

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУМАРНИХ АКТИВНИХ ТЕМПЕРАТУР ЗА ОСІННЬО-ЗИМОВІ ВЕГЕТАЦІЙНІ ПЕРІОДИ 2018 – 2022 РОКІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ДАНИХ ERA-5

С. Ю. Дрозд¹, Г. О. Яйлимова¹

¹ Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
НН Фізико-технічний інститут

Анотація

Моніторинг зміни природно-кліматичних характеристик є необхідним елементом для продуктивного ведення сільського господарства. Одним з найбільш вагомих показників, які впливають на врожайність різних культур, є сума активних температур. За допомогою порівняння накопичених температур за декілька періодів можна встановити кліматичну відповідність між майбутнім аграрним сезоном та еквівалентним йому сезоном у минулому. Встановлення даної кліматичної еквівалентності дозволяє прогнозувати врожайність землі на різних ділянках та сформувати правильну стратегію розвитку сільського господарства. У даному дослідженні було обчислено відносні відхилення температур та обраховано кореляційні залежності між сумарними активними температурами за періоди зимової вегетації (жовтень – квітень) за 2018 – 2021 роки з 2022 роком на основі даних про температуру поверхні землі ERA-5. Коефіцієнти кореляції виявилися досить високими, а найбільш схожим за кліматичними властивостями на осінньо-зимовий вегетаційний період 2022 року (жовтень 2021 – квітень 2022) – період 2018 – 2019 років. Таким чином було визначено опорний період для проведення аграрних прогнозів та продуктивного ведення сільського господарства на основі вже наявних знань про розвиток сільськогосподарських культур у еквівалентному минулому аграрному сезоні.

Ключові слова: сільське господарство, сумарні активні температури, еквівалентний аграрний сезон, коефіцієнт кореляції Пірсона

Вступ

Агропромисловий комплекс і сільське господарство завжди перебували в пріоритеті розвитку України, адже держава володіє потужним природним потенціалом. Від ведення сільського господарства в Україні залежить не лише вітчизняна економіка, а й продовольча забезпеченість європейських країн, адже Україна входить у сімку світових експортерів зернових культур та соняшникової олії.

Проте зараз, у 2022 році, під час ведення активних бойових дій на території України, страждають фермерські організації та ушкоджуються сільськогосподарські поля. На півдні та сході – основних аграрних територіях [1], фермери не можуть засіяти земельні ділянки, а навіть коли це вдається – поля постійно перебувають під загрозою знищення. Тому головною територією для вирощування основної маси сільськогосподарських культур стала західна Україна.

У зв'язку із зміною географічного положення основних полів для засівання виникла необхідність змодельовати регіональні відмінності. Для вирішення цієї задачі потрібно контролювати зміну природно-кліматичних умов [2, 3]. Накопичена температура є погодним параметром, який безпосередньо впливає на кліматичні регіональні відмінності і продуктивність сільськогосподарських рослин [4]. Усі біологі-

чні та хімічні процеси, що відбуваються в ґрунті, пов'язані з температурою повітря.

Накопичена температура використовується для прогнозування темпів розвитку рослин [5, 6] і шкідників, для визначення дати досягнення врожаєм зрілості [7, 8, 9]. За допомогою сумарних активних температур будуються регресійні моделі для передбачення врожайності [6, 10].

У даному дослідженні ми вирішили віднайти для поточного аграрного сезону 2022 року найбільш схожий аграрний рік у минулому за температурними показниками періоду зимово-осінньої вегетації (жовтень – квітень). На основі віднайденого еквівалентного аграрного сезону ми хочемо завдяки вже наявному досвіду ведення сільського господарства тоді, сформувати правильну стратегію ведення сільського господарства зараз, у 2022 році. Відтак фермери зможуть обрати найбільш продуктивні території для засіву тих чи інших культур, обрати найкращих час для боротьби зі шкідниками, коли ті найбільш урадливі чи активні, та прогнозувати об'єм майбутнього врожаю. На основі останнього прогнозу країна зможе прийняти рішення про обсяги експорту чи імпорту різнотипної сільськогосподарської продукції.

Таким чином темою даної роботи є порівняльний аналіз накопичених температур осінньо-зимової вегетації (жовтень – квітень) за попередні періоди з поточним періодом 2022 року.

Метою роботи є пошук еквівалентного до поточного аграрного сезону 2022 року за температурними показниками аграрного сезону у минулому. Основними методами, що будуть використані у даному дослідженні, є кореляційний аналіз та обчислення відносних відхилень.

1. Використані дані та платформа для дослідження

1.1. Отримання даних

Для проведення порівняльного аналізу кліматичних показників на основі суми активних температур було обрано чотири періоди осінньо-зимової вегетації (з 1 жовтня по 1 квітня) для 2018 – 2022 років відповідно. Джерелом даних про температури виступив продукт ERA-5 [11] – ERA-5 hourly data on single levels from 1979 to present – з бази кліматичних даних Copernicus Climate Change Service. ERA-5 надає погодинні дані про температуру поверхні усієї території Землі на висоті 2 метри над рівнем суші, моря або поверхневих вод. Зоною нашого інтересу виступила територія України.

Ми завантажили дані ERA-5 з офіційної сторінки Copernicus Climate Change Service у хмарне середовище CREODIAS [12], де проводили подальшу їх обробку та наше дослідження.

1.2. Підготовка даних

Таким чином ми завантажили чотири температурні супутникові мапи поверхні України, які містили як додатні, так і від'ємні температури у градусах Кельвіна для кожної години доби. Тому дані потребували попередньої обробки (рис. 1). Теплозабезпечен-



Рис. 1. Підготовка даних

ня сільськогосподарських культур характеризується сумою середньодобових температур повітря, вищих за біологічний мінімум протягом вегетаційного періоду. Тому для обчислення активних температур дані було переведено у градуси Цельсія та відібрано лише додатні температури ($> 0^{\circ}\text{C}$). Після цього рахувалася середньодобова температура для кожного дня

у періодах. Таким чином отримали денні композити для чотирьох періодів (впродовж 2018 – 2022 років). За ними було обчислено попиксельні сумарні температури для кожного періоду. Як результат – на виході чотири температурні мапи України, зображені на рис. 2. Над отриманими мапами був проведений

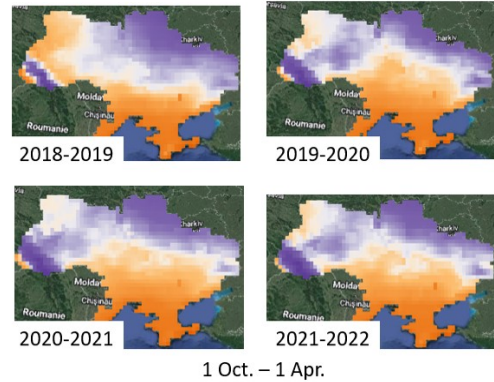


Рис. 2. Сумарні температури

растровий аналіз у програмі QGIS, а саме – зональна статистика на основі векторної карти областей України. Таким чином ми порахували середню по областям активну сумарну температуру для кожного періоду (рис. 3).

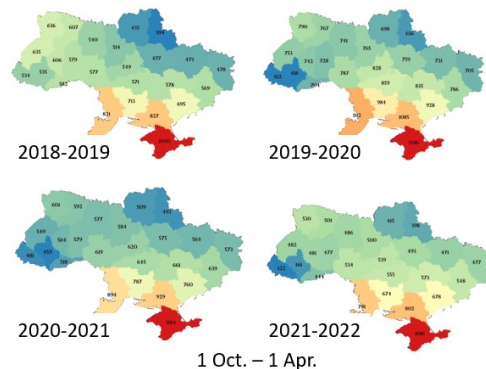


Рис. 3. Середні по областям сумарні температури

2. Методи дослідження

Для встановлення температурної залежності між періодом осінньо-зимової вегетації 2021 – 2022 років та досліджуваними періодами минулих років було використано коефіцієнт кореляції Пірсона, згідно формули (1):

$$r = \frac{n(\sum xy) - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}, \quad (1)$$

де:

- x – середні по областям сумарні температури за 2021 – 2022 (жовтень – квітень);
- y – середні по областям сумарні температури за один період впродовж 2018 – 2021 років (жовтень – квітень);
- n – кількість даних у вибірці (кількість областей України).

Також для пошуку відповідного за кліматичними умовами осінньо-зимового вегетаційного періоду до періоду 2021 – 2022 було обчислено відносні відхилення сумарних температур між періодами по областях, згідно формули (2):

$$e = \frac{|x - y|}{x}, \quad (2)$$

де:

- x – середні по областях сумарні температури за 2021 – 2022 (жовтень – квітень);
- y – середні по областях сумарні температури за один період виродовж 2018 – 2021 років (жовтень – квітень).

Користуючись результатами попереднього обчислення, було обраховане середнє по областях відхилення температур для кожного періоду, на основі якого визначався найбільш кліматично близький період осінньо-зимової вегетації до періоду 2021 – 2022 років.

3. Результати

За результатами кореляційного аналізу (рис. 4) лінійна залежність між сумарними температурами за зимово-осінні періоди 2018 – 2021 років та період 2021 – 2022 років дуже висока.

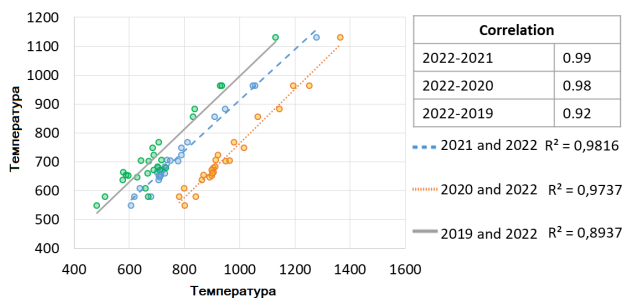


Рис. 4. Результати кореляційного аналізу

Цю залежність можна прослідкувати на графіку середніх по областях сумарних температур (рис. 5).

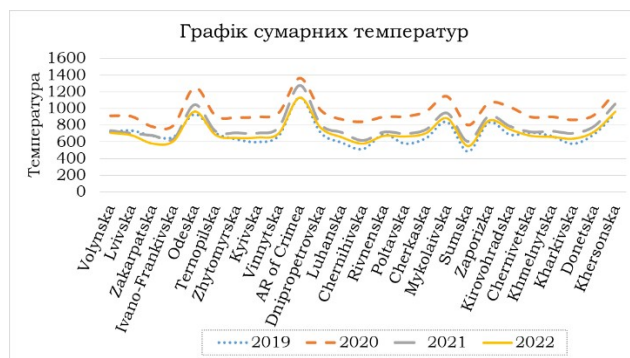


Рис. 5. Графік середніх по областях сумарних температур 2019 – 2022 (жовтень – квітень)

Коефіцієнт кореляції R для кожного з трьох наборів даних перевищує 0.9, а достовірність R^2 відносно становить – 0.89 для періоду 2019 – 2021 років,

0.97 – період 2019 – 2020 років, 0.98 – період 2020 – 2021 років. Таким чином найбільша лінійна залежність між сумарними активними температурами за минулі вегетаційні періоди та поточний період 2021 – 2022 зафіксована для періоду 2020 – 2021 років. Це означає що найбільш кліматично схожим до поточного аграрного сезону може бути сезон 2021 року. Проте обчислення відхилень температур по областях показало інші результати (рис. 6, рис. 7).



Рис. 6. Графік абсолютних відхилень середніх по областях сумарних температур за 2019 – 2022 роки від 2022 року (жовтень – квітень)

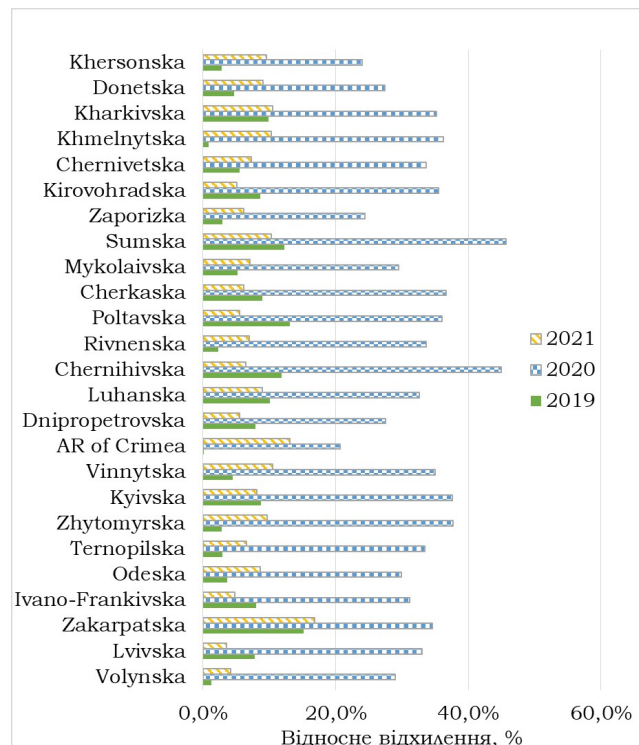


Рис. 7. Графік відносних відхилень середніх по областях сумарних температур за 2019 – 2022 роки від 2022 року (жовтень – квітень)

Як видно з графіка на рис. 6 у 2020 та 2021 температури були значно вищими, ніж у 2022 році (від'ємна абсолютна різниця). Графік 2020 року лежить значно нижче інших, що свідчить про більшу відмінність між температурами осінньо-зимового

вегетаційного періоду 2020 – 2021 років та періоду 2021 – 2022 років. 2019 рік зображений вище нуля – період 2018 – 2019 років навпаки був холоднішим за період 2021 – 2022 років. Щодо розподілу по областях (рис. 7), то найбільша різниця температур зафіксована у Сумській (12,3%, 45,7%, 10,3% для 2019, 2020, 2021 років відповідно) та Чернігівській областях (11,9%, 44,9%, 6,5% для 2019, 2020, 2021 років відповідно).

Середнє по областях відхилення температур періоду 2021 – 2022 років від минулих років становить – 6,5% для періоду осінньо-зимової вегетації 2018 – 2019 років, 33% для періоду 2019 – 2020 років та 8,1% для періоду 2020 – 2021 років. Таким чином найбільш близьким за відхиленням температур до 2022 року визначено 2019 рік.

4. Висновки

За результатами дослідження між сумарними активними температурами за період осінньо-зимової вегетації (жовтень – квітень) впродовж чотирьох років 2018 – 2022 існує тісний зв'язок і сильна лінійна залежність. Найбільший коефіцієнт кореляції (0,99) зафіксований для періоду 2020 – 2021 років. Найменше середнє по областях відхилення становить 6,5% для періоду 2018 – 2019 років. Таким чином на основі проведених аналізів встановлено, що найбільш термоблизький до поточного періоду 2021 – 2022 років – осінньо-зимовий вегетаційний період 2018 – 2019 років.

Встановлення даного факту дозволяє використовувати 2019 рік як опорний для прогнозування розвитку сільськогосподарських рослин у поточному 2022 році у подальших наших дослідженнях, будувати регресійні моделі, тощо, та обрати вдалу стратегію ведення сільського господарства для досягнення максимальної врожайності.

Достовірність даної еквівалентності 2019 та 2022 років можна буде перевірити за наявності даних про врожай 2022 року.

Перелік використаних джерел

1. Дригола К.В., Вертелецька О. М., Бойко В. В. Агропромисловий комплекс України в контексті виходу на міжнародний ринок // Економічний простір. — 2019. — С. 146.
2. Hallett S. H., Jones R. J. Compilation of an accumulated temperature database for use in an environmental information system // Agricultural and Forest Meteorology. — 1993. — P. 21–34.
3. Crop inventory at regional scale in Ukraine: Developing in season and end of season crop maps with multi-temporal optical and SAR satellite imagery / Kussul N., Mykola L., Shelestov A., and Skakun S. // European Journal of Remote Sensing. — 2018. — P. 627–636.
4. Intellectual Analysis of Major Crops Area due to Climate Changes in Ukraine / Emelyanov M., Yailymova H., Shelestov, A., and Yailymov B. // 2021 IEEE 19th International Conference on Smart Technologies (EUROCON). — 2021. — P. 192–196.
5. Comparison of biophysical and satellite predictors for wheat yield forecasting in Ukraine / Kolotii A., Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Yailymov B., Basarab R., and Ostapenko V. // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. — 2015. — P. 39–44.
6. Н. Куссуль Н. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2012. — С. 95.
7. Kukal M. S., Irmak S. US agro-climate in 20th century: growing degree days, first and last frost, growing season length, and impacts on crop yields // Scientific reports. — 2018. — P. 1–14. — Access mode: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-25212-2.pdf>.
8. Parthasarathi T., Velu G., Jeyakumar P. Impact of crop heat units on growth and developmental physiology of future crop production: A review // Journal of Crop Science and Technology. — 2013. — P. 2319–3395.
9. Ahmed M., Hassan F. U. Cumulative effect of temperature and solar radiation on wheat yield // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. — 2011. — P. 146–152. — Access mode: <http://notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/5406>.
10. Regression model for the study of sole and cumulative effect of temperature and solar radiation on wheat yield / Ahmed M., Hassan F. U., Aslam M. A., Akram M. N., and Akmal M. // African Journal of Biotechnology. — 2011. — P. 9114–9121. — Access mode: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/95638/84977>.
11. ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. — Access mode: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#\protect\protect\leavevmode@ifvmode\kern-.1667em\relax\dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=overview>.
12. WHAT IS CREODIAS? — Access mode: <https://creodias.eu/>.