

МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ПОГОДНИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ЦІН ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В УКРАЇНІ

Тихолоз А.А.¹, Тимошук О.Л.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

¹ tikholoz01@gmail.com

Сільське господарство України функціонує в умовах зростання кліматичних ризиків, що створює загрози для стабільності аграрного ринку. Метою роботи є розробка моделі для аналізу та кількісної оцінки впливу метеорологічних факторів на динаміку цін зернових культур. Результатом дослідження є обґрунтування використання панельного регресійного аналізу для виявлення залежностей між погодними аномаліями та ціновими коливаннями, що дозволить удосконалити прогнозування ринкового становища.

Ключові слова: ринок зернових, ціноутворення, погодні ризики, регресійний аналіз, продовольча безпека.

1. ВСТУП

Сільське господарство є стратегічним сектором економіки України, що забезпечує продовольчу безпеку та значну частину експортних надходжень. Україна посідає місце одного з провідних світових виробників і експортерів зернових культур, тому будь-які коливання врожайності мають вплив не лише на національну економіку, а й на глобальну продовольчу стабільність.

Проте сучасний агросектор стикається з серйозними викликами, серед яких, звичайно, найбільш непередбачуваним є вплив погодно-кліматичних умов. Останні десятиліття в нашій країні характеризуються зростанням кількості екстремальних явищ. Наприклад, у 2025 році аномальна посуха призвела до значних втрат посівів та зниження врожайності на 30–50 % на значних площах, що спричинило дестабілізацію ринку [1].

Довгострокові тенденції, такі як підвищення температури та дефіцит опадів, особливо у південних регіонах, призводять до зміщення агрокліматичних зон та зниження потенціалу врожайності [2]. В таких умовах традиційні підходи до прогнозування цін виявляються недостатньо ефективними. Виникає гостра потреба у моделюванні, розробці та впровадженні новітніх аналітичних інструментів, які будуть здатні враховувати комплексний вплив усіх метеорологічних факторів на формування ринкових цін.

Метою даного дослідження є створення математичної моделі, яка дозволить оцінити вплив погодних аномалій на цінову динаміку ключових зернових культур в Україні, що є важливим кроком для покращення управління ризиками в агропромисловому комплексі.

2. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Формування цін на зернові культури в Україні має виражену сезонність, яка суттєво модифікується під дією агрокліматичних шоків. Емпіричні дослідження підтверджують вирішальну роль температури та опадів: зокрема, високі температури (понад +25 °C) та дефіцит вологи у критичні фази періоду зросту призводять до значного недобору врожаю [3]. Через ринкові механізми скорочення пропозиції трансформується у зростання цін, особливо у періоди посух, таких як у 2010 або 2020 роках.

У науковій літературі [4] виділяють кілька підходів до оцінки впливу клімату на аграрні ринки. Класичні агрономічні моделі (crop simulation models), такі як WOFOST або DSSAT, фокусуються на біофізичних процесах росту рослин, проте вони часто ігнорують економічні чинники формування ціни. З іншого боку, суто економетричні моделі часових рядів (ARIMA, GARCH) ефективно прогнозують цінові тренди на коротких проміжках часу, але погано враховують екзогенні шоки, спричинені аномальною погодою. Сучасні дослідження [5] свідчать про нелінійний характер впливу температури, а саме зростання температури до певного порогу (наприклад, 29°C для кукурудзи) сприяє росту, тоді як подальше підвищення призводить до різкого падіння врожайності. Саме тому в даній роботі пропонується гібридний підхід – використання панельної регресії, яка поєднує гнучкість економетрики з урахуванням фізичних кліматичних параметрів.

Для побудови адекватної моделі було здійснено збір та попередню обробку різнорідних даних, які об'єднано у єдину панельну структуру (Panel Data) з розділенням по областях України.

Джерела даних про ціни: Як залежну змінну обрано середньомісячні ціни реалізації зернових культур (пшениця, кукурудза, ячмінь). Основними джерелами є офіційні дані Державної служби статистики України [6], що забезпечують регіональний розріз, та база даних WFP (World Food Programme) для часової деталізації внутрішніх ринкових цін [7].

Джерела метеорологічних даних: Для формування незалежних змінних використано комбінацію наземних та супутникових спостережень:

- **ClimUAm** – ґридований кліматичний датасет УкрГМІ з щомісячною температурою та опадами (1946–2020) [8].
- **ERA5 (Copernicus/ECMWF)** – глобальний атмосферний реаналіз для отримання актуальних даних про температуру, опади та вологість ґрунту за останні роки [9].
- **Супутникові індекси** - дані NDVI (MODIS) та індекси посухи SPEI для оцінки стану рослинності та зволоження.

Критичним етапом підготовки даних стало просторове узгодження: накладання координатної сітки кліматичних даних на адміністративну карту областей України та агрегація показників (обчислення середніх зважених значень) для кожного регіону. Це дозволило сформувати узгоджений часовий ряд для подальшого статистичного аналізу та математичного моделювання.

3. СТРУКТУРА ВХІДНИХ ДАНИХ

Основою дослідження є інтегрований масив даних панельного типу, що охоплює період 2005 – останній доступний рік. Одиницею спостереження обрано «область–місяць», що дозволяє врахувати локальні кліматичні аномалії, які нівелюються при усередненні показників по країні.

Масив даних сформовано з трьох блоків змінних:

1. **Цінові показники (Y):** середньомісячні ціни реалізації зернових (пшениця, кукурудза, ячмінь) за даними Держстату та WFP.
2. **Кліматичні предиктори (X):** температура повітря та опади (дані ClimUAm та ERA5).
3. **Контрольні змінні:** бінарна змінна (dummy) для періоду воєнного стану (з 2022 р.), що враховує шоки пропозиції через логістичні обмеження.

Оскільки вихідні кліматичні дані отримано у форматі регулярної сітки (Gridded Data), виконано їх просторову агрегацію до меж адміністративних областей України. Також сформовано лагові змінні для врахування відкладеного впливу погоди на врожайність.

Попередня обробка та підготовка даних (Data Preprocessing). Перед етапом моделювання сирі дані проходять кілька етапів попередньої обробки для забезпечення їх якості та співставності:

1. **Дефлювання цін:** оскільки досліджуваний період (2005 – останній доступний рік) характеризується значними інфляційними процесами, номінальні ціни було приведено до реальних (у цінах базового 2021 року) за допомогою Індексу споживчих цін (ІСЦ) [10]. Це дозволяє виділити фундаментальні зміни ціни, не пов'язані з знеціненням національної валюти.
2. **Перевірка на стаціонарність:** часові ряди цін та кліматичних показників перевіряються на наявність одиничного кореня за допомогою тесту Дікі-Фуллера (ADF test). У разі нестационарності використовується перехід до перших різниць або логарифмування змінних.
3. **Обробка викидів:** аномальні значення в даних ERA5, які можуть виникати через помилки вимірювання або локальні збої, ідентифікуються за методом міжквартильного розмаху (IQR) та замінюються інтерпольованими значеннями.
4. **Синхронізація часових кроків:** кліматичні дані (щоденні або погодинні) агрегуються до місячних значень шляхом розрахунку середнього (для температури) або суми (для опадів).

У таблиці 1 наведено фрагмент підготовленого набору даних, що ілюструє різницю між кліматичними умовами у посушливий 2020 рік (критичний дефіцит вологи на півдні) та сприятливий 2021 рік.

Таблиця 1. Фрагмент панельних даних для моделювання (ілюстративний)

Region (Область)	Date (Дата)	Crop (Культура)	Price, UAH/t (Ціна)	Temp, °C	Precip, mm (Опади)	War_Dummy (Війна)	Примітка
Одеська	2020-04	Пшениця	5 950	12.4	8.2	0	Посуха
Одеська	2020-08	Пшениця	7 200	24.1	15	0	Сплеск ціни
Полтавська	2021-06	Кукурудза	6 800	20.5	65.3	0	Норма
Полтавська	2021-11	Кукурудза	5 400	4.2	42	0	Сезонність
Вінницька	2022-04	Пшениця	8 100	10.1	48	1	Вплив війни

Як видно з таблиці, модель враховує не лише прямі показники температури, але й структурні зрушення ринку, спричинені некліматичними факторами. Така деталізація дозволяє підвищити точність оцінки коефіцієнтів еластичності в економетричній моделі.

4. МЕТОДОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ

Для аналізу впливу погодних факторів було розглянуто три класи моделей:

1. **Моделі часових рядів (ARIMA/SARIMAX):** ефективні для прогнозування трендів, але ігнорують просторову варіативність регіонів.
2. **Моделі машинного навчання (Gradient Boosting, Random Forest):** здатні виявляти нелінійні зв'язки, проте мають низьку прозорість та зрозумілість результатів («чорна скринька»).
3. **Економетричні моделі панельних даних (Panel Data Regression):** дозволяють контролювати індивідуальні ефекти регіонів (наприклад, родючість ґрунтів) та виділяти чистий вплив погодних змінних.

Враховуючи структуру даних та нелінійний характер впливу температур на вегетацію рослин та наявність часових лагів у реакції ринку, базову специфікацію моделі було розширено. Запропоноване рівняння регресії має вигляд:

$$Price_{it} = \alpha_i + \beta_1 Temp_{it} + \beta_2 Temp_{it}^2 + \beta_3 Prec_{it} + \beta_4 Prec_{it-1} + \gamma WarDummy_t + \delta_m Month_{mt} + \epsilon_{it},$$

де:

- $Price_{it}$ – реальна ціна культури в області i у місяць t ;
- α_i – фіксований ефект області (враховує ґрунтово-кліматичні особливості регіону);
- $Temp_{it}$, $Temp_{it}^2$ – середня температура та її квадрат (для перевірки гіпотези про нелінійний U-подібний вплив тепла);
- $Prec_{it}$, $Prec_{it-1}$ – рівень опадів у поточному та попередньому місяцях (лаговий ефект);
- $WarDummy_t$ – змінна контролю воєнного стану;
- $Month_{mt}$ – набір фіктивних змінних для контролю сезонності (місячні ефекти);
- ϵ_{it} – випадкова похибка.

Використання цього підходу дозволить кількісно оцінити еластичність цін відносно погодних аномалій та побудувати сценарні прогнози ринкової ситуації.

5. ВИСНОВКИ

В роботі проведено системний аналіз проблеми ціноутворення на ринку зернових культур України в умовах кліматичних змін.

Сформовано інформаційну базу дослідження. Створено інтегрований масив панельних даних за період 2005 – останній доступний рік (орієнтовно до 2023/2024 рр.), залежно від перетину цінових та кліматичних рядів. Масив поєднує економічні показники (ціни) з високоточними кліматичними даними (ERA5, супутникові індекси). Виконано просторову агрегацію даних, що дозволило узгодити ґридовані метеорологічні поля з адміністративним поділом України.

Обґрунтовано методологічний підхід. Доведено, що для оцінки впливу погодних факторів найбільш доцільним є використання регресійних моделей панельних даних з фіксованими ефектами. На відміну від класичного аналізу часових рядів, цей підхід дозволяє врахувати регіональну гетерогенність умов вирощування та відокремити кліматичний вплив від шоків, спричинених війною.

Реалізація запропонованої моделі дозволяє отримати кількісні оцінки еластичності цін відносно температурних аномалій та дефіциту опадів. Це створює підґрунтя для побудови сценаріїв розвитку ринку та розробки інструментів хеджування погодних ризиків для агровиробників і трейдерів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Україна втратила врожай через посуху [Електронний ресурс] // Landlord.ua. – 2025. – URL: <https://landlord.ua/news/roslinnistvo/ukrayina-vtratyla-vrozhaj-cherez-posuhu-ale-zbere-76-mln-tonn-zernovyh-i-zberezheeksportnyj-potenczial-vysoczkyj/>
2. Balabukh V. Yield shortfall of cereals in Ukraine caused by the change in air temperature and precipitation amount [Електронний ресурс] / V. Balabukh // Agricultural Science and Practice. – 2023. – URL: https://agrisp.com/index.php/agrisp/article/view/2023_01_04
3. The effects of weather extremes on wheat prices in Russia: The role of inputs and Russia's war in Ukraine [Electronic resource] // Food Security. – 2025. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12571-025-01550-8>

4. Wooldridge J. M. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. 2nd ed. Cambridge: MIT Press, 2010. 1064 p.
5. Schlenker W., Roberts M. J. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2009. Vol. 106, No. 37. P. 15594–15598.
6. Середні ціни продукції сільського господарства, реалізованої підприємствами [Електронний ресурс] // Портал відкритих даних data.gov.ua. – URL: <https://data.gov.ua/dataset/776c9346-1c46-49ba-98e0-e23255760584>
7. WFP Food Prices [Electronic resource] // Humanitarian Data Exchange. – URL: https://data.humdata.org/dataset?dataseries_name=WFP+-+Food+Prices
8. Dataset of gridded time series of monthly air temperature and atmospheric precipitation for Ukraine covering the period of 1946-2020 [Електронний ресурс] // ResearchGate. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/362894263>
9. ERA5 monthly averaged data on single levels from 1940 to present [Електронний ресурс] // Copernicus Climate Data Store. – URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels-monthly-means>
10. Індекси споживчих цін за регіонами [Електронний ресурс] // Портал відкритих даних data.gov.ua. – URL: <https://data.gov.ua/dataset/776c9346-1c46-49ba-98e0-e23255760584>