

# Аналіз часового ходу індексу HDW для Чорнобильської зони відчуження за період 2000–2021 років

Руслан Коваль 

Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

## Реферат

Зміна клімату стала великою загрозою у XXI столітті, особливо через її вплив на лісові екосистеми та пожежну активність. Лісові пожежі у зоні Чорнобильської аварії є серйозною проблемою, що загрожує екосистемам та життю людей, враховуючи високий рівень радіаційного забруднення. Ліси Чорнобильської зони регулярно зазнають пожеж, що часто виходять з-під контролю. Одним із важливих інструментів для аналізу несприятливих атмосферних умов, що сприяють пожежам, є індекс Hot-Dry-Windy (HDW). Цей індекс поєднує дані про швидкість вітру, температуру та вологість, що дозволяє визначити дні, коли ризик пожежі зростає. Метою даного дослідження є аналіз часового ходу індексу Hot-Dry-Windy (HDW) за період 2000–2021 років та його впливу на ризик виникнення пожеж у Чорнобильській зоні відчуження. У даній роботі ми використовуємо дані реаналізу ERA5, надані Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF), та супутникові дані MODIS та VIIRS від NASA для розрахунку індексу HDW для Чорнобильської зони відчуження. Використання сучасних методів обробки та аналізу кліматичних даних дозволяє отримати точні та надійні результати, які можуть бути використані для подальших досліджень та впровадження у практику. Аналіз часового розподілу місячних значень індексу HDW за період з 2000-го по 2021-ий рік показав залежність від сезонних змін, при цьому найбільші значення індексу HDW спостерігалися в літні місяці, а мінімальні – взимку. Також було виявлено, що індекс HDW має тенденцію до зростання протягом останніх десятиліть, що, можливо, пов'язано з глобальними змінами клімату. Проведений аналіз також підтвердив зв'язок між високими значеннями індексу HDW та виникненням пожеж, особливо коли значення індексу перевищує 95-й перцентиль. Отримані результати аналізу індексу HDW для Чорнобильської зони відчуження є важливими для розуміння динаміки пожежної активності та впливу кліматичних змін на цю територію.

## Ключові слова

Зміна клімату, тенденції лісових пожеж, індекс пожежної небезпеки, пожежна небезпека, лісові пожежі, небезпека пожеж, Чорнобильська зона відчуження

Надійшла до редакції: 10 червня 2024 / Прийнята: 22 липня 2024 / Опублікована онлайн: 7 серпня 2024

## Analysis of the Temporal Trend of HDW Index for the Chernobyl Exclusion Zone during 2000–2021 yrs

Ruslan Koval

Odesa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odesa, 65016, Ukraine

## Abstract

Climate changes have become a significant threat in the 21st century, particularly due to its impact on the forest ecosystems and the fire activity. Forest fires in the Chernobyl Exclusion Zone are a serious problem that endangers ecosystems and human life. Given the high level of radiation contamination, the forests of the Chernobyl zone regularly experience fires that often escalate beyond control. One of the crucial tools for analyzing adverse atmospheric conditions contributing to fires is the Hot-Dry-Windy (HDW) index. This index combines data on wind speed, temperature, and humidity; allowing for the identification of days with an increased fire risk. The aim of this study is to analyze the temporal dynamics of the Hot-Dry-Windy (HDW) index for the period of 2000–2021 yrs and its impact on the fire risk in the Chernobyl Exclusion Zone. In this work, we use ERA5 reanalysis data provided by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), as well as satellite data from MODIS and VIIRS by NASA, to calculate the HDW index for the Chernobyl Exclusion Zone. Utilization of modern methods of climate data processing and analysis enables us to obtain accurate and reliable results that can be used for further research and practical implementation. The analysis of the monthly distribution of HDW index values from 2000 to 2021 yrs revealed a dependence on seasonal changes, with the highest HDW index values observed in summer months and the lowest in winter. It was also found that the HDW index shows a tendency to increase over the last decades, possibly linked to the global climate changes. The conducted analysis also confirmed a correlation between high HDW index values and fire occurrences, especially when the index value exceeds the 95th percentile. The results obtained from the analysis of the HDW index for the Chernobyl Exclusion Zone are crucial for understanding the dynamics of the fire activity and the impact of climate changes on this territory.

## Ключові слова

Climate change, wildfire trends, fire danger Index, fire danger, wildfires, fire danger, the Chernobyl Exclusion Zone

Received: 10 June 2024 / Accepted: 22 July 2024 / Published online: 7 August 2024

## Corresponding author:

Ruslan Koval, Odesa State Environmental University, 15 Lvivska str., Odesa, 65016, Ukraine  
Email: ruslanmw97@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

Зміна клімату є однією з найгостріших проблем, що стоять перед людством у XXI столітті. Зростаючі температури, зміни у розподілі опадів та частота екстремальних погодних явищ створюють значні виклики для суспільства, екосистем та економік по всьому світу. Особливо тривожним є збільшення кількості і масштабів лісових пожеж, які завдають значної шкоди навколишньому середовищу, майну та здоров'ю людей. У цьому контексті важливість вивчення і розуміння взаємозв'язку між кліматичними показниками та пожежною активністю не може бути переоцінена.

Лісові пожежі стали значним і регулярним природним явищем у Чорнобильській зоні відчуження. Через радіоактивне забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС ці пожежі становлять значну екологічну загрозу не лише для лісових екосистем, а й для прилеглих до них територій проживання людей. У лісах Українського Полісся, розташованих у зоні радіаційного забруднення, найбільш уразливими до пожеж є молоді насадження та середньовікові монокультури сосни в сухих і свіжих типах місцезростання. Оскільки ліси належать до категорії особливо небезпечних (I клас), у цих лісах регулярно виникають пожежі, які часто набувають неконтрольованого характеру. На це явище впливають як антропогенні фактори, так і природна динаміка лісових пожеж, які завжди відігравали вирішальну роль у сукцесії лісів (Levchenko et al, 2020).

Ліси Чорнобильської зони відчуження займають загальну площу 240 570 га і перебувають у підпорядкуванні Державного спеціалізованого комплексного підприємства (ДСП) «Чорнобильська пуща». До складу цього підприємства входять сім лісництв. Площа лісових ділянок становить 211,4 тис. га (83,1 %), а нелісових – 29,2 тис. га (12,1 %). Лісисті території включають 151 тис. га (74,1 %) вкритих лісовою рослинністю та 60,4 тис. га (25,9 %) непокритих лісовою рослинністю ділянок. Більшість непокритих територій (93,2 %, або 56,3 тис. га) складається із багаторічної трав'яної рослинності та природного лісовідновлення (Zibitsev et al, 2021).

Дослідники займаються розробкою та уточненням критеріїв, які відображають імовірність виникнення пожеж. Проте створити показник, ідеально відповідний фактичній кількості пожеж, не вдається: по-перше, через різноманітність умов, характерних для виникнення вогняної стихії, та поєднання різних факторів, включаючи антропогенні; по-друге, через нестачу та високу дискретність вихідних даних спостережень природних параметрів. У Канаді з 1925-го року федеральний уряд почав досліджувати безпеку лісових пожеж. З того часу було розроблено п'ять різних систем оцінки, що стали все більш універсальними. Нині використовується Канадська система оцінки безпеки лісових пожеж (CFFDRS), що розробляється з 1968 року. Ця система включає Канадську систему індексу погодних умов лісових пожеж (FWI), яка допомагає в оцінці ризику виникнення пожеж на основі метеорологічних даних. Також в системі є підсистема прогнозування поведінки пожеж (FBP) та

прогнозування виникнення пожеж (FOP). FWI враховує різні фактори, такі як вплив погодних умов на вразливість лісу до пожеж та водний режим ґрунту, для більш точної оцінки ризику в різних регіонах. В Австралії найбільш поширеними є дві системи оцінки лісопожежної небезпеки: показник лісопожежної небезпеки (Forest Fire Danger Index – FFDI) МакАртура (1966; 1967), який використовується у східній частині Австралії, а також таблиці динаміки лісових пожеж (Forest Fire Behaviour Tables – FFBT), що використовуються у Західній Австралії. Найбільш популярним методом визначення пожежної небезпеки в Іспанії є ICONA. Він не є кумулятивним та призначений для визначення ризику виникнення пожежі. У Португалії для оцінки пожежонебезпеки з 1987-го року застосовується метод, у якому використовується метеорологічний кумулятивний показник, котрий є модифікованою версією показника Нестерова (Khodakov et al, 2011).

Україна використовує комплексний показник пожежної небезпеки, розроблений В. Г. Нестеровим (1949) у 40-х роках минулого століття. Цей показник враховує вплив температури повітря і дефіциту вологи на висихання лісових горючих матеріалів під час бездошового періоду і характеризує ступінь посушливості погоди. Однак, цей підхід мав недоліки, такі як неврахування кліматичних особливостей, швидкості вітру і грубу поправку на кількість опадів, що призводило до похибок у визначенні пожежонебезпечного періоду та ступеня пожежної небезпеки (Ivus, 2012).

В сучасних дослідженнях більше уваги приділяється оцінці стану та запасам лісових горючих матеріалів (Hurzhii et al, 2021), лісорослинних та ландшафтних умов лісових територій (Soshenskyi et al, 2021; Sorokina et al, 2020) тощо.

Досліджуваний індекс Hot-Dry-Windy (McDonald et al, 2018; Srock et al, 2018) був розроблений, щоб допомогти користувачам визначити, в які дні більш імовірно будуть несприятливі атмосферні умови, які ускладнюють боротьбу з пожежами у природних екосистемах. Він поєднує дані про метеорологічні умови на підстильній поверхні та нижніх шарах атмосфери, надаючи первинну оцінку для визначення таких днів. Використання індексу Hot-Dry-Windy (або скорочено HDW), заснованого на швидкості вітру, помноженій на дефіцит вологості (VPD), гарантує його застосовність в будь-якій точці земної атмосфери. Оскільки і швидкість вітру, і температура та вологість є параметрами, які можна спостерігати або симулювати у будь-якій місцевості.

## 2. Матеріали і методи

Для проведення дослідження використовувались дані реаналізу ERA5, які надаються Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF) за допомогою платформи Copernicus (Hersbach et al, 2023). Досліджуваний період: з 2000-го по 2021-ий рік. Використовувались щоденні дані, час спостереження обрано на 12 UTC, оскільки саме в цей час зазвичай

спостерігається максимальна температура повітря за добу. Використовувалися такі змінні: температура повітря (T), точка роси (Td), векторні складові горизонтальної швидкості вітру (компонента вітру u та v) та відносна вологість (RH). Горизонтальна роздільна здатність вихідних даних складає  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ . Для аналізу індексу HDW для території Чорнобильської зони відчуження було обрано та усереднено точки, які найбільш точно відповідають географічним координатам Чорнобильської зони відчуження. Це має раціональне обґрунтування, оскільки незважаючи на значну площу зони, різниця між обраними точками є мінімальною з точки зору аналізу даних протягом тривалого періоду. Для аналізу пожеж використовувалися не усереднені дані, а точка, яка відповідає місцю виникнення пожежі.

Індекс HDW був розрахований за кілька етапів. Першим кроком у розрахунку HDW є розрахунок дефіциту тиску пари (VPD). Цей показник відображає різницю між кількістю водяної пари, яка може знаходитися в повітрі при даній температурі (тиск насичення,  $E_s$ ), та фактичною кількістю водяної пари (фактичний тиск,  $E_q$ ).

$$VPD = E_s - E_q \quad (1)$$

Тиск насичення водяної пари ( $E_s$ ) розраховувався для кожного рівня з використанням формули (WMO, 2008):

$$E_s = 6,112 \times \exp\left(\frac{17,62 \times T}{243,12 + T}\right) \quad (2),$$

де T – температура повітря в градусах Цельсія ( $^\circ\text{C}$ ); 6,112 – константа, що представляє насичений тиск водяної пари при  $0^\circ\text{C}$ ; 17,62 – емпіричний коефіцієнт для знаходження залежності насиченого тиску пари від температури; 243,12 – константа, що враховує зміну температури та її вплив на властивості водяного пару.

Для розрахунку фактичного тиску водяної пари використовувалися різні підходи залежно від рівня. Для поверхні – фактичний тиск водяної пари розраховувався за формулою, аналогічною до формули для  $E_s$ , але з використанням точки роси (Td) замість температури повітря. Для рівнів тиску 975 гПа та 950 гПа, що відповідають певним висотам над поверхнею Землі, фактичний тиск водяної пари обчислювався як добуток відносної вологості (RH) на тиск насичення водяної пари ( $E_s$ ), поділений на 100:

$$E_q = \frac{RH \times E_s}{100} \quad (3)$$

Розрахунок швидкості вітру (wspd): Швидкість вітру обчислювалась для кожного рівня як квадратний корінь з суми квадратів компонентів вітру (u і v):

$$wspd = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4),$$

де u — горизонтальна складова вітру, що вимірюється в напрямку захід-схід; v - горизонтальна складова вітру, що вимірюється в напрямку північ-південь.

Після розрахунку VPD та швидкості вітру для всіх рівнів вибиралися максимальні значення серед усіх рівнів для подальшого розрахунку індексу HDW. Індекс HDW був розрахований як добуток дефіциту тиску водяної пари (VPD) та швидкості вітру (wspd). Важливо враховувати, що HDW має одиниці виміру  $\text{гПа} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ , які не мають прямого фізичного значення для процесів пожежі, тому автори цього індексу рекомендують для уникнення плутанини при використанні цього індексу одиниці виміру не застосовувати.

$$HDW = wspd \times VPD(T, q) \quad (5)$$

Отримані значення індексу HDW для території Чорнобильської зони відчуження записувалися у файл формату NetCDF для подальшого аналізу та візуалізації.

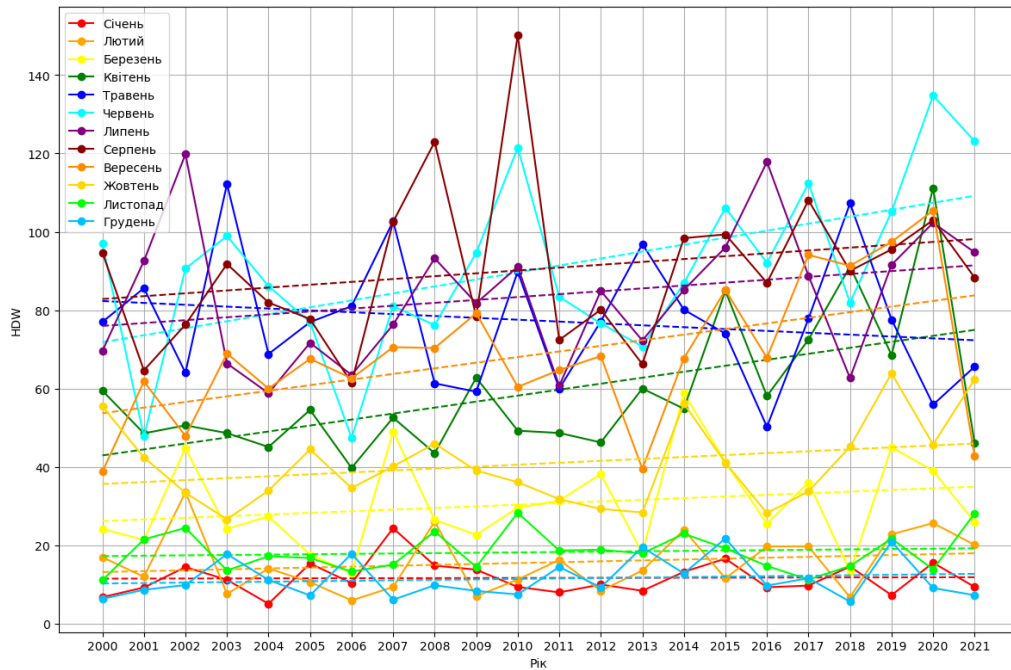
### 3. Результати та обговорення

Протягом 2000-2021 років розрахований для території Чорнобильської зони відчуження індекс HDW демонструє значні сезонні та річні коливання (рис. 1). В цілому, спостерігається тенденція до підвищення середніх місячних значень індексу HDW, окрім травня, в якому фіксується поступове зниження.

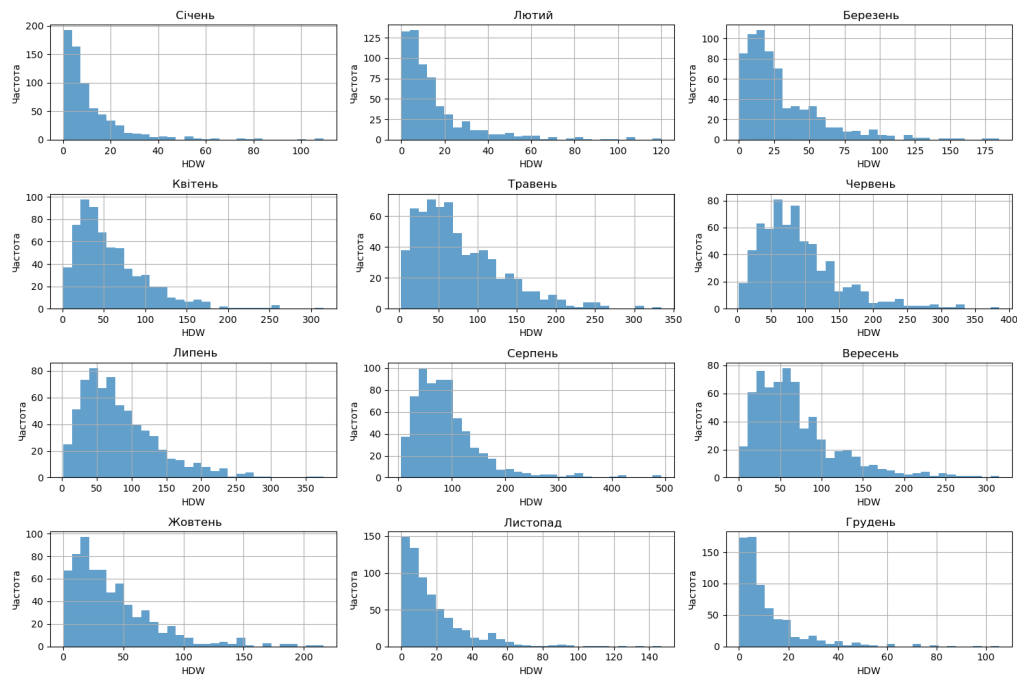
Аналіз середніх місячних значень HDW за 2000-2021 роки показує, що найбільші значення HDW спостерігаються в літні місяці, зокрема в липні та серпні. Це свідчить про значний вплив літніх теплових хвиль на кліматичні умови України. Зимові місяці традиційно демонструють низькі значення HDW, проте спостерігається невелика тенденція до поступового підвищення значень у зимовий період, що може свідчити про загальне потепління клімату.

У зимові місяці середні значення індексу HDW в Україні зазвичай залишаються на низьких рівнях, частіше за все менше 10. Це пов'язано з низькими температурами повітря взимку, які не сприяють виникненню пожеж. З приходом весни індекс HDW починає підвищуватися, особливо в кінці квітня і травні, коли температура повітря починає зростати. У цей період середнє місячне значення індексу може підніматися до 50 і більше, створюючи більш небезпечні умови для виникнення та поширення пожеж. Літні місяці характеризуються високими значеннями індексу HDW, особливо в липні і серпні, коли спека та сухість досягають піка. Індекс може перевищувати 100 і навіть 150, що робить цей період критично небезпечним для пожеж. З приближенням осені індекс HDW починає поступово знижуватися, але залишається вище середнього рівня, особливо на початку вересня і в кінці жовтня. У цей час індекс може коливатися від 20 до 60, що все ще є помітним ризиком для можливих пожеж.

Для аналізу розподілу індексу HDW для Чорнобильської зони відчуження за багаторічний період було побудовано діаграми місячного розподілу багаторічних значень індексу HDW (рис. 2), а також було описано сезонний розподіл, який поділений на діапазони значень.



**Рис. 1.** Середні значення індексу HDW за місяцями та роками для території Чорнобильської зони відчуження.  
**Fig. 1.** Average HDW index values by months and years for the Chernobyl Exclusion Zone territory.



**Рис. 2.** Місячний розподіл багаторічних значень індексу пожежонебезпечності HDW для території Чорнобильської зони відчуження.  
**Fig. 2.** Monthly distribution of the multi-year fire danger index HDW values for the Chernobyl Exclusion Zone territory.

Розподіл багаторічних значень індексу HDW у зимовий сезон показує, що переважна більшість значень знаходиться в діапазоні від 0 до 25, зокрема 1736 значень з 1973 (88,0 %). Значення у наступних діапазонах зменшуються: 170 значень у діапазоні від 26 до 50 (8,6 %), 45 значень у діапазоні від 51 до 75 (2,3 %), 15 значень у діапазоні від 76 до 100 (0,8 %) та 7 значень у діапазоні від 101 до 125 (0,4 %). Значення у вищих діапазонах (від 126 до 250) відсутні.

У весняний сезон розподіл багаторічних значень стає більш різноманітним: 649 значень знаходяться у

найнижчому діапазоні (36,5 %), 468 значень у діапазоні від 26 до 50 (26,3 %), 347 значень у діапазоні від 51 до 75 (19,5 %), 188 значень у діапазоні від 76 до 100 (10,6 %). Значення у вищих діапазонах продовжують зменшуватися: 125 значень у діапазоні від 101 до 125 (7,0 %), 72 значення у діапазоні від 126 до 150 (4,1 %), 48 значень у діапазоні від 151 до 175 (2,7 %), 23 значення у діапазоні від 176 до 200 (1,3 %), і по 10 значень у діапазонах від 201 до 225 і від 226 до 250 (0,6 % кожен).

В літні місяці багаторічні значення індексу HDW ще більше розподілені по діапазонах: 165 значень знаходяться

у найнижчому діапазоні (9,4%), 382 значення у діапазоні від 26 до 50 (21,7%), 385 значень у діапазоні від 51 до 75 (21,9%), 363 значення у діапазоні від 76 до 100 (20,6%). Значення у вищих діапазонах включають 238 значень у діапазоні від 101 до 125 (13,5%), 153 значення у діапазоні від 126 до 150 (8,7%), 87 значень у діапазоні від 151 до 175 (4,9%), 63 значення у діапазоні від 176 до 200 (3,6%), 37 значень у діапазоні від 201 до 225 (2,1%) та 27 значень у діапазоні від 226 до 250 (1,5%).

Розподіл індексу HDW у осінній сезон показує, що найбільше значень знаходиться у найнижчому діапазоні (0-25): 893 значення з 1943 (46,0%). Наступні діапазони мають: 458 значень у діапазоні від 26 до 50 (23,6%), 292 значення у діапазоні від 51 до 75 (15,0%), 138 значень у діапазоні від 76 до 100 (7,1%), 59 значень у діапазоні від 101 до 125 (3,0%), 54 значення у діапазоні від 126 до 150 (2,8%), 23 значення у діапазоні від 151 до 175 (1,2%), 13 значень у діапазоні від 176 до 200 (0,7%), 8 значень у діапазоні від 201 до 225 (0,4%) та 5 значень у діапазоні від 226 до 250 (0,3%).

Одним із ключових аспектів цього дослідження було вивчення взаємозв'язку між індексом HDW та випадками

пожеж на території України. Для цього були використані дані супутникового моніторингу пожеж MODIS та VIIRS від NASA (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>), які надають інформацію про місцезнаходження, час та інтенсивність пожеж. Також для розуміння хронології та масштабів пожеж були використані дані ДСНС України (<https://dsns.gov.ua/operational-information/arxiv-dovidok-za-dobu/>).

Для оцінки ступеня пожежонебезпечності використовуються перцентилі індексу HDW, які охоплюють діапазон від 25 до 95. Цей підхід дозволяє провести детальний аналіз поточних значень індексу в контексті його типових кліматичних показників. Перцентилі індексу HDW розраховані для кожного дня в році протягом періоду дослідження (рис. 3).

За даними ДСНС України, 4 квітня 2020 року у Зоні відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення поблизу с. Володимирівка Котовського лісництва виникла верхова лісова пожежа на площі близько 20 гектарів (рис. 4). Розрахований індекс пожежонебезпечності HDW 4-го квітня становив 103,33 та перевищував 95-й перцентиль. 7 квітня пожежа трав'яного настилу та

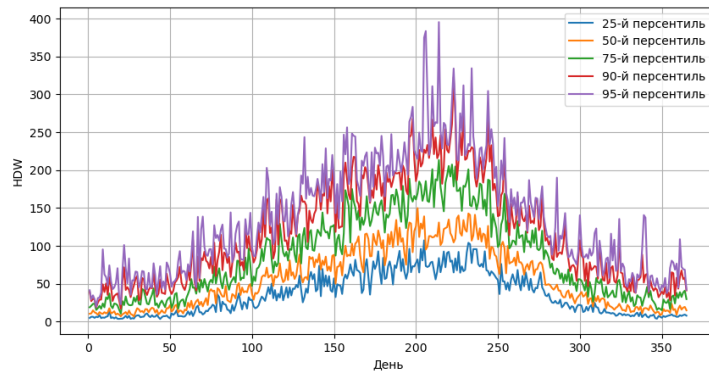


Рис. 3. Добовий хід перцентилів індексу пожежонебезпечності HDW для території Чорнобильської зони відчуження.  
Fig. 3. Daily percentiles of the fire danger index (HDW) for the Chernobyl Exclusion Zone territory.

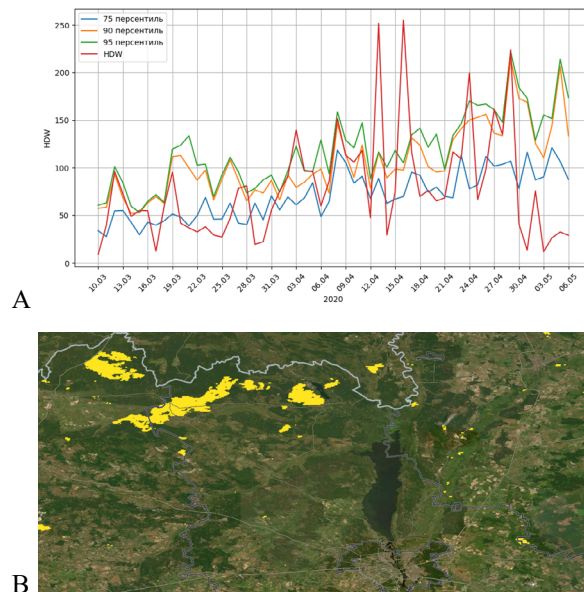
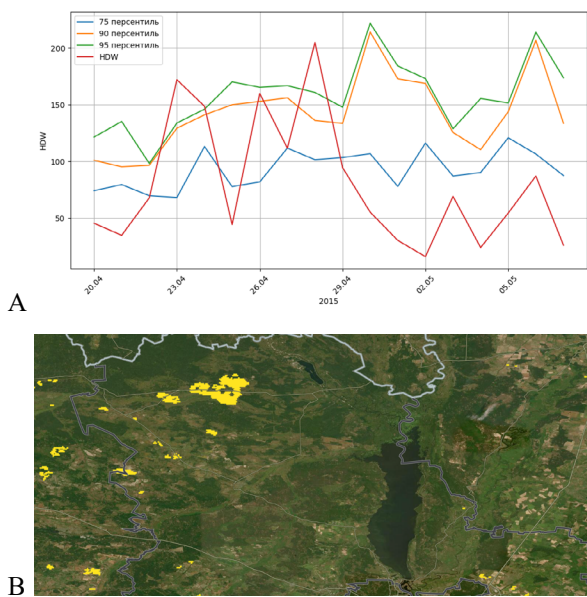


Рис. 4. А – Добовий хід індексу HDW (точка 51,25° пн. ш., 29,75° сх. д.) та його перцентилів під час квітневої пожежі у 2020 р.; В – зони вигорання у Чорнобильській зоні відчуження за квітень місяць 2020 р.  
Fig. 4. А – The daily dynamics of the HDW index (51.25° N, 29.75° E) and its percentiles during the April 2020 fire; В – burnt areas in the Chernobyl Exclusion Zone for April 2020.

лісової підстилки продовжувалась між смт Поліське та с. Володимирівка на площі близько 6,5 гектарів, а також поблизу села Рудня-Осошня на площі близько 4 гектарів, індекс HDW у цей день мав значення 85,75 і перевищував 90-й перцентиль. 13 квітня вогонь пройшов станцію Янів та дістався Прип'яті. Пожежу в Котовському лісництві було повністю ліквідовано. Значення індексу HDW становило 269,70 та значуще перевищувало 95-й перцентиль. 14 квітня виявлено нові загоряння в с. Крива Гора Паришівського лісництва та в районі станції Янів Лубянського лісництва. Індекс HDW дорівнював значенню 32,94, що менше 25-го перцентилу, оскільки у цей день відбувалося похолодання, а швидкість вітру була відносно невеликою. 16 квітня вогонь відновився через сильний вітер. Основні осередки тління знаходились в районі с. Новий Мир, Кливини, Весняне, Вільшанка, Красне та Бовище. Індекс HDW мав аномальне високе значення, що значно перевищувало 95-й перцентиль та становило 285,46. 17 квітня тривало гасіння осередків тління в Корогодському, Дитятківському, Паришівському та Денисовицькому лісництвах. Індекс HDW дорівнював 133,90, що перевищувало 90-й перцентиль. Станом на 2 травня Пожежі у лісових масивах Зони відчуження локалізовані. Значення індексу HDW становило 74,52 та перевищувало 50-й перцентиль.

28 квітня 2015 року на території комплексу лісового господарства «Чорнобильська пуща» у Зоні відчуження поблизу с. Буряківка, Рудня-Іллінецька, Глинка та Лубянка Іванківського району на площі близько 320 га виникла лісова пожежа (рис. 5). 29 квітня фронт пожежі був оточений і зупинений. Значення індексу HDW становило 204,78, що перевищувало 95-й перцентиль. 29 квітня пожежу було локалізовано, значення індексу HDW дорівнювало 95,58, що перевищувало 50-й перцентиль.



**Рис. 5.** А – Добовий хід індексу HDW (точка 51,50° пн. ш., 30,00° сх. д.) та його перцентилів під час квітневої пожежі у 2015 р.; В – зони вигорання у Чорнобильській зоні відчуження за квітень місяць 2015 р.

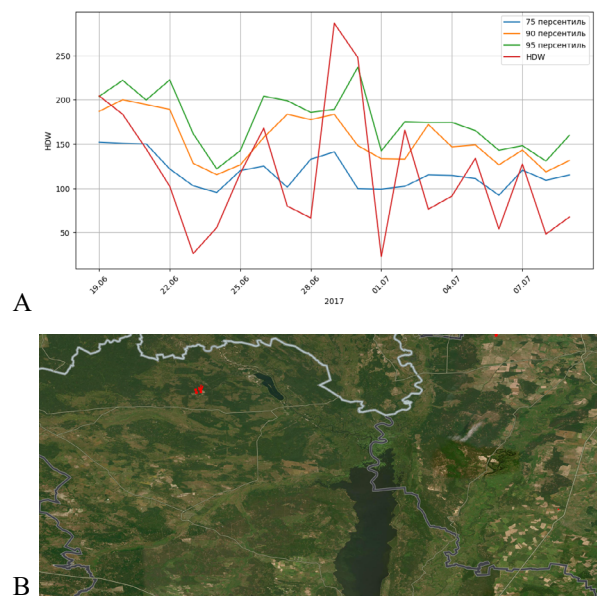
**Fig. 5.** А – Daily variation of the HDW index (51.50° N, 30.00° E) and its percentiles during the April 2015 fire; В – burnt areas in the Chernobyl Exclusion Zone for April 2015.

30 квітня поширення вогню не спостерігалось, у межах контрольованого периметру тривало гасіння окремих осередків загорянь лісової підстилки на загальній площі близько 70 га. Значення індексу HDW цього дня становило 55,3, що відповідало 50-му перцентилу. 1 травня осередків відкритого вогню не спостерігалось. Станом на 2 травня пожежу було ліквідовано, значення індексу HDW становило 30,46, що перевищувало 50-й перцентиль.

У зоні відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення 29 червня 2017 р. поблизу с. Буряківка на території ДСП «Північна Пуща» під час проведення технологічної рубки лісу сталося загорання порубкових решток деревини та лісової підстилки на площі близько 25 га (рис. 6). Індекс HDW перевищує 95-й перцентиль, та дорівнює 276,4. 30 червня площа пожежі складає близько 25 га. 1 липня продовжувалось гасіння окремих тліючих осередків.

#### 4. Висновки

Аналіз часового ходу місячних значень HDW за 2000-2021 роки показує залежність значень індексу HDW від сезонних змін, а саме найбільші значення HDW спостерігаються в літні місяці, мінімальні ж спостерігаються взимку. Також було виявлено, що індекс HDW має тенденцію до зростання протягом останніх десятиліть, що може бути пов'язано з глобальними кліматичними змінами. Аналіз показав наявність зв'язку між високими значеннями HDW та виникненням пожеж, особливо коли відбувається перевищення індексом значень 95-го перцентилу. Але важливо розуміти, що високі значення індексу HDW, або перевищення його значення




**Рис. 6.** А – Добовий хід індексу HDW (точка 51,50° пн. ш., 30,00° сх. д.) та його перцентилів під час червневої пожежі у 2017 р.; В – теплові аномалії за 29 червня 2017 р.

**Fig. 6.** А – Daily variation of the HDW index (51.50° N, 30.00° E) and its percentiles during the June 2017 fire; В – thermal anomalies for June 29, 2017.

95-го персентила, не вказують на виникнення пожеж, а лише вказують на підвищення ризику виникнення пожеж.

## ORCID iD

Ruslan Koval  <https://orcid.org/0000-0003-3848-8374>

## Список посилань

Archive of Daily Reports of the State Emergency Service of Ukraine <https://dsns.gov.ua/operational-information/arxiv-dovidok-za-dobu/>

Ivus, H. P. (2012). *Spetsializovani prohnozy pohody: pidruchnyk*. Odesa: 407. [Ивус Г. П. (2012). *Спеціалізовані прогнози погоди: підручник*. Одеса: 407 с.]. (In Ukrainian).

WMO (2008). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (CI-MO Guide)*. Subsection I.4–29, p. 119. Retrieved from <https://www.weather.gov/media/epz/mesonet/CWOP-WMO8.pdf>

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J.-N. (2023): ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S), Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>

Hurzhi R. V., Yavorovskyi P. P., Sydorenko S. H., Levchenko V. B., Tyshchenko O. M., Tertysnyi A. P., Yakubenko B. Ye. (2021). Trends in forest fuel accumulation in pine forests of Kyiv Polissya in Ukraine. *Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry*. Vol. 63 (2), P. 116–124.

Soshenskyi, O., Zibtsev, S., Terentiev, A., & Vorotynskyi, O. (2021). Consequences of catastrophic landscape fires in Ukraine for forest ecosystems and population. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, Vol. 12(3), P. 21–34. <https://doi.org/10.31548/forest2021.03.002>

Sorokina L., Petrov M. (2020). *Changes in the structure of the land cover and fire safety of the Chernobyl exclusion zone landscapes: assessment methods using satellites*

Khodakov, V. E., Zharikova, M. V. (2011) *Lesnye pozhary: metody issledovaniya*. Monografiya 230-430 s. [Ходаков В. Е., Жарикова М. В. *Лесные пожары: методы исследования*. Монография. 230-430 с.]. (In Russian).

Levchenko, V. B. et al. (2020). Monitoring protypozhezhnoho zakhystu lisovykh masyv Chornobylskoyi zony vidchuzhennya ta 30-kilometrovoyi zony vidchuzhennya Chornobylskoyi AES. *Visnyk Zhytomyrskoho ahrotekhnichnoho koledzhu: Zbirnyk naukovykh statey*, 2(1), 25–37. [Левченко В. Б. та ін. (2020). Моніторинг протипожежного захисту лісових масивів Чорнобильської зони відчуження та 30-кілометрової зони відчуження Чорнобильської АЕС. *Вісник Житомирського агротехнічного коледжу: Збірник наукових статей*, 2(1), 25–37]. (In Ukrainian).

McArthur, A. G. (1966). Weather and grassland fire behavior. Leaflet 100. *Forestry and Timber Bureau*. Commonwealth of Australia.

McArthur, A. G. (1967). Fire behaviour in eucalypt forests. *Commonwealth of Australian Forest and Timber Bureau*, Leaflet Number 107, Canberra, Australian Capital Territory: 25 p.

McDonald J. M., Srock A. F., Charney J. J. (2018) Development and Application of a Hot-Dry-Windy Index (HDW) *Climatology. Atmosphere*; 9(7):285. <https://doi.org/10.3390/atmos9070285>

*Fire Information for Resource Management System (NASA FIRMS)* <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>

Zibtsev, S. V. et al. (2021). *Naukovo-metodychne zabezpechennya stvorennya heoportalu otsinky ryzykiv, prohnozuvannya ta poperedzhennya pryrodnykh pozhezh v Ukraini*: Monografiya. Kyiv: Vydavnytstvo "Naukova stolitsya". 340 p. [Зібцев С. В. та ін. (2021). *Науково-методичне забезпечення створення геопорталу оцінки ризиків, прогнозування та попередження природних пожеж в Україні*: Монографія. Київ: Видавництво «Наукова столиця». 340 с.]. (In Ukrainian).

Nesterov, V. G. (1949). *Gorimost lesa i metody yeye opredeleniya*. M.: Goslesbumizdat. 76 s. [Нестеров В. Г. (1949). *Горимость леса и методы ее определения*. Гослесбумиздат. 76 с.]. (In Russian).

Srock, A. F., Charney, J. J., Potter, B. E., Goodrick, S. L. (2018). The Hot-Dry-Windy Index: A New Fire Weather Index. *Atmosphere*, 9(7), 279. <https://doi.org/10.3390/atmos9070279>