень опа-

дів для прогнозування продуктивності агросектора на прикладі виробництва злакових.

Після підтвердження гіпотези щодо впливу кліматичних факторів було створено діаграму, що показує залежність середньої продуктивності кожної країни від середніх показників температури та річних опадів. Якщо припустити, що головні виробники злаків належать до групи з високою або низькою продуктивністю, можна побачити, що оптимальний температурний режим і рівень опадів значною мірою впливають на рівень продуктивності.

Нижче наведено результати реалізації запропонованого концептуального підходу.

У результаті аналізу даних урожайності, середньої температури та рівня опадів за рік протягом 26-річного періоду для кожної з країн спостереження були отримані регресійні моделі виду $y = f(x_1, x_2, x_3, e)$, де y – урожайність (кг/га); x_1 – кумулятивний фактор, що позначає зростання інших факторів (CO_2 , накопиченого досвіду, поліпшення технологій тощо); x_2 – середня температура (C); x_3 – річні опади (мм). На рис. 1 – рис. 8 наведено фактичні та модельні значення продуктивності виробництва злакових за період 1996–2022 рр. для обраних країн. Критерії якості прогнозу наведено в табл. 1.

підтверджують гіпотезу про вплив кліматичних факторів на продуктивність агросектора.

ВИСНОВКИ

Таким чином, у роботі запропоновано концептуальний підхід, реалізація якого сприяє більш якісній оцінці глобальних ризиків щодо впливу кліматичних факторів на продуктивність агросектора. Подальше вивчення цієї теми та отримання поточних даних кліматичних характеристик дозволить розробити більш точні моделі для середньо- та довгострокового прогнозування. Як напрям подальших досліджень також слід зазначити необхідність урахування регіонального аспекту розвитку агросектора з подальшою агрегацією даних на рівні країн. ■

БІБЛІОГРАФІЯ

- Demirhan H. A deep learning framework for prediction of crop yield in Australia under the impact of climate change. *Information Processing in Agriculture*. In press. 18.04.2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2024.04.004>
- Grusson Y., Wesström I., Joel A. Impact of climate change on Swedish agriculture: Growing season

Таблиця 1

Оцінка якості прогнозів

Країна	т. а. р. е. моделі регресії, %	Країна	т. а. р. е. моделі регресії, %
Китай	2,74392	Австралія	15,78053
Індія	3,487211	Франція	6,199427
Росія	8,220131	Канада	7,054282
США	3,983246	Україна	12,13795

Як видно з табл. 1 і рис. 1 – рис. 8, моделі регресії впливу кліматичних змін на продуктивність агросектора забезпечують високу якість прогнозу для таких країн, як Китай, Індія, Росія, США, Франція, Канада, та гарну якість прогнозу для таких країн, як Австралія та Україна. Після аналізу отриманих результатів та підтвердження гіпотези про вплив кліматичних факторів на продуктивність агросектора було створено діаграму (рис. 9), яка відображає середні значення урожайності протягом періоду дослідження залежно від середніх значень кліматичних факторів.

При графічному аналізі можна помітити, що розподіл країн з більш високою продуктивністю знаходиться в оптимальному діапазоні температур. Рівень достатньої кількості опадів також позитивно впливає на продуктивність при оптимальних температурних режимах. Отримані результати

rain deficit and irrigation need. *Agricultural Water Management*. 2021. Vol. 251. Art. 106858.

- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106858>
- Hafiza B. S., Ishaque W., Osman R. et al. Simulation of wheat yield using CERES-Wheat under rainfed and supplemental irrigation conditions in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*. 2022. Vol. 264. Art.. 107510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107510>
- Hayman G., Redhead J. W., Brown M. et al. A framework for improved predictions of the climate impacts on potential yields of UK winter wheat and its applicability to other UK crops. *Climate Services*. 2024. Vol. 34. Art. 100479. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2024.100479>
- Jabbi F. F., Li Y., Zhang T. et al. Impacts of Temperature Trends and SPEI on Yields of Major Cereal Crops in the Gambia. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. Iss. 22. Art. 12480. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132212480>

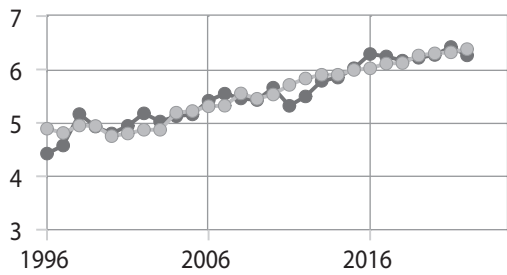


Рис. 1. Урожайність злакових у Китаї, т/га

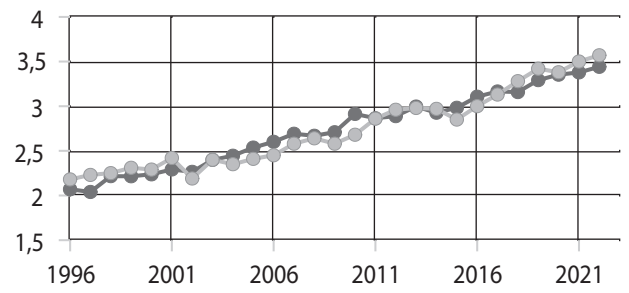


Рис. 2. Урожайність злакових в Індії, т/га

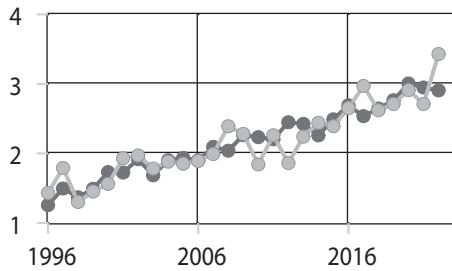


Рис. 3. Урожайність злакових у Росії, т/га

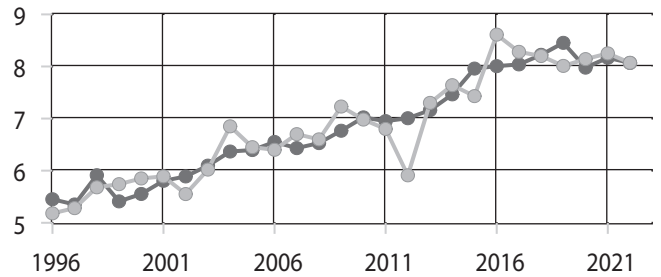


Рис. 4. Урожайність злакових у США, т/га

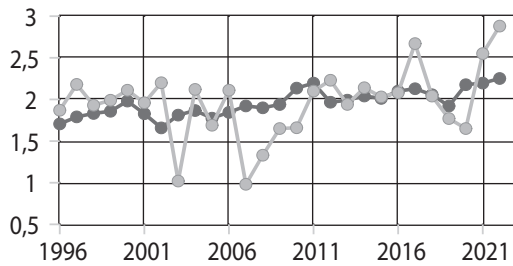


Рис. 5. Урожайність злакових в Австралії, т/га

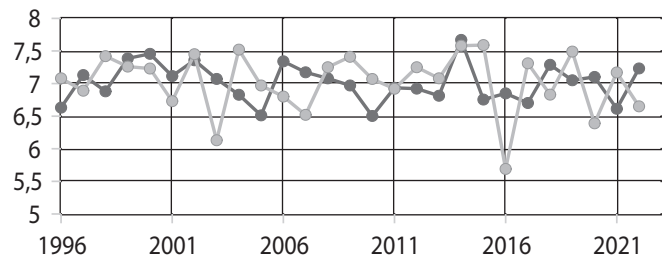


Рис. 6. Урожайність злакових у Франції, т/га

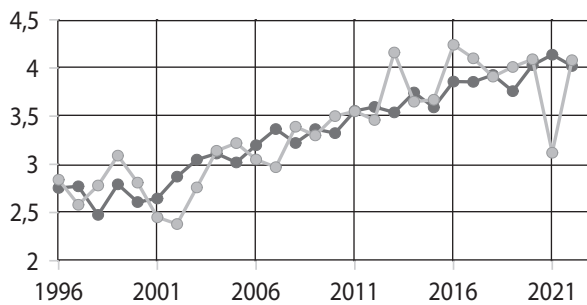


Рис. 7. Урожайність злакових у Канаді, т/га

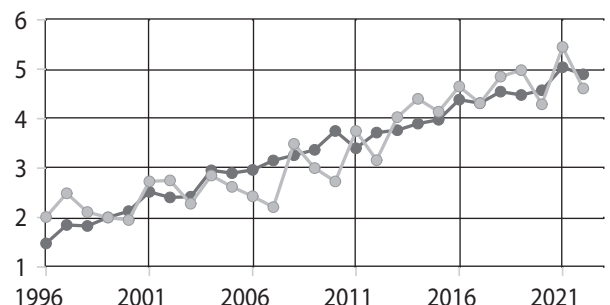


Рис. 8. Урожайність злакових в Україні, т/га

Примітка: —●— фактичні значення врожайності злакових; —●— модельні значення врожайності злакових.

6. Khaledi-Alamdari M., Majnooni-Heris A., Fakheri-Fard A., Russo A. Probabilistic climate risk assessment in rainfed wheat yield: Copula approach using water requirement satisfaction index. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 289. Art. 108542. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108542>
7. Jlibene M. Partition of rainfall variation effect on crop productivity into amount and distribution effects.

8. Li X. S., Zheng C. L., Cao C. Y. et al. Analysis of Climatic Potential Productivity and Wheat Production in Different Producing Areas of the Northern Hemisphere. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 427. Iss. 1. Art. 012010. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/427/1/012010>

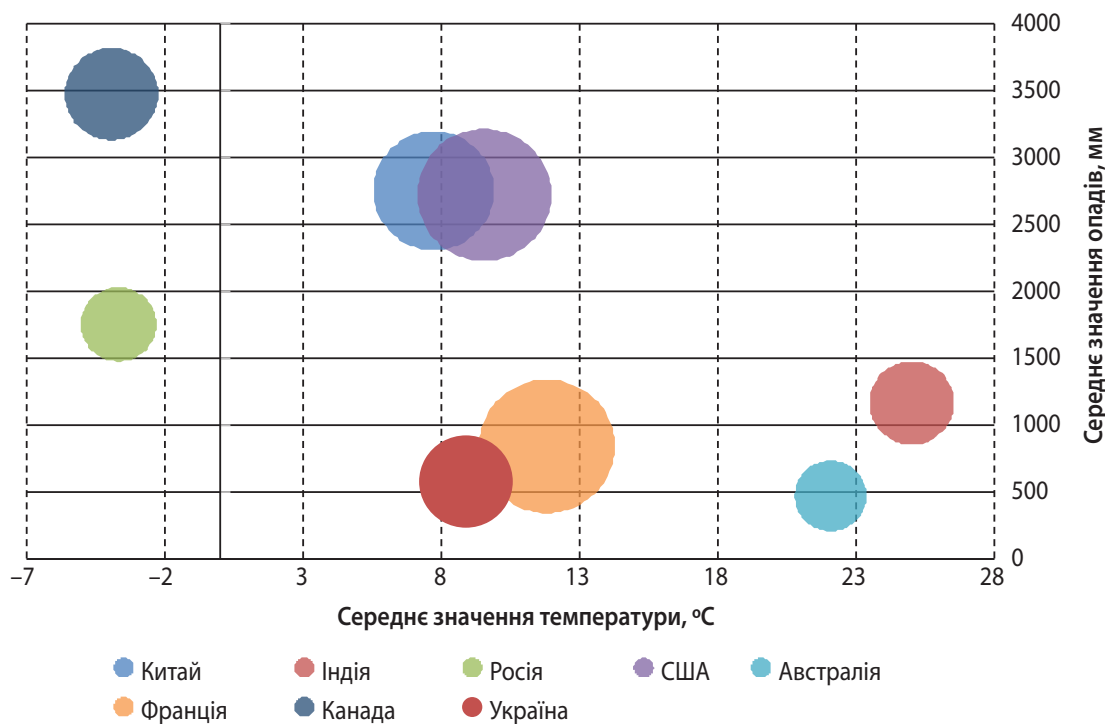


Рис. 9. Діаграма урожайності злакових за 1996–2022 рр., т/га

- Monthly Global Climate Report for Annual 2023. National Centers for Environmental Information, NESDIS, NOAA, U. S. Department of Commerce. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202313>
- OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030. URL: <https://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/ru/c/1449704/>
- The Global Risks Report 2024. *World Economic Forum*. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2024.pdf

REFERENCES

- Demirhan, H. "A deep learning framework for prediction of crop yield in Australia under the impact of climate change". *Information Processing in Agriculture*. In press. April 18, 2024.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2024.04.004>
- Grusson, Y., Wesstrom, I., and Joel, A. "Impact of climate change on Swedish agriculture: Growing season rain deficit and irrigation need". *Agricultural Water Management*, art. 106858, vol. 251 (2021).
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106858>
- Hafiza, B. S. et al. "Simulation of wheat yield using CERES-Wheat under rainfed and supplemental irrigation conditions in a semi-arid environment". *Agricultural Water Management*, art. 107510, vol. 264 (2022).
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107510>
- Hayman, G. et al. "A framework for improved predictions of the climate impacts on potential yields of UK winter wheat and its applicability to other UK crops". *Climate Services*, art. 100479, vol. 34 (2024).
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2024.100479>

- Jabbi, F. F. et al. "Impacts of Temperature Trends and SPEI on Yields of Major Cereal Crops in the Gambia". *Sustainability*, art. 12480, vol. 13, no. 22 (2021).
DOI: <https://doi.org/10.3390/su132212480>
- Jlibene, M. "Partition of rainfall variation effect on crop productivity into amount and distribution effects". *E3S Web of Conferences*, art. 03005, vol. 183 (2020).
DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018303005>
- Khaledi-Alamdari, M. et al. "Probabilistic climate risk assessment in rainfed wheat yield: Copula approach using water requirement satisfaction index". *Agricultural Water Management*, art. 108542, vol. 289 (2023).
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108542>
- Li, X. S. et al. "Analysis of Climatic Potential Productivity and Wheat Production in Different Producing Areas of the Northern Hemisphere". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, art. 012010, vol. 427, no. 1.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/427/1/012010>
- "Monthly Global Climate Report for Annual 2023". National Centers for Environmental Information, NESDIS, NOAA, U. S. Department of Commerce. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202313>
- "OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030". <https://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/ru/c/1449704/>
- "The Global Risks Report 2024". *World Economic Forum*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2024.pdf