


# Характеристика та просторовий розподіл атмосферних опадів у літній сезон на території України та можливості їх довгострокового прогнозу

Владислав Є. Тимофєєв<sup>1</sup> , Ольга Г. Татарчук<sup>1</sup>, Оксана В. Мазєпа<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Український гідрометеорологічний інститут, проспект Науки 37, Київ, 03028, Україна

<sup>2</sup> Львівський регіональний центр з гідрометеорології, вулиця генерала Чупринки 58А, Львів, 79057, Україна

## Реферат

Досліджено багаторічну мінливість атмосферних опадів в літньому сезоні на території України, з характеристикою сильних дощів та деталізацією за даними станцій північного кластера. Загалом для літнього сезону відзначається найбільший дефіцит опадів у серпні разом із зменшенням добових максимумів та кількості днів з опадами, а найменше зниження кількості опадів фіксується на початку літа у червні разом із збільшенням інтенсивності добових опадів. Виявлена внутрішньосезонна мінливість значних опадів, причому їх внесок у загальну кількість зростає тільки у червні. Кількість випадків сильного дощу досягла максимуму у 2001-2010 рр., при цьому найбільша повторюваність явищ характерна для липня. У останньому десятиріччі їх кількість дещо знизилась, причому територія охоплення також зменшилась. Кожного року сильні дощі охоплюють в середньому 20 областей, найбільш характерні для півдня, включаючи Одеську обл. та АР Крим. За даними реаналізу виявлено збереження вологовмісту атмосфери на фоні дефіциту атмосферних опадів, що свідчить про збереження потенціалу опадів для України, особливо за рахунок південних циклонів. Незважаючи на зростаючий ступінь посушливості у теплий період та світову тенденцію до скорочення врожаю зернових, в останні десятиріччя Україні вдається збирати хороші врожаї, що важливо для сталого розвитку сільського господарства та продовольчої безпеки. Проведений аналіз мінливості регіональних атмосферних індексів продемонстрував наявність певних значущих тенденцій, стійкої трендової складової, зокрема посилення Північно-Атлантичного коливання та його східного аналога, Середземноморського та Східно-Європейського коливання, а також асинхронних крос-кореляційних зв'язків. Найкращі асинхронні зв'язки з аномаліями кількості опадів у літні місяці знайдені для індексів з часовим зсувом 3-5 місяців.

## Ключові слова

Атмосферні опади, сильні дощі, вологовміст, небезпечні метеорологічні явища, атмосферна циркуляція, індекси циркуляції, довгостроковий прогноз

Надійшла до редакції: 12 грудня 2023 / Прийнята: 20 березня 2024 / Опублікована онлайн: 25 травня 2024

## Characteristics and spatial distribution of the atmospheric precipitation in the summer season on the territory of Ukraine and the possibilities of their long-term forecast

Vladyslav Ye. Tymofeiev<sup>1</sup>, Olha G. Tatarchuk<sup>1</sup>, Oksana V. Mazepa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ukrainian Hydrometeorological Institute, 37, Nauky Ave., Odesa, 03028, Ukraine

<sup>2</sup> Lviv Regional Center for Hydrometeorology, 58A, General Chuprynky St., Lviv, 79057, Ukraine

## Abstract

The long-term variability of atmospheric precipitation in the summer season on the territory of Ukraine was studied with the characteristics of extreme rains and detailing according to the data of the stations of the northern cluster. In general, for the summer season the largest deficit of precipitation is recorded in August (along with a decrease in daily maximums and the number of days with precipitation), and the smallest decrease in precipitation has been registered in June along with an increase in the intensity of daily precipitation. Intraseasonal variability of significant precipitation is detected, and their contribution to the total precipitation amount increased only in June. The number of occurrences of very heavy rain has reached a maximum during 2001-2010 with the highest occurrence in July. In the last decade their number has slightly deteriorated, and the area of coverage has also decreased. Very heavy rains cover an average of 20 regions every year, most characteristic to the south, including the Odesa region and Crimea. The preservation of the moisture content of the atmosphere at the background of a deficit of atmospheric precipitation was revealed. It indicates the preservation of the potential of precipitation for Ukraine, especially due to the southern cyclones. The conducted analysis of the variability of regional atmospheric indices demonstrated the presence of the certain significant trends; a stable trend component, in particular the strengthening of the North Atlantic Oscillation and its Eastern counterpart (the Mediterranean and Eastern European Oscillation,); as well as asynchronous cross-correlation relationships. The best asynchronous relationships with precipitation anomalies in the summer months are found for indices with a time lag of 3-5 months.

## Keywords

Atmospheric precipitation, heavy rains, water content, extreme meteorological phenomena, atmospheric circulation, circulation indices, long-range forecast

Received: 12 December 2023 / Accepted: 20 March 2024 / Published online: 25 May 2024

## Corresponding author:

Vladyslav Ye. Tymofeiev, Ukrainian Hydrometeorological Institute, 37, Nauky Ave., Odesa, 03028, Ukraine  
Email: tvladys@gmail.com

© 2024 The Authors. Published by Taras Shevchenko National University of Kyiv. This is an open-access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. Вступ

Атмосферні опади є одним з найважливіших метеорологічних явищ – показників мінливості клімату та характеристикою зволоження території, що має визначати сталий розвиток сільського господарства, головною метою якого, як відомо, є забезпечення продовольчої безпеки у короткостроковій та довгостроковій перспективі.

У зв'язку зі змінами клімату, а саме інтенсивним потеплінням, відбуваються зміни в характеристиках опадів, особливо значних, що неодноразово відзначалось різними авторами (IPCC, 2022; Tymofeiev, 2017; The Polish Climate, 2013; Zabolotska, 2012; Varabash, 2010; Klimat Ukrainy, 2003). Небезпечні метеорологічні явища посіли перше місце в списку глобальних ризиків, класифікованих за ймовірністю (World Economic Forum 2017), і вже більше десяти років світова статистика показує, що 90 % найбільших економічних втрат викликані небезпечними метеорологічними явищами (НМЯ), такими як зливи, град, повені, посухи, штормові вітри. Про зростаюче значення гідрометеорологічного чинника в сталому розвитку суспільства свідчить виступ генерального секретаря Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) професора Пітера Тааласа на Першій водній конференції ООН: «...майже 75 % усіх природних катаклізмів за останні 20 років були пов'язані з водою або її нестачею, принаймні 1,6 млрд. людей постраждали від повеней і 1,4 млрд. від посух з економічними збитками майже в 700 мільярдів доларів». Повені були найчастішими серед усіх екстремальних подій, у Східній Європі у 2001 та 2005 рр., Індії у 2005 р., Африці у 2008 р., Азії (Пакистан) та Австралії у 2010 р. (Hoegh-Guldberg et al., 2018).

Клімат України загалом є сприятливим для розвитку різних галузей господарства, зокрема землеробства та тваринництва, завдяки достатньому зволоженню та сприятливому рівню інсоляції (Rybchenko et al, 2022; Klimat Ukrainy, 2003; Varabash, 2010). Однак, певні поєднання агрокліматичних умов можуть спричинити несприятливі явища в літній сезон через посухи, сильні опади або їх сполучення, що негативно впливає на розвиток впродовж вегетаційного періоду та майбутньої врожай (Tarariko, 2016; Shcherban, 1991).

Підтвердження цьому вищенаведеному – нерівномірне зволоження території України в останні десятиріччя, яке посилюється при зміні атмосферної циркуляції, коли більшість вологи отримують західні області, а східні і південні відчувають дефіцит опадів з підвищеним ризиком посушливості та загального ступеня кліматичної вразливості (Savchuk, 2018).

За даними мережі Гідрометслужби України, у 1986–2005 рр. відзначено зростання випадків НМЯ у вигляді дуже сильного дощу та зливи, хоча сезонний розподіл був дуже неоднорідний (Stykhujni, 2006). Максимальна кількість небезпечно сильних опадів на території України пов'язана з циклонічною діяльністю, причому найбільший внесок у загальну кількість значних опадів дають південні циклони, під час виходу яких сильні дощі

випадають перш за все у південних областях України і можуть охоплювати значні території.

Велика частка випадків сильних опадів влітку пов'язані з висотними ізольованими циклонами (відсічення), які зазвичай малорухомі і тривалий час впливають на територію дослідження за рахунок взаємодії з квазі-стаціонарним гребенем на сході Європи (Khomenko, 2012). Ефект антициклонального блокування руху циклонів також відзначається як причина тривалих сильних опадів та гроз на території України в окремі роки за рахунок інтенсифікації фронтальної діяльності (Zabolotska, 2012).

Прогноз сильних атмосферних опадів є дуже актуальним незалежно від завчасності: чи-то понад-короткостроковий, чи довгостроковий. Прогнози на місяць або сезон зазвичай використовують процеси-аналоги синоптичних ситуацій, або ансамблеві прогнози на основі даних чисельного моделювання, або враховують телеконекції, пов'язані зі станом Світового океану (Polonskyi, 2013; Muravev 2011; Syzov, 2010; Martazinova, 2007).

Відомо, що на сучасному рівні досліджень стан регіональної кліматичної системи оцінюється за допомогою індексів, які відображають взаємодію океан-атмосфера та стан центрів дії атмосфери (ЦДА). У планетарному масштабі найбільш сильний сигнал у системі океан-атмосфера вносить Ель-Ніньо-Південне коливання (ЕНПК) (Luo, 2019; Polonskyi, 2013). Незважаючи на те, що прояви ЕНПК у Північній Атлантиці та Європі залишаються дискусійними, численні дослідження явища показали значущий сигнал ЕНПК у Європі, незважаючи на велику мінливість окремих подій. Домінуючі варіації атмосферних опадів у 3–7 років пов'язані з ЕНПК, хоча існують значні регіональні відміни (Trenberth, 2011). Впродовж ХХ сторіччя у світі відзначалося коливання кількості опадів близько норми із зростанням у другій половині сторіччя до початку 1990-х рр., причому найбільша кількість опадів відзначалася на початку фази сучасного потепління (IPCC, 2022).

Основним джерелом міжрічної регіональної мінливості циркуляції атмосфери *Атлантико-Європейського сектору* (АЕС) є Північно-атлантичне коливання (ПАК), яке пов'язує ланцюгом західних хвиль Північну Атлантику та Європу (Hurrell, 1995). Впродовж періодів з високим значенням ПАК переважає західне перенесення, а в сезони з низьким значенням формується значне меридіональне перетворення у АЕС з утворенням висотної улоговини і значних контрастів у полях температури та опадів.

При розробленні методів прогнозу важливо оцінити синхронні та асинхронні зв'язки між аномаліями температури поверхневих вод (ТПВ) північної Атлантики, особливостями великомасштабної циркуляції атмосфери, як у роботі (Muravev, 2011). Відзначається, що при формуванні висотних гребенів і блокуючих ситуацій важлива роль у таких взаємодіях належить тропічній зоні Північної Атлантики, причому зв'язки ПАК з аномалією ТПВ виявилися значно слабші, ніж

аналогічні зв'язки із Східно-Атлантичним коливанням (САК), яке інтерпретують як східний аналог ПАК.

**Метою** роботи є проаналізувати особливості багаторічного ходу характеристик атмосферних опадів в літньому сезоні на території України, порівняти зі змінами вологовмісту, та показати внесок значних атмосферних опадів з деталізацією за даними окремих метеостанцій, а також визначити прогностичні можливості головних індексів – систем регіональної кліматичної мінливості.

## 2. Матеріали і методи

У статті використовувались визначення НМЯ згідно (Nastanova, 2003), оскільки розрахунки проведені ще до виходу в дію нової (Nastanova, 2009). Були розглянуті атмосферні опади категорій, що відповідають термінам «значні та сильні, з кількістю опадів більше 30, 50 мм за 12 год.» за період 1991-2020 рр., причому порогові кількості опадів залишилися ідентичними у новій настанові. Вибірка та статистична обробка випадків сильного дощу одержана шляхом аналізу «Оглядів погоди та стихійних метеорологічних явищ» складених в Укр. ГМЦ України та ЦГО.

Детальний аналіз мінливості атмосферних опадів проведений за даними Північного кластеру – станції ОГМС Київ, Біла Церква, Житомир. Для аналізу використані рекомендовані ВМО важливі показники мінливості атмосферних опадів, середня та максимальна добова інтенсивність, кількість днів з опадами та без них.

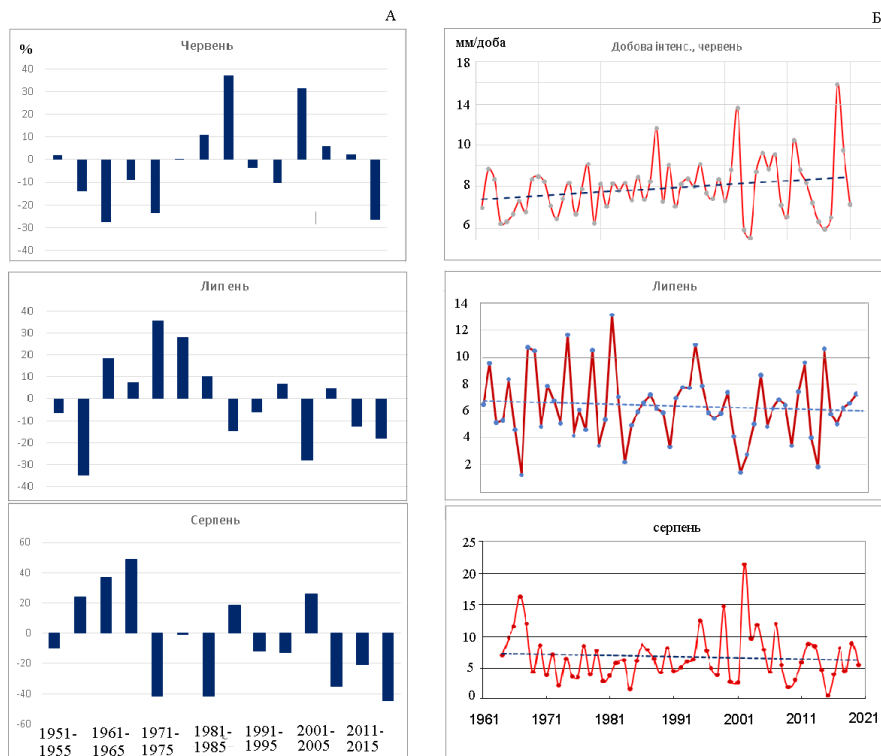
Багаторічна мінливість сезонних атмосферних опадів показані в межах базового періоду 1951-2020 рр., який охоплює період 1991-2020 рр.

Для просторового аналізу кількості опадів в Україні та вологовмісту в атмосфері використано дані реаналізу NCEP/NCAR (1951-2020 рр.), просторове розділення 1,5°. Джерело кліматичних індексів – Центр передбачення клімату, США (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/>). Індекси представлені у вигляді величин, нормованих на середнє квадратичне відхилення у кожному місяці. Для розрахунку коефіцієнту кореляції використовувалась методика рангової кореляції Спірмена на основі зіставлення градацій величин (Agbo, 2021).

## 3. Результати

Багаторічна зміна аномалії кількості атмосферних опадів в океані та на суші частково підтверджується даними середньої місячної кількості опадів півночі України, яка показує зміну додатного тренда на від'ємну аномалію з початку 2000-их рр., найбільш помітна в серпні (рис. 1А). В цілому, сезонна аномалія кількості опадів накопичується впродовж останніх 20 років і перевищила поріг у 30 %.

Зниження літньої кількості опадів підтверджується добовими показниками станцій півночі України. Середня добова інтенсивність опадів зменшується у серпні і липні, зростає тільки у червні на фоні значних міжрічних коливань у останні 20 років (рис. 1Б). Максимум добових опадів також зменшується у серпні і липні,



**Рис. 1.** Багаторічна зміна аномалії місячної кількості опадів (%) півночі України по 5-річчям (А); добова інтенсивність атмосферних опадів, мм/доба (Б), червень-серпень, 1951-2020 рр.

**Fig. 1.** Long-term change in the anomaly of the monthly amount of precipitation (%) in the north of Ukraine during five-years periods (A); daily intensity of atmospheric precipitation, mm/day (B), June-August, 1951-2020 yrs.

а у червні залишається без значних змін. Кількість днів з опадами у червні практично не змінюється, у липні дещо зменшується, а найбільше зменшення зафіксовано у серпні (практично в 2 рази).

Порівнюючи ці показники, отримаємо, що в процесі регіонального потепління внесок інтенсивних опадів у загальну кількість у червні найбільший, а у серпні – найменший, таким чином існує внутрішньосезонна мінливість характеристик опадів.

Аналогічні тенденції отримані для сильних дощів категорій НМЯ, кількість котрих знизилась. За період 1991-2015 рр. в Україні було зафіксовано 1599 випадки дуже сильного дощу, а за 2001-2015 рр. на третину менше – 1078. Кількість випадків з сильними дощами досягла максимуму впродовж 2001-2010 рр., ставши другим показником з 1901 р., а найбільш дощовими були перше та друге п'ятиріччя ХХІ ст., 390 і 377 випадків відповідно (рис. 2А). У 2011-2015 рр. їх кількість дещо зменшилася (311 випадок) і надалі спостерігається деяке зниження кількості випадків небезпечних

явищ (НЯ) та стихійних гідрометеорологічних явищ (СГЯ) на фоні зменшення загальної кількості опадів.

Відповідно, у першій декаді ХХІ ст. сильними дощами було охоплено дещо більшу територію, ніж у інші роки. Кожного року сильні дощі охоплюють в середньому 20 областей (рис. 2Б). Сильні дощі найбільш характерні для півдня країни, включаючи Одеську обл. та АР Крим, де їх у середньому протягом року відмічається 15, а також і для Закарпатської обл. – 12 випадків. У 1994, 1996, 2001, 2009 та 2015 р. ними було охоплено найменше областей (16-18), а у 2005 р. – найбільше (24 області).

Далі проведемо зіставлення зміни кількості атмосферних опадів регіону України зі змінами вологовмісту в атмосфері влітку за допомогою даних реаналізу. Мінливість кількості атмосферних опадів загалом відповідає даним вимірювань, відображаючи зміну знака тренду у 1980 р. і показуючи зменшення у останні 30 років, рис. 3. Навпаки, вологовміст значно не змінюється протягом періоду дослідження, а в останні 10 років навіть збільшується.

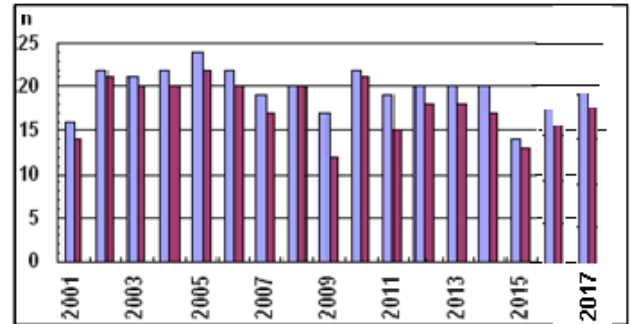
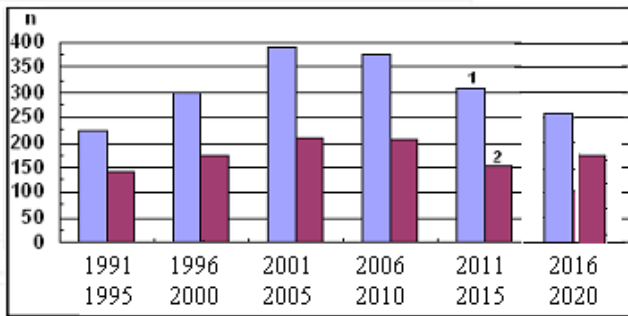


Рис. 2. Кількість випадків дуже сильного дощу в окремі п'ятиріччя 1991-2020 рр. (А); кількість областей та пунктів охоплених сильним дощем (Б).  
 Fig. 2. The number of occurrences with very heavy rain by five-years periods during 1991-2020 yrs. (A); the number of regions and stations with heavy rain (B).

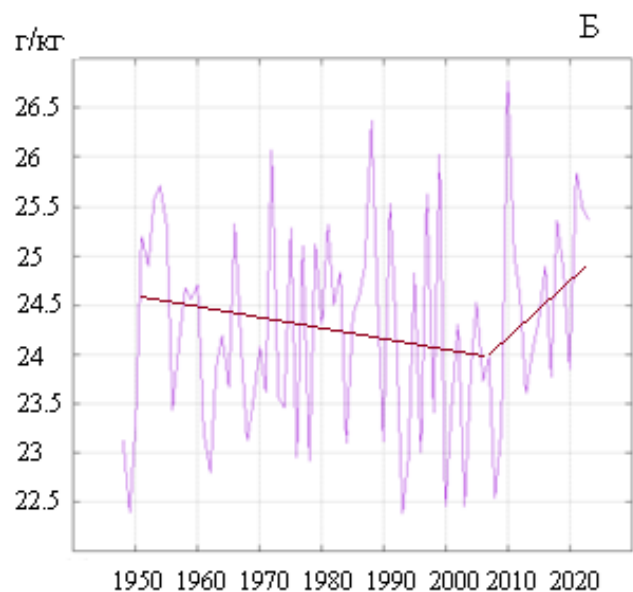
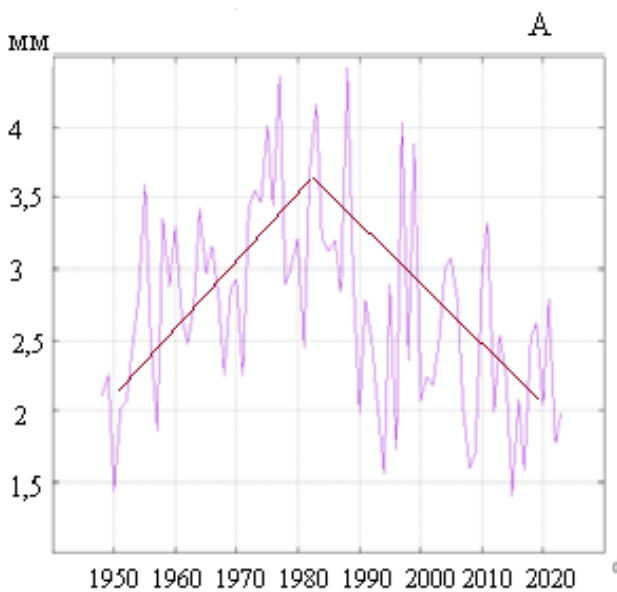


Рис. 3. Багаторічна зміна кількості атмосферних опадів та вологовмісту в атмосфері, 1951-2020 рр., червень-серпень, квадрат 40-50° пн. широти, 25-35° сх. довготи, реаналіз NCEP/NCAR.  
 Fig. 3. Long-term change in atmospheric precipitation and atmospheric moisture content, 1951-2020 yrs., June-August, 40-50° latitude and 25-35° longitude square, NCEP/NCAR reanalysis.

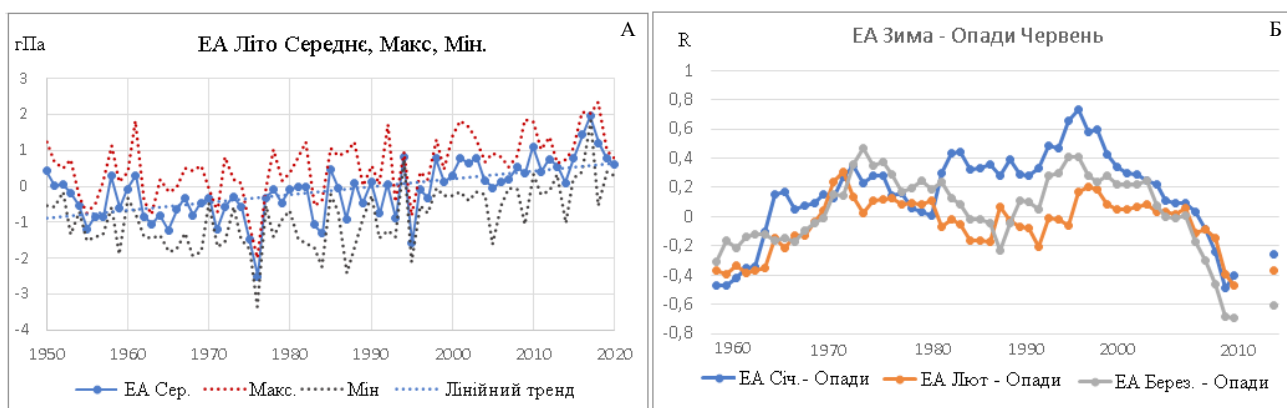
**Особливості атмосферної циркуляції, прогностичний потенціал.** Як вказано вище, стан регіональної кліматичної системи АЕС оцінюється за допомогою індексів, які відображають градієнти тиску в тропосфері та взаємодію ЦДА. Оскільки багаторічна зміна індексу ПАК показує значні міжрічні коливання, то з метою пошуку прогностичних зв'язків більш доцільно використовувати індекс Східно-Атлантичного коливання, який показує більш чітку багаторічну тенденцію впродовж літнього сезону (рис. 4). Цей індекс відображає посилення додатної аномалії, що відображає збільшення градієнтів тиску між субтропічним антициклоном та Ісландською депресією.

Для розробки прогнозу взято більший період, оскільки коефіцієнт кореляції ковзний з постійним вікном 15 років його зменшує. Прогностичні можливості на сезонному інтервалі завчасності показує ковзний асинхронний коефіцієнт кореляції індексу САК на початку року (січень-березень) з аномалією кількості опадів літніх місяців та з найкращим результатом у червні (часовий лаг 3-6 місяців), рис. 5а. Для інших літніх місяців також виявлено значущі зв'язки із

індексом САК з часовим лагом 2-5 місяці, зокрема для кількості опадів у серпні  $R = -0.50, -0.73$ , на 95 % рівні значущості. При цьому треба враховувати, що вікно значущої кореляції достатньо вузьке у часі (до 15 років) що вимагає постійного контролю мінливості.

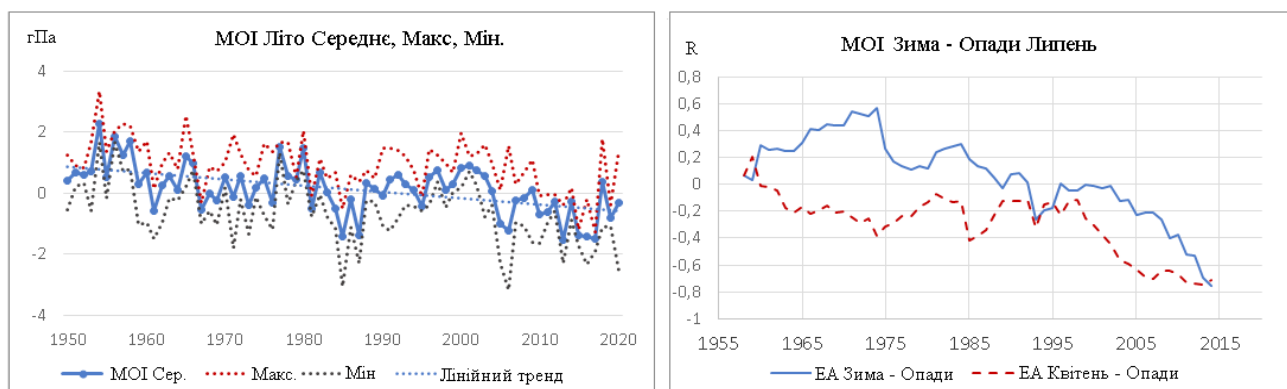
На відміну від САК, індекс середземноморського коливання МОІ характеризується негативним трендом (рис. 5), що свідчить про поглиблення циклогенезу у Середземномор'ї у теплий сезон року та призводить до підвищеної частоти формування південних циклонів, що впливають перш за все на південь України (Martin-vide, 2006). Асинхронний коефіцієнт кореляції показує перехід від значущої додатної до негативної на початку 1990 рр., знаменуючи зміну кліматичних епох. Найкращі прогностичні результати отримані для кількості опадів у липні з часовим лагом 3-6 місяці із значущими кореляціями з індексом САК у січні та квітні ( $R = -0.6, -0.8$ ).

Інші індекси також показують збереження значущих трендів та крос-кореляційного зв'язку на різних часових масштабах, зокрема Західно-Європейський індекс показує відчутне зниження у тепле півріччя за період



**Рис. 4.** Багаторічна зміна аномалії індексу Східно-Атлантичного коливання (гПа), літні місяці, середнє, екстремуми (А); коефіцієнт кореляції (асинхронний, ковзний з постійним вікном 15 років) між середнім місячним індексом САК (січень-березень) та аномалією кількості опадів півночі України, червень 1951-2020 рр. (горизонтальна вісь – середина кореляційного вікна) (Б).

**Fig. 4.** Long-term change in the East Atlantic Oscillation index anomaly (hPa), summer months, average, extremes (A); correlation coefficient (asynchronous, sliding with a constant window of 15 years) between the average monthly index (January-March) and the precipitation anomaly in the northern Ukraine, June 1951-2020 (horizontal axis – middle of the correlation window) (B).



**Рис. 5.** Багаторічна зміна аномалії індексу Середземноморського коливання у літні місяці, середнє, екстремуми, лінійний тренд (А); Коефіцієнт кореляції (асинхронний, ковзний з постійним вікном 15 років) між середнім місячним індексом (січень, квітень) та аномалією кількості опадів півночі України, липень 1951-2020 рр.

**Fig. 5.** Long-term change in the anomaly of the Mediterranean Oscillation index in the summer months, average, extremes, linear trend (A); Correlation coefficient (asynchronous, sliding with a constant window of 15 years) between the average monthly index (January, April) and the anomaly of the amount of precipitation in the north of Ukraine, July 1951-2020 yrs.

2001–2020 рр, відбиваючи посилення антициклону над Східною Європою та інтенсивності блокування над північню Європи. Аналогічні зміни підтверджуються додатнім трендом Північноморсько-Каспійського індексу і Гренландського індексу блокування з посиленням меридиональності над східною Європою (Molavi-Arabshahi, 2016). Позитивна фаза цієї моделі пов'язана з температурою повітря нижчою за норму та значними атмосферними опадами над Скандинавією та східною Європою.

Наявність певних значущих тенденцій, стійкої трендової складової регіональних атмосферних індексів, а також значущі асинхронні зв'язки з аномаліями кількості опадів у літні місяці можуть бути використані для складання сезонних прогнозів. Зокрема, найкращі асинхронні зв'язки з аномаліями кількості опадів у літні місяці знайдені для індексів Східно-Атлантичного та Середземноморського коливання з часовим зсувом 3-5 місяці, тобто аномалії індексів у попередні сезони можуть бути враховані при побудові методів альтернативного прогнозу та використані для складання довгострокових прогнозів.

#### 4. Обговорення

На кінець ХХ-го ст. і на початку ХХІ-го відзначається значна нестійкість характеру опадів в часі та просторі, як в Україні, так і на більшості території Європи. Однак, незважаючи на складний плямистий характер літніх опадів через конвекцію, можливо визначити певні тенденції та внутрішньосезонні відмінності.

Якщо впродовж минулого століття найбільший приріст кількості опадів відзначався на початку фази сучасного потепління, то сучасна тенденція пов'язана з від'ємною аномалією, проте характер значних опадів має внутрішньосезонні відмінності.

У порівнянні із результатами, отриманими до 2005 р., кількість випадків сильного дощу та просторовий розподіл зростали і досягли максимуму у 2001–2010 рр. Сучасна тенденція дещо змінилась, узгоджуючись з негативним глобальним трендом, із деяким сезонним перерозподілом добових характеристик.

Враховуючи негативний тренд загальної та максимальної кількості опадів у літні місяці, зростання добової інтенсивності опадів у червні, і зменшення у липні-серпні, встановлено що внесок інтенсивних опадів у загальну кількість у червні найбільший, а у серпні найменший. Таким чином, на відміну від висновків роботи (Polonsky, 2013), в нашому дослідженні отримана внутрішньосезонна мінливість характеристик літніх опадів.

Іншим наслідком значних опадів є формування умов паводків в Українських Карпатах, які відзначаються регулярно протягом останніх 20-ти років: 2008 р. (липень), 2013 р. (вересень), 2020 р. (червень), причому у місяці, які характеризуються дефіцитом опадів. Це може призвести до підйому вод басейну Дністра та Південного Бугу та збільшення навантажень на гідротехнічні

споруди. Враховуючи поточну мінливість клімату з тенденцією до потепління та особливості атмосферних процесів, у найближчі роки на фоні підвищення ймовірності посушливих явищ залишається висока ймовірність сильних паводків і повеней у Карпатах, навіть за умови зменшення загальної кількості опадів.

Незважаючи на зростаючий ступінь посушливості у теплий період, в останні десятиріччя Україні вдається збирати хороші врожаї. Так, наприклад, у 2021 р. було зібрано рекордний урожай зернових, бобових та олійних – 106 млн. т (<https://interfax.com.ua/news/economic/787442.html>). Це сприяє сталому розвитку сільського господарства та продовольчої безпеки.

Відмінність тенденцій кількості атмосферних опадів та вологовмісту в атмосфері у останні 30 років пояснюється прямим впливом глобального потепління, оскільки нагрівання приземного шару призводить до більшого випаровування і висихання поверхні, тим самим збільшуючи інтенсивність і тривалість посухи (Trenberth, 2011). Однак, водоутримуюча здатність повітря збільшується приблизно на 7 % на 1°C потепління, що призводить до збільшення вмісту водяної пари в атмосфері і свідчить про збереження потенціалу опадів.

Сучасні тенденції атмосферних опадів відповідають зміні атмосферної циркуляції з підвищенням атмосферного тиску на більшій частині Європи, особливо після кліматичного зсуву у 1980-х рр. через перехід Ель-Ніньо у переважно теплу фазу (Luo et al, 2019; Hare Steven 2000). Для АЕС це відображає посилення антициклогенезу через розширення зони дії субтропічних максимумів і зміщення зони дії ПАК на північний схід (Hurrell, 2003).

Знайдені важливі у прогностичному плані значущі тренди та асинхронні кореляційні зв'язки атмосферних індексів можуть бути використані для діагнозу та прогнозу погодних умов у літньому сезоні. Найкращі приклади показані для САК, а також для Середньоземноморського коливання. Значні опади влітку, пов'язані із переміщення циклонів із заходу, найкращим чином діагностуються за допомогою ПАК і САК, а за активізації південних циклонів або Чорноморської депресії – за Середньоземноморським коливанням. Паралельно показано, що часова мінливість крос-кореляції обох індексів може бути використана для оцінки зміни кліматичних періодів.

#### 5. Висновки

Досліджено особливості багаторічних зміни характеристик атмосферних опадів та розподіл сильних дощів категорій НМЯ на території України у літньому сезоні впродовж сучасного періоду глобального потепління на основі порівняння із попередніми дослідженнями, проведеними до 2005 р.

Багаторічна зміна кількості атмосферних опадів у літній сезон, за даними реаналізу, загалом відповідає даним вимірювань, показуючи негативну динаміку

впродовж останніх десятиліть, відображаючи зміну фази головного внутрішнього кліматотворчого чинника Ель-Ніньо. Кількість випадків з опадами НМЯ досягла максимуму у 2001-2010 рр., водночас найбільша повторюваність явищ характерна саме для липня. У останньому десятиріччі їх кількість дещо знизилась, причому територія охоплення також скоротилась, аніж у інші роки.

Загалом для літнього сезону відзначається найбільший дефіцит атмосферних опадів у серпні разом із зменшенням добових максимумів та кількості днів з опадами, а найменше зниження кількості опадів фіксується на початку літа у червні разом із збільшенням інтенсивності добових опадів. Виявлено внутрішньосезонну мінливість значних опадів, причому їх внесок у загальну кількість зростає тільки у червні.

Збереження вологовмісту атмосфери на фоні дефіциту атмосферних опадів свідчить про утримання потенціалу опадів для України, а можливим наслідком цього може бути збереження ймовірності паводків та підйому рівня річок, особливо у гірських районах.

Проведений аналіз мінливості регіональних атмосферних індексів продемонстрував наявність певних значущих тенденцій, стійкої трендової складової, зокрема посилення Північно-Атлантичного коливання та його східного аналога – Середземноморського коливання. Найкращі асинхронні зв'язки з аномаліями кількості опадів у літні місяці знайдені для індексів з часовим зсувом 3-5 місяці. Серед інших індексів, що також мають прогностичний потенціал, зазначено індекс Східно-Європейського та Північноморсько-Каспійського коливання. Застосований статистичний апарат ковзної кореляції може бути використано для оцінки зміни кліматичних епох.

## ORCID iD

Vladyslav Ye. Tymofeiev  <https://orcid.org/0000-0001-7843-6419>

## Список посилань

- Agbo, E. P. (2021). The role of statistical methods and tools for weather forecasting and modeling. *Weather Forecasting*. IntechOpen, 3-22.
- Barabash, M. B., Tatarchuk O. H., Hrebenuk N. P., Korzh T. V. (2010). Osoblyvosti rezhymu opadiv na terytorii Ukrainy v umovakh suchasnoho klimatu. *Phys. Geogr. Ta Geomorph.*, 3 (60), 254. [Барабаш, М. Б., Татарчук, О. Г., Гребенюк, Н. П., Корж, Т. В. (2010). Особливості режиму опадів на території України в умовах сучасного клімату. *Фізична географія та геоморфологія*. Вип.3 (60), 254.].
- Hare, S. R., & Mantua, N. J. (2000). Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Progress in Oceanography*, 47(2-4), 103-145.
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., ... & Zougmore, R. B. (2018). Impacts of 1.5 °C global warming on natural and human systems. Global warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context

of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. *Cambridge University Press*, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 175-312.

- Hurrell, J. W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269(5224), 676-679.
- Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G., & Visbeck, M. (2003). An overview of the North Atlantic oscillation. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 134, 1-36.
- Khomenko, G. V., Sosmiy, E. V. (2017). Vysotni tsyklony ta yikh vplyv na pohodni umovy v Ukraini. *Physical geography and geomorphology*, 2(86), 85-89. [Хоменко, Г. В., Сосмії, Є. В. (2018) Висотні циклони та їх вплив на погодні умови в Україні, *Фізична Географія та геоморфологія*, 2(86), 85-89.].
- Klymat Ukrainy*. Eds.: M. V. Lypynsky, V. M. Babychenko, V. M. Diachuk. (2003). [Клімат України. Під ред. М. В. Липинського, В. М. Бабиченко, В. М. Дячука, Київ, 2003].
- Luo B. W. X, Young-Min Y., and Jian Liu. (2019). Historical change of El Niño properties sheds light on future changes of extreme El Niño. *Earth, atmospheric, and planetary sciences*, 116, № 45, 22512-22517.
- Marsz, A. A., Matuszko, D., & Styszyńska, A. (2022). The thermal state of the North Atlantic and macro-circulation conditions in the Atlantic-European sector, and changes in sunshine duration in Central Europe. *International Journal of Climatology*, 42(2), 748-761.
- Martazinova, V. F., Ivanova, E. K., Chayka, D. U. (2007). Zmina atmosfernoi tsyrkuliatsii u Pivnichnii pivkuli protiahom periodu hlobalnoho poteplinna u 20 stolitti Ukr. Geogr. J., № 3, 10-20. [Мартазинова, В. Ф., Иванова, Е. К., Чайка, Д. Ю. (2007). Зміна атмосферної циркуляції у Північній півкулі протягом періоду глобального потепління у XX столітті, *Укр. геогр. журн.*, № 3, 10-20].
- Martin-Vide, J., & Lopez-Bustins, J. A. (2006). The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(11), 1455-1475.
- Molavi-Arabshahi, M., Arpe, K., & Leroy, S. A. G. (2016). Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last 55 years: Their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena. *International Journal of Climatology*, 36(5), 2156-2172.
- Muravev, A. V. (2011) Vzaymosviaz summarnykh osadkov nad Evrazyei s tsestramy deistviya atmosfery Severnogo polusharyia y glavnyimi modami yzmenchivosty temperatury poverkhnosti Severnoi Atlantyky. *Meteorologiya y gidrologiya*, № 4, 5-16 [Муравьев, А. В. (2011). Взаимосвязь суммарных осадков над Евразией с центрами действия атмосферы Северного полушария и главными модами изменчивости температуры поверхности Северной Атлантики. *Метеорология и гидрология*, № 4, 5-16].
- Nastanova po sluzhbi prohoziv ta poperedzhen pro nebezpechni i stykhiini hidrometeorologichni yavushcha pohody* (2003), 30. [Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні гідрометеорологічні явища погоди. К: Укр ГМЦ, 2003, 30].
- Polonskyi, A. B., Voskresenskaia, E. N., Vyshkvarkova, E. V. (2013). Prostorovo-chasova minlyvist intensyvnykh opadiv na terytorii Ukrainy ta yikh zviazok iz zminamy klimatu / *Dop. Nat. Academy Sci.*, № 7, 102-107. [Полонский, А. Б., Воскресенская, Е. Н., & Вышкваркова, Е. В. (2013). Пространственно-временная изменчивость интенсивных осадков на территории

- України и их связь с изменениями климата. *Доносиді НАН України*. № 7, 102-107].
- Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Tignor, M., Alegria, A., ... & Okem, A. (2022). *IPCC, 2022: Summary for policymakers*.
- Przybylak, R., Majorowicz, J., Brázdil, R., & Kejan, M. (Eds.). (2009). *The Polish climate in the European context: an historical overview*. Springer Science & Business Media.
- Rybchenko, L.S., Savchuk, S.V. (2022). Potencial helioenergetychnykh klimatychnykh resursiv soniachnoi radiatsii v Ukraini. *Ukr. Geogr. J.*, № 1, 16-23 [Рибченко, Л.С. (2022). Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні. *Укр. Геогр. журнал*, № 1, 16-23].
- Savchuk, S. V., Tymofeiev, V. Ye., Yuvchenko, N. M. (2018). Synkhronni ta asynkhronni zviazky mizh anomaliiamy temperatury Raionuvannya Ukrainy po vplyvu ekstremalnykh znachen maksimalnoi temperatury povitria u teplyi ta kholodnyi periody roku. *Ukr. Hydromet. J.*, 22. 46-56. [Савчук, С. В. (2018). Районування України по впливу екстремальних значень максимальної температури повітря у теплий та холодний періоди року. *Український гідрометеорологічний журнал*, 22, 46-56].
- Scherban, M. (1991). *Klimat ta vrozhai na Ukraini*. [Щербань, М. І. (1991). *Клімат і врожаї на Україні*. К.: Знання, 32].
- Stykhiini meteorolohichni yavushcha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsiatyrichchia 1986-2005* (2006). Eds.: M. Lipinsky, V. Babichenko. 311. [Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя 1986-2005 рр. Під ред. М. В. Ліпінського, В. М. Бабіченко, К., Ніка центр, 311].
- Syzov, A. A., Chekhlan, A. E. (2010). Anomalii hidrometeorolohichnykh poliv u raioni Chornoho moria poviazani z hradientamy temperatury poverkhni vodu u Pivnichnii Atlantytsi. *Meteorolohiya i hydrolohyia*, № 3, 65-74. [Сизов, А. А. (2010). Аномалії гідрометеорологічних полів у районі Чорного моря пов'язані з градієнтами температури поверхні води у Північній Атлантиці. *Метеорологія і гідрологія*. № 3, 65-74].
- Tarariko, O. G., Ilyenko, T. V., Kuchma, T. L. (2016). Vplyv klimatychnykh zmin na produktyvnist ta valovi zbory zernovykh kultur: analis ta prognoz. *Ukr. geogr. J.*, 2016, (1),14-21. [Тараріко, О. Г. (2016). Вплив кліматичних змін на продуктивність та валові збори зернових культур: аналіз та прогноз. *Укр. Геогр. журнал*, 1, 14-22].
- Trenberth, K. E., Dai, G. van der Schrier, Jones P. D., Barichivich J., Briffa K. R., Sheffield, J. (2014): Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4, 17-22.
- Tymofeiev, V. Ye., Tatarchuk, O. H. (2017). Sylni zlyvy na terytorii Ukrainy na rubezhi 20 stolit. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ser: Geography*, 1(66), 89-93. [Тимофеев, В. Є., Татарчук, О. Г. (2017). Сильні зливи на території України на рубежі XX-XI століть. *Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка, Сер. Географія*, 1(66), 89-93].
- Vyazilova, N. (2012). Tsyklonichna aktyvnist ta kolyvannia tsyrkuliatsii v Pivnichnii Atlantytsi. *Meteorolohiya u hydrolohyia*, № 7, 5-14 [Вязилова, Н. А. (2012) Циклонічна активність та коливання циркуляції в Північній Атлантиці. *Метеорологія и гидрологія*, № 7, с. 5-14].
- Wang, B., Luo, X., Yang, Y. M., Sun, W., Cane, M. A., Cai, W., ... & Liu, J. (2019). Historical change of El Niño properties sheds light on future changes of extreme El Niño. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116 (45), 22512-22517.
- Zabolotska, T. M., Shpytal, T. M. (2012). Kharakterystyka umov rozvytku tryvalykh zlyv ta hroz u rizni sezony 2012 roku. *Proc. UHMI*, 263, 44-65. [Заболоцька Т. М., Шпиталь, Т. М. (2012). Характеристика умов розвитку тривалих злив та гроз у різні сезони 2012 року. *Наук праці УкрНДІГМІ*, 263, 44-65].