

Експериментальна оцінка пожежонебезпечної погоди в періоди лісових пожеж в Україні в 2020 році

Інна Семенова¹,

д. геогр. н., професор кафедри військової підготовки,

¹Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна,

e-mail: in_home@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3383-4848>;

Валерій Мансарлійський¹,

к. ф.-м. н., доцент кафедри військової підготовки,

e-mail: mansmet@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4688-8626>;

Наталя Міщенко¹,

к. геогр. н., доцент кафедри метеорології та кліматології,

e-mail: minatami@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-1152-0103>;

Руслан Коваль¹,

аспірант кафедри військової підготовки,

e-mail: ruslanmw97@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3848-8374>

Сучасні кліматичні умови території України є сприятливими для частого виникнення посушливих явищ різної інтенсивності та тривалості (бездошові періоди, посухи, сухоті), які, в свою чергу, призводять до підвищення рівня пожежної небезпеки в усіх ландшафтних зонах країни. Через прогнозоване подальше зростання посушливості клімату України актуальною залишається проблема моніторингу і прогнозування посух та пожежної небезпеки за умовами погоди, одним з шляхів вирішення якої є відбір найбільш ефективних фізичних показників, що описують ці явища. В даній статті представлені результати аналізу просторово-часового розподілу нового індексу пожежонебезпечної погоди HDW (Hot-Dry-Windy Index) для періодів лісових пожеж в Чорнобильській зоні і Луганській області в 2020 р. Даний індекс поєднує основні метеорологічні параметри, які визначають ступінь сприятливості погодних умов для загоряння та підтримки лісової пожежі: температура і вологість повітря, швидкість вітру в приземному шарі атмосфери. В якості вихідної інформації для розрахунку індексу HDW використані дані глобальної чисельної моделі GFS з кроком сітки 0,25 градусів. Для оцінки інформативності індексу HDW обчислені поля та графіки часового ходу порівнювалися з інформацією про розташування зон відкритого вогню, отриманою за допомогою даних супутникового зондування, а також із синоптичною ситуацією для встановлення відповідності щодо метеорологічних умов. Показано, що індекс HDW на території України варіюється в широких межах, в залежності від сезону року та синоптичної ситуації, при цьому зони максимальних щоденних значень, звичайно, відповідають осередкам фактичних загорянь. Велику інформативність має характерний часовий хід індексу, осередненого для зони лісової пожежі, в якому спостерігається наростання значень HDW до моменту спалаху та/або посилення вогню, коли індекс досягає максимуму, після чого значення HDW різко зменшується, що нерідко пов'язано зі зміною погодних умов. Подальше визначення відповідних критеріїв небезпеки за значеннями індексу HDW для території України становитиме основу альтернативного методу для прогнозування пожежонебезпечної погоди.

Ключові слова: *індекс пожежонебезпечної погоди, лісова пожежа, зона вигорання, пожежна небезпека за умовами погоди, індекс посухи.*

Як цитувати: Семенова Інна. Експериментальна оцінка пожежонебезпечної погоди в періоди лісових пожеж в Україні в 2020 році / Інна Семенова, Валерій Мансарлійський, Наталя Міщенко, Руслан Коваль // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 206-217. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-16>

In cites: Semenova Inna, Mansarliysky Valery, Mishchenko Natalia, Koval Ruslan (2022). Experimental evaluation of fire weather conditions during periods of wildfires in Ukraine in 2020. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 206-217. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-16> [in Ukrainian]

Вступ. Територія України майже щороку потерпає від посушливих явищ різної інтенсивності та тривалості. Посушливі явища супроводжуються підвищенням рівня пожежної небезпеки, наслідком чого стають як природні, так й техногенні пожежі. Проблема завчасного передбачення посушливих умов та умов погоди, що сприяють природним пожежам, короткострокової та середньострокової тривалості, є вельми актуальною як у глобальному сенсі, так й в Україні, адже через зміни клімату ці явища мають тенденцію до збільшення і вкрай негативно впливають на різні галузі економіки та населення. Так, за даними

дослідження [1], кліматичні зміни, що спостерігалися в останні декілька десятиліть, призвели до збільшення площі пожеж у лісовому фонді України в усіх агрокліматичних зонах через зростання середньомісячної температури повітря впродовж пожежонебезпечного сезону, що призвело до інтенсивнішого підсушування природних горючих матеріалів в лісах. В майбутньому, за кліматичними сценаріями (наприклад, А1В) майже на всій території рівнинної України кліматичні умови будуть мало сприятливими або навіть критичними для вирощування лісів через очікуване подальше потепління [2, 3]. Підвищення температури повіт-

ря до кінця XXI століття по регіонах України може становити +3...+4 °С відносно доіндустріального періоду, що вкупі зі зменшенням кількості опадів, переважно у вегетаційному періоді, призведе до тривалих теплих і посушливих періодів, в яких створюватиметься небезпечний водний та температурний стрес для лісових насаджень, наприклад, через хвили тепла, що сприятиме підвищенню горючості лісових матеріалів.

Особливу увагу привертають природні пожежі, що виникають в Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику, через можливість поширення радіаційних забруднюючих речовин з продуктами горіння. За період з 1993 по 2011 рр. у зоні відчуження Чорнобильської АЕС зареєстровано 1035 випадків пожеж на площі понад 2600 га, що свідчить про постійну наявність джерел вогню та високу пожежну небезпеку на радіоактивно забруднених територіях [4].

Погода є найбільш мінливим компонентом пожежного середовища, який впливає на умови виникнення і поведінку пожежі. Існуючі методи оцінки пожежної небезпеки за умовами погоди наразі є недосконалими, тому актуальним залишається питання щодо вибору найбільш ефективних підходів для такої оцінки і прогнозу, в тому числі, з використанням сучасних досягнень у технологіях спостереження за природним середовищем.

Постановка проблеми. Одним з шляхів вирішення проблеми короткострокового прогнозування є системи моніторингу посушливих явищ та пожежонебезпечної погоди, які діагностують стан посушливості атмосфери та попереджають про розвиток майбутніх умов, використовуючи аналіз погодних тенденцій у порівнянні із кліматичним станом. Для цих цілей зазвичай використовують індекси посушливості та індекси пожежонебезпечної погоди, які дозволяють описати основні характеристики стану атмосфери та підстильної поверхні, що відповідають посушливому стану та погодним умовам, сприятливим для виникнення природних пожеж. Відсутність в Україні єдиної системи моніторингу посушливих умов та пов'язаних з ними пожежонебезпечних умов погоди суттєво обмежує своєчасне надходження такої інформації та доступ до неї як державних структур, так й приватного сектору і населення, що, загалом, знижує спроможність до реагування на всіх рівнях з метою запобігання та пом'якшення наслідків від природних явищ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Територія Східної Європи є регіоном, де нерідко спостерігаються посухи різної інтенсивності і тривалості [5]. Особливо схильні до посухи південні райони в теплий період року, коли в атмо-

сфері переважають антициклонічні процеси, які сприяють інтенсивному радіаційному прогріванню і висушуванню повітря і ґрунту через дефіцит опадів [6]. Метеорологічні та сільськогосподарські посухи можуть значно знизити врожайність зернових культур, особливо, якщо трапляються навесні і влітку. Так, посуха 2019-2020 років в Україні, через тривалу відсутність опадів і теплу зиму, була найсильнішою з 1947 р. по зниженню вологи ґрунту, доступної для сільськогосподарських культур, і привела до загибелі до 80 % посівів в південно-західних областях країни навесні 2020 р., що катастрофічно позначилося на регіональній економіці аграрного сектору і призвело до зниження експорту зернових культур [7].

Посуха є комплексним явищем, пов'язаним з компонентами гідрологічного циклу, аналіз якого необхідний для виявлення умов та періоду часу, в які виникає дефіцит вологи [8]. Будь-яка посуха характеризується інтенсивністю, тривалістю, площею охоплення і термінами настання. Моніторинг посухи включає спостереження за індикаторами та індексами, які оцінюють зміни в гідрологічному циклі регіону. На теперішній час відомо більше ста різноманітних індикаторів і індексів посух, процедури розрахунку яких постійно вдосконалюються і модифікуються, крім того, з'являються й нові індекси [9].

На території України найбільш поширені метеорологічні (або атмосферні) посухи, які формуються за умов дефіциту опадів на фоні високих температур і при низькій вологості повітря, які створюються завдяки високому рівню інсоляції за відсутності хмарності [10]. Таке поєднання метеорологічних параметрів веде, з одного боку, до збільшення випаровування і транспірації, з іншого боку, до зниження стоку, інфільтрації і підживлення ґрунтових вод. В свою чергу, ключовими метеорологічними характеристиками, які визначають умови поширення природної пожежі і можливість її контролювання, є температура повітря, відносна вологість повітря, вітер та опади [11]. Оцінка пожежонебезпечних умов погоди, загалом, здійснюється також з використанням чисельних показників або індексів, які враховують в тому чи іншому ступені перелічені метеорологічні характеристики, а також стан лісових горючих матеріалів, який формується під впливом погодних умов [12]. У світі найбільш відомою системою, що ґрунтується на індексах, є Канадська інформаційна система лісових пожеж CWFIS (Canadian Wildland Fire Information System; <https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/home>). Пожежна небезпека за умовами погоди враховується через відповідні індекси, які входять до підсистем CWFIS: 1) система оцінки пожежної небезпеки за умова-

ми погоди FWI (Fire Weather Index System) та 2) система прогнозу поведінки лісової пожежі FBP (Fire Behavior Prediction System) [13]. На базі Канадської інформаційної системи в Європі у 1998 р. була створена Європейська інформаційна система лісових пожеж EFFIS (European Forest Fire Information System; <https://effis.jrc.ec.europa.eu/>), в якій критерії індексу FWI були уточнені та адаптовані для умов території Європи [14].

В Україні з 40-х років минулого століття використовується комплексний показник пожежної небезпеки (КПН) за метеорологічними умовами, розроблений В.Г. Нестеровим [15], який враховує сумісний вплив температури повітря та дефіциту вологи на висихання лісових горючих матеріалів протягом бездошового періоду. Проте, такий підхід, як доведено багатьма дослідженнями (наприклад, [16]), має суттєві недоліки. Зокрема, він не враховує кліматичні особливості території, швидкість вітру і має досить грубу поправку на кількість опадів, що приводить до похибок при оцінці початку та закінчення пожежонебезпечного періоду та, відповідно, класу і ступеню пожежної небезпеки. Крім того, дослідження показали, що показник Нестерова має дуже слабкий зв'язок з наявністю лісової пожежі. Найкраще цей показник характеризує умови формування пожежної небезпеки у весняно-літній сезон, а у літньо-осінній сезон, навпаки, не відображає реальних умов виникнення лісових пожеж в Україні [17]. Хоча показник Нестерова неодноразово змінювався та адаптувався з моменту його уведення в оперативну практику [18, 19], недоліки не було подолано остаточно, що залишає відкритим питання пошуку та впровадження нових індексів пожежної небезпеки за умовами погоди.

Незважаючи на те, що індекси посухи та пожежонебезпечної погоди, як правило, мають різні масштаби часу, їх поєднання може бути основою в схемі прогнозування, в якій індекс посухи виступає як індикатор фону, на якому посилюється або зменшується поточний індекс пожежонебезпечної погоди. Як показують дослідження, індекс посухи SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) може вказувати на ризик пожеж на початку літа, а усереднені сезонні показники пожежонебезпечної погоди добре співвідносяться з індексом посухи на річному масштабі часу [20, 21]. Ці співвідношення можуть бути використані в системі моніторингу та попередження одночасно як для посухи, так й пожежонебезпечної погоди, проте для території України залишається відкритим питання щодо обрання найбільш ефективних індексів, які б могли увійти до такої системи.

Метою даної роботи є оцінка інформативності для території України нового індексу пожежо-

небезпечної погоди, який враховує основні метеорологічні показники, необхідні для опису ступеня пожежної небезпеки за умовами погоди, і водночас є досить зручним для реалізації алгоритму розрахунків, тому цей індекс може стати компонентом системи моніторингу посушливого та пожежонебезпечного стану.

Дослідження виконано в рамках науково-дослідної роботи „Методичні основи моніторингу посушливих і пожежонебезпечних умов в Україні” (номер державної реєстрації 0121U109935).

Методика дослідження та вихідні дані. Запропонований в роботі [22] індекс HDW (Hot-Dry-Windy Index) для оцінки погодних умов, сприятливих для виникнення пожеж, має під собою фізичне обґрунтування того, як атмосфера впливає на вогонь. А саме, узгодження трьох атмосферних параметрів характеризують наявність умов для виникнення та розповсюдження вогню: вітер, температура, вологість. Якщо вітер безпосередньо впливає на швидкість розповсюдження пожежі та можливість її контролю [23], то температура і вологість мають непрямий вплив на вогонь [24]. Первинний вплив тепла та вологи полягає в тому, щоб змінити швидкість, при якій волога випаровується з палива, що, в свою чергу, впливає на витрати палива, швидкість розповсюдження пожежі та її інтенсивність.

Індекс HDW ґрунтується, окрім швидкості вітру, на змінній, яка містить у себе температуру та вологість, а саме, дефіциті насичення водяної пари, який добре узгоджується з рівнем випаровування в рослинному покриві і відображує ступінь сприятливості для загоряння підстилки.

Індекс HDW розраховується за формулою:

$$HDW = U \times VPD(T, q), \quad (1)$$

де U – швидкість вітру,

$VPD(T, q)$ – дефіцит насичення водяної пари (різниця між тиском насичення $e_s(T)$ та парціальним тиском водяної пари $e(q)$ при даній температурі T):

$$VPD(T, q) = e_s(T) - e(q). \quad (2)$$

З формул (1)-(2) витікає, що одиниця виміру HDW [$\text{гПа} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$], але, як зазначають автори індексу в [22], для уникнення незручностей при використанні цього індексу одиниці виміру не застосовують, тому в нашому дослідженні вони також не вказані.

Для врахування стану атмосфери, а саме, товщини шару приземного повітря, який може вплинути на поведінку вогню, слід враховувати середню товщину шару перемішування, притаманну для конкретного району, періоду року та періоду доби. Загалом, безпосередній вплив по-

вітря вище шару перемішування значно менший, ніж в середині шару. Враховуючи той факт, що в денні години шар перемішування переважно більше 500 м, автори методики пропонують розглядати саме товщину приземного шару 0-500 м для обрання максимальних для даного строку вхідних параметрів при розрахунку індексу HDW. Вибір більш глибоких шарів (до 1000 м та більше) вносить певну ймовірність того, що в розрахунок будуть включені атмосферні умови, які не впливають безпосередньо на підтримання вогню.

Оскільки в HDW входять основні параметри стану атмосфери (температура, вологість і вітер), порівнюючи значення HDW в різних місцях і в різні періоди часу, можна визначити сезонну та регіональну мінливість цього індексу.

В даному дослідженні для визначення предикторів U і VPD, необхідних для розрахунку індексу HDW, використовувалися дані глобальної чисельної моделі GFS з кроком сітки 0,25 градусів. В якості вихідних, використовувалися дані по температурі (T), температурі точки роси (DPT), відносній вологості (RH) і складових вітру (U і V) на трьох ізобаричних поверхнях: поверхня землі, 975 гПа і 950 гПа. Розроблений алгоритм дозволяє розраховувати індекс HDW для території будь-якої площини з кроком сітки 0,25 градусів, і, в залежності від потреб споживача, отримувати середні або максимальні значення параметру на обмежених ділянках області розрахунку.

Розрахунок індексу HDW був проведений по території України і окремо для району Чорнобильської зони для квітня 2020 р., коли спостерігалось декілька періодів загорянь в лісовій зоні, а також окремо для Луганської області, де лісові пожежі виникали влітку та восени 2020 р. За розрахованими значеннями HDW побудовані щоденні поля для всій території України для зіставлення з синоптичною ситуацією, а також побудовані графіки часового ходу HDW, осередненого по площі загорянь, для відповідних зон та періодів пожеж.

Для локалізації осередків загорянь в дослідженні використаний веб-ресурс FIRMS (Fire Information for Resource Management System; <https://firms2.modaps.eosdis.nasa.gov/>), в якому показником активного вогню є так звані «гарячі точки» (hotspots), які визначаються за допомогою супутникових інструментів MODIS (супутники Aqua and Terra) та VIIRS (супутники S-NPP та NOAA-20).

Результати досліджень.

Коротка хронологія лісових пожеж.

Чорнобильська радіоактивна зона, квітень 2020 р. Лісова пожежа почалася на західному краю Чорнобильської радіоактивної зони 3 квітня 2020 р. поблизу с. Звиздаль Народицького району на території Народицького та Кліщівського ліс-

ництв ДП «Народицький спецлісгосп» Житомирської області з подальшим поширенням вогню на територію інших лісництв зони відчуження [25]. У перший день вогонь поширився на площі понад 20 гектарів, а 5 квітня площа пожежі оцінювалася в 100 гектарів лісу. Інтенсивне поширення вогню спостерігалось до 13 квітня, коли вогонь досягнув Прип'яті і був зафіксований в двох кілометрах від сховища радіоактивних відходів Підлісний. Другий спалах був зафіксований 16 квітня 2020 р., коли увечері через сильний вітер знову з'явився відкритий вогонь. Загалом, під час пожеж протягом квітня 2020 р. вигоріло близько 11 тис. га лісу (рис. 1, а).

Луганська область, 6-7 липня 2020 р. Лісова пожежа виникла 6 липня 2020 р. на території Борівського та Охтирського лісництв у Новоайдарському районі Луганської області. Через сильний поривчастий вітер до 25 м·с⁻¹ змінних напрямків та високу температуру повітря (до +38 °С) пожежа швидко поширилась на хвойні ліси поблизу сіл Капітанове та Воронове, а також на територію села Смолянинове. Загальна площа пожежі становила близько 5 тис. га (рис. 1, б), внаслідок пожежі вогнем знищено 35 та пошкоджено 24 житлових будинків.

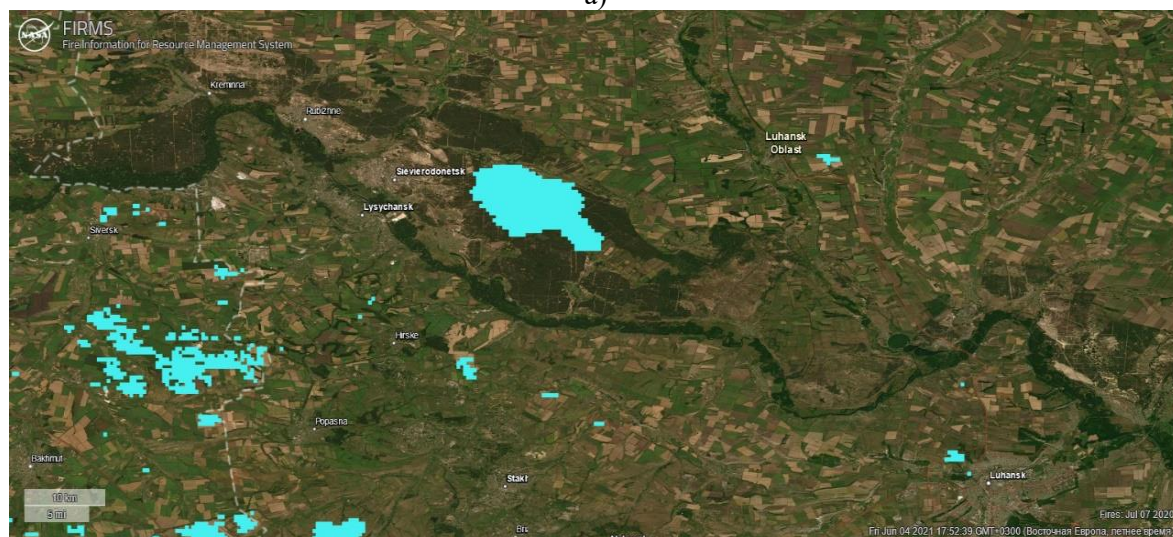
Луганська область, 30 вересня – 1 жовтня 2020 р. Протягом 30 вересня - 1 жовтня 2020 р. на території Станічно-Луганського, Северодонецького та Новоайдарського лісомисливських господарств Луганської області виникло 146 пожеж в лісових масивах. Внаслідок сильного вітру до 25 м·с⁻¹ та попереднього тривалого посушливого періоду пожежі швидко охопили площу понад 20 тис. га (рис. 1, в). На території Станічно-Луганського, Новоайдарського, Северодонецького районів до зони ураження потрапило 32 населених пункти, підтверджено загибель 10 осіб, вогнем знищено та пошкоджено близько 250 будівель [25].

Погодні умови.

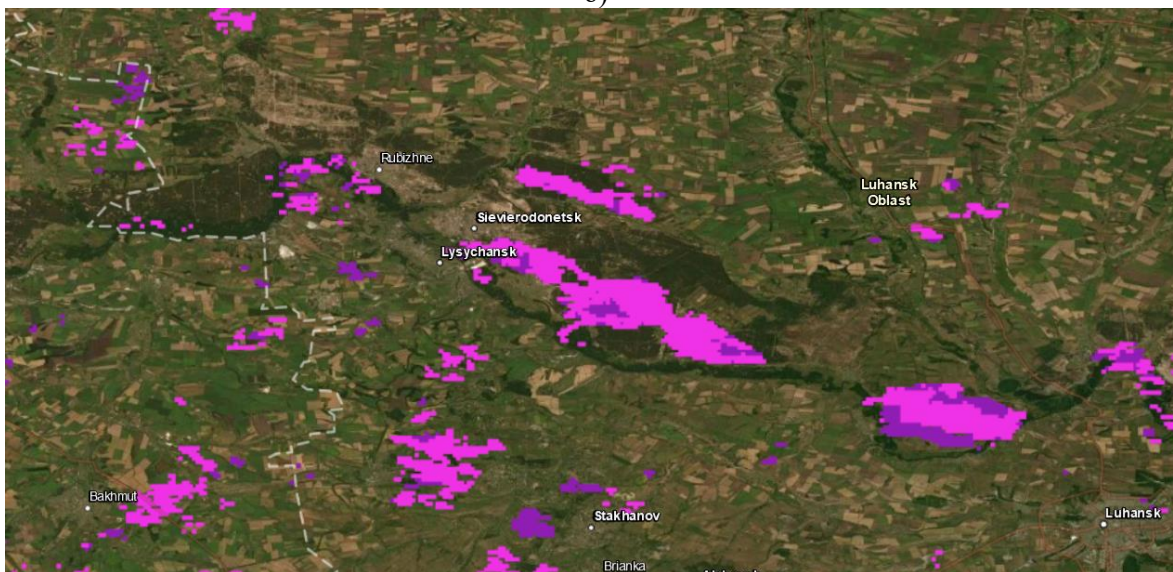
Весна 2020 р. в Україні відзначалася вельми посушливими умовами, які сформувалися через безсніжну та теплу зиму. На півдні країни спостерігалася сильна посуха, а в північних районах - пилові бурі та лісові пожежі. Такі умови сформувалися внаслідок незвичайного для попереднього холодного періоду року температурно-вологісного режиму, який спостерігався в усіх областях країни [26]. Вже на початку холодного періоду, з листопада 2019 р. в усіх агрокліматичних зонах відмічалися позитивні аномалії температури повітря, які досягали +5...+6 °С, а в Поліссі в грудні перевищили +7 °С. Подібний температурний режим зберігався й в січні-лютому 2020 р., при цьому на початок лютого в Україні не було зафіксовано настання метеорологічної зими.



a)



b)



b)

Рис. 1. Положення зон вигорання: а) Житомирська область, Чорнобильська зона, за квітень 2020 р.; б) Луганська область, за липень 2020 р.; в) Луганська область, за жовтень 2020 р. / Fig. 1. Burnt area locations: a) Zhytomyr region, Chernobyl zone, in April 2020; b) Luhansk region, in July 2020; c) Luhansk region, in October 2020

Тепла зима відзначилася й невеликою в порівнянні з більшістю областей країни кількістю опадів – протягом листопада-грудня 2019 р. опадів випало менше норми, за винятком першої декади листопада в Поліссі та останньої декади грудня в Поліссі та Лісостепу. Січень видався дуже сухим, в деяких областях опадів майже не було. Загалом, дослідження показали [27], що запаси вологи в верхньому шарі ґрунту по території України в останні десять років мали тенденцію до зменшення у літні та осінні місяці, що призвело до збільшення кількості сільськогосподарських посух в цей період. Тому тепла безсніжна зима 2019-2020 рр. тільки підтримала цей негативний тренд, і на початок весни 2020 р. в Україні сформувалися посушливі умови від помірної до екстремальної інтенсивності в південно-західних та північних областях.

Аналіз синоптичних процесів під час виникнення та поширення лісових пожеж в Чорнобильській зоні показав, що в квітні 2020 р. спостерігалися три типи синоптичних ситуацій: теплий сектор циклону, центр антициклону, малоградієнтне поле підвищеного тиску. Під час пожеж в Луганській області влітку та восени 2020 р. основним синоптичним процесом над цим регіоном була стаціонарна південно-західна периферія антициклону з великими градієнтами тиску і, відповідно, сильними вітрами. Об'єднує всі ці циркуляційні умови наявність адвекції теплої та сухої повітряної маси в приземному шарі в зоні лісових пожеж, яка зберігалася тривалий час.

Просторовий розподіл індексу HDW.

Для розглянутих періодів пожеж в квітні, липні, вересні-жовтні 2020 р. були розраховані поля індексу HDW для всієї території країни з метою визначення характеру розподілу величин індексу і для зіставлення з поточними термодинамічними умовами. Аналіз щоденних полів індексу HDW показав, що вони мають велику просторову і часову мінливість, відповідно до спостережних синоптичних процесів. В більшості випадків окреслені зони максимумів індексу ($HDW > 200$) розташовувалися в теплих секторах циклонів, центральних або периферійних частинах антициклонів та переміщувалися разом з цими об'єктами, тобто, пов'язані з гребнями тепла й сухим повітрям в нижніх шарах тропосфери.

На рис. 2 наведений приклад розрахованого поля індексу HDW по території України в порівнянні з розподілом «гарячих точок», та поля метеорологічних характеристик, що ілюструють синоптичну ситуацію 16 квітня 2020 р., коли в Чорнобильській зоні відбувся другий спалах лісової пожежі. Можна бачити, що максимальні значення індексу HDW зосереджені в районі пожеж на півночі України (рис. 2, а, б), невеликі осередки спо-

стерігаються й в інших районах. Порівняння з синоптичною ситуацією показує, що максимум HDW знаходиться в центральній частині теплового сектору циклону з центром на півночі Європейської території Росії, тобто в районі виникнення пожежі спостерігалася інтенсивна адвекція тепла в нижній тропосфері (рис. 2, в) та підвищенні швидкості вітру (рис. 2, г), що сприяло активізації та поширенню вогню.

Часовий хід індексу HDW.

Аналіз часового ходу індексу HDW, осередненого по зонах загорянь, виконаний для кожного випадку на періоді не менше двох тижнів, які включали до себе дати виникнення пожеж, з метою визначення меж коливань індексу та періодів його зростання і падіння по відношенню до конкретних дат пожеж.

В квітні 2020 р. середні значення індексу HDW знаходилися в межах 25-215, максимальні досягали майже 250 (рис. 3, а). Порівняльний аналіз часового ходу індексу HDW з хронікою пожеж в Чорнобильській зоні протягом квітня виявив, що максимумами індексу добре узгоджуються з періодами посилення вогню і поширенню зон загорянь, при цьому індекс різко зменшується після спалаху, що пов'язано зі зміною погодних умов. Так, перший максимум індексу HDW спостерігався 3 квітня, коли виникла перша пожежа. В період з 7 по 9 квітня зберігалися високі значення індексу, в цей же час пожежа інтенсивно поширювалася майже до 13 квітня, коли виник новий осередок загоряння і спостерігався новий максимум індексу HDW. Проходження атмосферного фронту з випадінням дощу призвело до різкого зменшення значень індексу 14 квітня, але в наступний сухий період індекс HDW досяг максимального значення у цьому місяці, і як свідчать хроніки пожеж, саме 16-17 квітня виник наступний інтенсивний осередок вогню. Після 17 квітня відбулося різке зниження значень індексу HDW і до кінця квітня максимальні значення не перевищували ті, що спостерігалися в першій половині місяця.

Аналіз часового ходу індексу HDW для району Луганської області, де протягом 6-7 липня 2020 р. спостерігалися інтенсивні лісові пожежі, проведено для періоду 25 червня – 9 липня 2020 р. (рис. 3, б). Середні значення індексу коливалися в межах 50-370, максимальні досягали 560. Загалом, період характеризувався поступовим наростанням значень індексу і 7 липня, коли спостерігався максимум HDW, пожежа набула найбільшої інтенсивності, після чого значення індексу різко зменшилося.

Аналіз часового ходу індексу HDW для району Луганської області, де протягом 30 вересня – 1 жовтня 2020 р. виник дуже інтенсивний осередок лісової пожежі, проведено для періоду 23 ве-

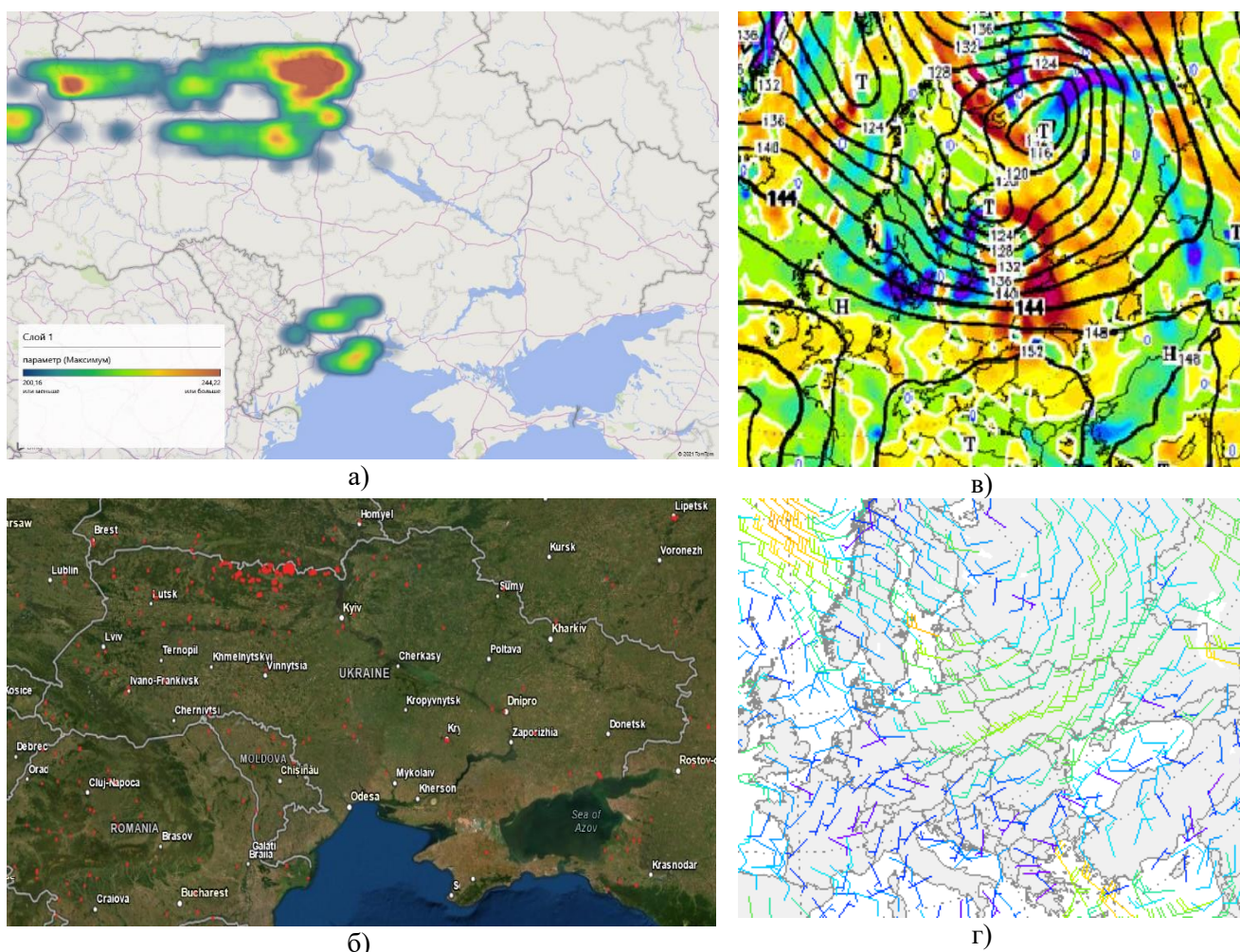


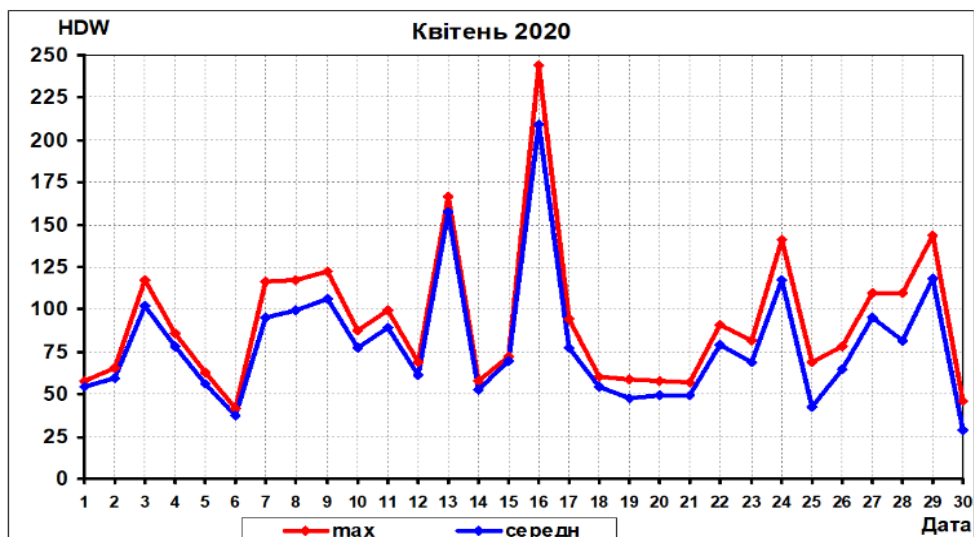
Рис. 2. Поля метеорологічних характеристик за 16.04.2020 р.: а) індекс HDW (>200), осереднений за добу; б) положення «гарячих точок», за добу; в) адвекція температури ($K \cdot год^{-1}$) на рівні АТ-850 гПа (колір) та ізогіпси АТ-850 гПа (чорні лінії), 06.00 СГЧ; г) вітер на рівні 10 м, 12.00 СГЧ /
 Fig. 2. Fields of meteorological characteristics on April 16, 2020: a) HDW index (>200) average per day; b) location of "hot spots" per day; c) temperature advection ($K \cdot h^{-1}$) at the level АТ-850 hPa (color) and isohypsers АТ-850 hPa (black lines), 06.00 UTC; d) wind at 10 m, 12.00 UTC

ресня – 8 жовтня 2020 р. (рис. 3, в). В цей період середні значення індексу коливалися в межах 120-430, максимальні перевищували 450. Часовий хід індексу HDW мав два максимуми – 26 та 30 вересня, але лише останній збігся з подією пожежі. Обидва максимуми мали наступний різкий спад значень індексу.

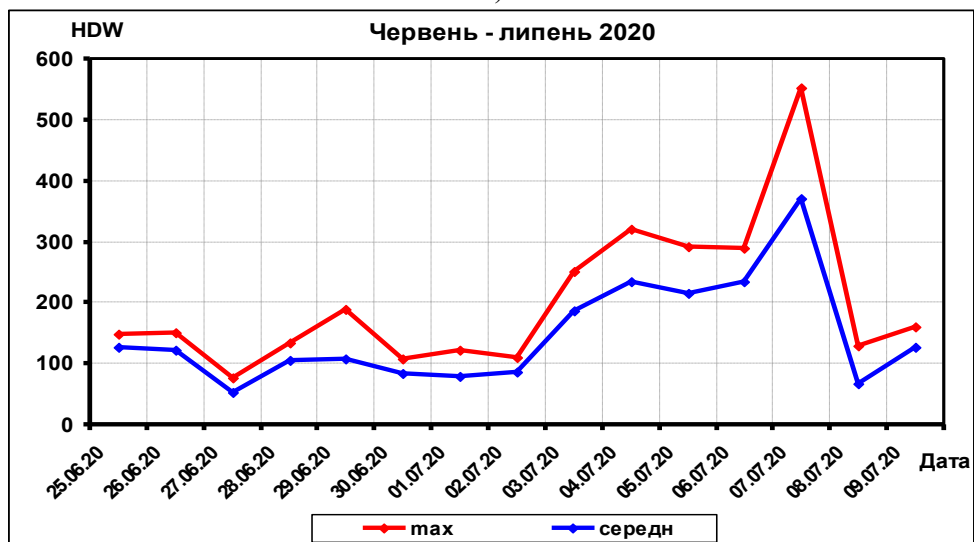
Висновки. В даному дослідженні проведено експериментальні розрахунки нового індексу пожежонебезпечної погоди HDW для випадків виникнення та поширення лісових пожеж в Чорнобильській зоні та Луганській області в 2020 р., з метою оцінки інформативності цього індексу у відображенні метеорологічних та синоптичних умов, які сприяли поширенню лісових пожеж в Україні. Аналіз результатів розрахунків показав, що поля та локальний часовий хід індексу HDW добре відбивають характерні температурно-вологісні умови та режим вітру в приземному шарі, які складаються за певних синоптичних процесів в

період перед виникненням пожеж, тому даний індекс може застосовуватися для відстеження процесу наростання пожежної небезпеки за умовами погоди з виділенням пікових значень, в тому числі й з використанням даних чисельних моделей короткострокового та середньострокового прогнозування, які надають змогу розраховувати прогностичний індекс.

Слід відмітити, що індекс HDW має добре фізичне підґрунтя, яке дозволяє в одному показнику поєднати необхідні компоненти умов підтримки пожежі, що вигідно вирізняє його від показників, які використовуються наразі в Україні. Подальші дослідження цього індексу мають зосередитися на встановленні певних критеріїв, які б характеризували ступень пожежної небезпеки за умовами погоди. Адже, як показали попередні дослідження розробників індексу HDW та результати даного дослідження, цей індекс може коливатися в дуже широких межах, а довільно обраний нами



а)



б)



в)

Рис. 3. Графіки часового ходу індексу HDW, осереднені по районам загорянь:
 а) 1-30 квітня 2020 р., Чорнобильська зона; б) 25 червня – 9 липня 2020 р., Луганська область;
 в) 23 вересня – 8 жовтня 2020 р., Луганська область /

Fig. 3. Time course of the HDW index averaged over the areas of fires: a) April 1-30, 2020, Chernobyl zone;
 b) June 25 – July 9, 2020, Lugansk region; c) September 23 – October 8, 2020, Lugansk region

критерій у 200 одиниць дозволив лише чіткіше окреслити райони вже існуючих пожеж. Наразі індекс HDW в експериментальному режимі розраховується та представляється для території США (<https://www.hdwindex.org/>), при цьому для характеристики ступеня пожежонебезпечної погоди використовуються перцентілі (від 25 до 95), які дають змогу оцінити поточне щоденне значення індексу по відношенню до його кліматичного значення [28]. Подібний аналіз індексу

HDW для території України дасть змогу отримати як кліматичний просторово-часовий розподіл пожежонебезпечних умов погоди в різні сезони року, так й визначити пікові значення для різних регіонів, які можуть бути використані в якості критеріїв пожежної небезпеки за умовами погоди певного ступеня як в оперативній практиці, так й в автоматизованій системі моніторингу посушливої і пожежонебезпечної погоди.

Список використаної літератури

1. Яворовський П. Аналіз пожежостійкості лісів України в умовах змін клімату [Текст] / П. Яворовський // *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. – 2015. – № 216. – С. 88-92. Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lisivnytstvo/article/view/5003/4930>
2. Швиденко А.З. Уразливість лісів України до зміни клімату. Монографія [Текст] / А.З. Швиденко, І.Ф. Букиша, С.В. Краковська – Київ: Ніка-Центр, 2018. – 184 с.
3. Балабух В.О. Вплив зміни клімату на кількість та площу лісових пожеж у північно-чорноморському регіоні України [Текст] / В.О. Балабух, С.В. Зібцев // *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2016. – Вип. 18. – С. 60–72. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.18.2016.07>
4. Борсук О.А. Комплексна оцінка пожежної небезпеки лісів зони відчуження Чорнобильської АЕС [Текст] / О. Борсук // *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. – 2013. – Вип. 187. – С. 167-176. Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lisivnytstvo/article/view/981/940>
5. Jaagus J. Long-term changes in drought indices in eastern and central Europe [Text] / J. Jaagus, A. Aasa, S. Aniskevich, B. Boincean, R. Bojariu, A. Briede, I. Danilovich, F.D. Castro, A. Dumitrescu, M. Labuda, L. Labudová, K. Lõhmus, V. Melnik, K. Mõisja, R. Pongracz, V. Potopová, L. Řezníčková, E. Rimkus, I. Semenova, E. Stonevičius, P. Štěpánek, M. Trnka, S.M. Vicente-Serrano, J. Wibig, P. Zahradníček // *International Journal of Climatology*. – 2021. – Vol. 42(1). – P. 225-249. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.7241>
6. Семенова І.Г. Синоптичні та кліматичні умови формування посух в Україні. Монографія [Текст] / І. Г. Семенова. – Харків: ФОРМ Панов А.М., 2017. – 236 с.
7. Semenova I. Some Meteorological Aspects of Severe Agricultural Drought in the Northern Black Sea Region in 2019–2020 / I. Semenova // *Environmental Sciences Proceedings*. – 2021. – Vol. 8(1):18. DOI: <https://doi.org/10.3390/ecas2021-10299>
8. Хлебникова Е.И. Засухи. В книге: Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем [Текст] / Е.И. Хлебникова, Т.В. Павлова, Н.А. Сперанская. – М.: Росгидромет, 2012. – С. 126-164.
9. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: Handbook of Drought Indicators and Indices / M. Svoboda and B.A. Fuchs. - Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines. Series 2. Geneva, 45 p. Режим доступу: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3057
10. Бучинский И.Е. Засухи и суховеи [Текст] / И.Е. Бучинский. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 214 с.
11. Стандарти і навчальний посібник EuroFire [Текст] – Фрайбург-Київ, 2014. – 147 с. – Режим доступу: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u184/eurofire_ukr.pdf
12. Ходаков В.Е. Лесные пожары: методы исследования [Текст] / В.Е. Ходаков, М.В. Жарикова. – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 470 с. – Режим доступу: https://kafedra-it.at.ua/lesnye_pozhary_2.pdf
13. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Forestry Canada Fire Danger Group. Information report ST-X-3. - Forestry Canada Science and Sustainable Development Directorate, Ottawa, 1992. – 63 p. Режим доступу: <https://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/10068.pdf>
14. User Guide to EFFIS applications. Version 2.3.3. – The European Forest Fire Information System, May 2018. – 20 p. Режим доступу: <https://effis-gwis-cms.s3-eu-west-1.amazonaws.com/effis/reports-and-publications/effis-related-publications/effis-userguide-23.pdf>
15. Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения [Текст] / В.Г. Нестеров. – М.: Гослесбумиздат, 1949. – 76 с.
16. Кузик А.Д. Оцінювання пожежної небезпеки лісів за умовами погоди [Текст] / А.Д. Кузик // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2011. – № 1. – С. 74-81. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsinyuvannya-pozhezhnoyi-nebezpeki-lisiv-za-umovami-pogodi>
17. Балабух В.О. Сучасний стан прогнозування природної пожежної небезпеки за умовами погоди в Україні [Текст] / В.О. Балабух // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції „Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку”. – Київ, Україна, 10-11 жовтня 2017 року. – С. 25-29.
18. Балабух В.О. Ефективність врахування кількості опадів та швидкості вітру при оцінці природної пожежної небезпеки за метеорологічними умовами [Текст] / В.О. Балабух // *Другий Всеукраїнський гідрометеороло-*

- гічний з'їзд: тези доповідей. – Одеса, Україна, 7-9 жовтня 2021 року. – С. 149-150. Режим доступу: http://umhs.org.ua/wp-content/uploads/2021/11/Proceedings_Hydrometeorological_congress2021.pdf
19. Софронов М.А. Оценка пожарной опасности по условиям погоды с использованием метеопрогнозов [Текст] / М.А. Софронов, Т.М. Софронова А.В. Волокитина // Лесное хозяйство. – 2004. – № 6. – С. 31-32. – Режим доступу: http://forest.akadem.ru/Articles/04/sofronov_1.pdf
 20. McEvoy D.J. Establishing Relationships between Drought Indices and Wildfire Danger Outputs: A Test Case for the California-Nevada Drought Early Warning System / D.J. McEvoy, M. Hobbins, T.J. Brown, K. VanderMolen, T. Wall, J.L. Huntington, M. Svoboda // *Climate*. – 2019. – Vol. 7 (4). – 52 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli7040052>
 21. Riley K.L. The relationship of large fire occurrence with drought and fire danger indices in the western USA, 1984–2008: the role of temporal scale / K.L. Riley, J.T. Abatzoglou, I.C. Grenfell, A.E. Klene, F.A. Heinsch // *International Journal of Wildland Fire*. – 2013. – Vol. 22. – P. 894-909. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF12149>.
 22. Srock A.F. The Hot-Dry-Windy Index: A New Fire Weather Index / A.F. Srock, J.J. Charney, B.E. Potter, S.L. Goodrick // *Atmosphere*. – 2018. – Vol. 9. – P. 279. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos9070279>
 23. Beer T. The interaction of wind and fire [Text] / T. Beer // *Boundary-Layer Meteorology*. – 1991. – Vol. 54. – P. 287–308.
 24. Potter B.E. Atmospheric interactions with wildland fire behavior. I. Basic surface interactions, vertical profiles and synoptic structures / B.E. Potter // *Int. J. Wildland Fire*. – 2012. – Vol. 21. – P. 779–801. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF11128>
 25. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Інформаційно – аналітична довідка про виникнення НС в Україні у 2020 році [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-zakvartal/119288.html>
 26. Адаменко Т. Особливості погодних умов зимового періоду та їх вплив на озимі культури [Електронний ресурс] / Т. Адаменко // *Агроном*. – Дата публікації 25.02.2020. – Режим доступу: <https://www.agronom.com.ua/osoblyvosti-pogodnyh-umov-zimovogo-periodu-2019-2020-rr-v-ukrayini/>
 27. Semenova I. Spatiotemporal Distribution of Soil Moisture Content over Ukraine and Its Relationship to Atmospheric Conditions / I. Semenova // *Environmental Sciences Proceedings*. – 2021. – Vol. 4(1):20. DOI: <https://doi.org/10.3390/ecas2020-08117>
 28. McDonald J.M. Development and Application of a Hot-Dry-Windy Index (HDW) *Climatology* / J.M. McDonald, A.F. Srock, J.J. Charney // *Atmosphere*. – 2018. – Vol. 9(7):285. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos9070285>

Внесок авторів: Семенова І. – постановка задачі, аналіз та узагальнення результатів, текст статті; Мансарлійський В. – підготовка вихідних даних, проведення розрахунків та візуалізація результатів; Міщенко Н. – аналіз синоптичних процесів; Коваль Р. – огляд літературних джерел

Experimental evaluation of fire weather conditions during periods of wildfires in Ukraine in 2020

Inna Semenova¹,

DSc (Geography), professor, Department of military training,
Odessa State Environmental University, 15 Lvivska Str., Odessa, 65016, Ukraine;

Valery Mansarliysky¹,

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Department of military training;

Natalia Mishchenko¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of meteorology and climatology;

Ruslan Koval¹,

PhD student, Department of military training

ABSTRACT

Introduction. Almost every year, the territory of Ukraine is affected by drought of different intensity and duration, what is a favorable condition for wildfires. In the forest areas of the country arose about 106.8 thousand fires with a total area of 139.2 thousand hectares during 1990-2017. An analysis of the long-term dynamics shows that wildfires in Ukraine are a sustainable phenomenon. In 2020, under the severe drought conditions, 209 forest fires occurred, the most significant of them were in the Chernobyl zone and in the Lugansk region.

Formulation of the problem. There is still no universally accepted method to describe all drought related processes due to complexity of drought phenomena. Although drought indices and fire weather indices usually have different time scales, their combination can be a basis in the prediction scheme in which the drought index acts as a background indicator, which enhances or decreases the current fire weather index.

The purpose of this study is evaluate informativeness of a new fire weather index HDW (Hot-Dry-Windy Index) for the territory of Ukraine, which takes into account the main meteorological parameters necessary to describe the degree of wildfire danger due to weather conditions, so this index may become a component of the drought and fire monitoring system.

Data and methods. The HDW index has a physical justification as the atmosphere affects the fire, namely, the combination of three atmospheric parameters characterizes the current conditions for the ignition and distribution of fire: wind, temperature, humidity. For the calculation of the HDW index, the data of GFS global numerical model with grid step 0.25 degrees is used. The calculation of the daily fields of the HDW index was carried out for the territory of Ukraine and for local areas. To localize areas of wildfires, in the study were used daily hotspots data provided by the web-resource FIRMS (<https://firms2.modaps.eosdis.nasa.gov/>), which are determined using satellite instruments MODIS (AQUA and Terra Satellites) and VIIRS (S-NPP and NOAA-20 satellites).

Research results. Comparison of the calculated HDW fields in Ukraine with the position of hotspots showed that the maximum values of the HDW index are generally concentrated in fire areas. Comparison with the synoptic situation showed that the maximum values of the HDW are located in the zones of advection of warm and dry air in the lower troposphere and zones of strong surface winds, which usually correspond to the periphery of anticyclone or the warm sector of cyclone. The analysis of the time courses of the HDW index showed the typical feature, which expressed in the fact that in all cases there was an increase in the index values in the period before the wildfire, maximum of the HDW is fixed at the time of ignition and after that the index values sharply decreases.

Scientific novelty and practical significance. The fields of new HDW index reflects the weather conditions typical for wildfires periods in the territory of Ukraine. The presence of specific features and extreme values in the index time course can be used to track the process of increase of fire danger under changing weather conditions to make short- and medium-range fire danger forecasts with evaluation of fire danger classes.

Keywords: fire weather index, wildfire, burned area, fire danger due to weather conditions, drought index.

References

1. Yavorovskiy, P. (2015). *Analiz vohnestiikosti lisiv Ukrainy v umovakh zminy klimatu. [Analysis of fire resistance of forests of Ukraine in climate change]. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science, 216, 88–92.* <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lisivnytstvo/article/view/5003/4930> [in Ukrainian]
2. Shvydenko, A.Z., Buksha, I.F., Krakovska, S.V. (2018). *Urazlyvist lisiv Ukrainy do zminy klimatu. [Vulnerability of Ukraine forests to climate change]. Kyiv: Nika-Tsentr, 184.* [in Ukrainian]
3. Balabukh, V.O., Zibtsev, S.V. (2016). *Vplyv zminy klimatu na kilkist ta ploshchi lisovykh pozhezh u Pivnichnomu Prychornomori Ukrainy. [Impact of climate change on quantity and area of forest fires in the northern part of the Black Sea Region of Ukraine]. Ukrainian Hydrometeorological Journal, 18, 60–71.* <https://doi.org/10.31481/uhmj.18.2016.07> [in Ukrainian]
4. Borsuk, O.A. (2013). *Kompleksna otsinka pozhezhnoi nebezpeky lisiv u zoni vidchuzhennia Chornobylskoi AES. [Comprehensive assessment of fire hazard of forests in the exclusion zone of the Chernobyl NPP]. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science, 187, 167–176.* <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lisivnytstvo/article/view/981> [in Ukrainian]
5. Jaagus, J., Aasa, A., Aniskevich, S., Boincean, B., Bojariu, R., Briede, A., Danilovich, I., Castro, F.D., Dumitrescu, A., Labuda, M., Labudova, L., Lohmus, K., Melnik, V., Moisja, K., Pongracz, R., Potopova, V., Reznickova, L., Rimkus, E., Semenova, I., Stonevicius, E., Stepanek, P., Trnka, M., Vicente-Serrano, S.M., Wibig, J., Zahradnicek, P. (2022). *Long-term changes in drought indices in eastern and central Europe. International Journal of Climatology, 42(1), 225–249.* <https://doi.org/10.1002/joc.7241>
6. Semenova, I.G. (2017). *Sinoptichni ta klimatichni umovi formuvannya posukh v Ukraini. [Synoptic and climatic conditions for the formation of droughts in Ukraine]. Kharkiv: FOP Panov A.M., 236.* [in Ukrainian]
7. Semenova, I. (2021). *Some Meteorological Aspects of Severe Agricultural Drought in the Northern Black Sea Region in 2019–2020. Environmental Sciences Proceedings, 8(1):18.* <https://doi.org/10.3390/ecas2021-10299>
8. Khliebnikova Ye.I., Pavlova T.V., Speranska N.A. (2012). *Zasukhi. V knige: Metody otsenki posledstviy izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh sistem [Droughts. In the book: Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems]. Moscow, Roshidromet, 126–164.* [in Russian]
9. *World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines. Series 2. Geneva, 45.* https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3057
10. Buchynskiy, I.I. (1976). *Zasukhi i sukhovei. [Droughts and dry winds]. Leninhad, Hidrometeoizdat, 214.* [in Russian]
11. *Standarty i navchal'nyy posibnyk EuroFire. [EuroFire Standards and Handbook]. (2014). Fraiburh - Kyiv, 147.* https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u184/eurofire_ukr.pdf [in Ukrainian]
12. Khodakov, V.I., Zharikova, M.V. (2011). *Lesnyye pozhary: metody issledovaniya. [Forest fires: research methods]. Kherson, Hryn D.S., 470.* https://kafedra-it.at.ua/lesnye_pozhary_2.pdf [in Russian]
13. *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Forestry Canada Fire Danger Group. Information report ST-X-3. (1992). Forestry Canada Science and Sustainable Development Directorate, Ottawa, 63.* <https://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/10068.pdf>
14. *User Guide to EFFIS applications. (2018). The European Forest Fire Information System, Version 2.3.3, May 2018, 20.* <https://effis-gwis-cms.s3-eu-west-1.amazonaws.com/effis/reports-and-publications/effis-related-publications/effis-userguide-23.pdf>
15. Nesterov, V.H. (1949). *Gorimost' lesa i metody yeye opredeleniya. [Flammability of the forest and methods for its determination]. Moscow, Goslesbumizdat, 76.* [in Russian]

16. Kuzyk, A.D. (2011). Otsinka pozhezhnoi nebezpeky lisiv za pohodnyumy umovamy. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. [Estimation of fire danger of forests by weather conditions]. Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine, 1, 74–81. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsinyuvannya-pozhezhnoyi-nebezpeki-lisiv-za-umovami-pogodi> [in Ukrainian]
17. Balabukh, V.O. (2017). Suchasnyi stan prohnozuvannya pryrodnoi pozhezhnoi nebezpeky za pohodnyumy umovamy v Ukraini. Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasnyi stan tsyvilnoho zakhystu Ukrainy ta perspektyvy rozvytku». [Current state of forecasting of natural fire danger by weather conditions in Ukraine]. Proceedings of the All-Ukrainian scientific-practical conference "Current state of civil defense of Ukraine and prospects for development", Kyiv, Ukraine, 25–29. [in Ukrainian]
18. Balabukh, V.O. (2021). Efektyvnist' vrakhuvannya kilkosti opadiv ta shvydkosti vitru pry otsyntsi pryrodnoi pozhezhnoi nebezpeky za meteorolohichnymy umovamy. [Efficiency of taking into account the amount of precipitation and wind speed in assessing the natural fire hazard by meteorological conditions]. Druhyyi Vseukrainskyi hidrometeorolohichnyi konhres: tezy dopovidei. 7-9 October 2021, Odesa, Ukraine, 149–150. http://umhs.org.ua/wp-content/uploads/2021/11/Proceedings_Hydrometeorological_congress2021.pdf [in Ukrainian]
19. Sofronov, M.A., Sofronova, T.M., Volokitina, A.V. (2004). Otsenka pozharanoi opasnosti po usloviyam pogody s ispol'zovaniyem meteoprognozov [Assessment of fire danger according to weather conditions using weather forecasts]. Forestry, 6, 31–32. http://forest.akadem.ru/Articles/A_04.html [in Russian]
20. McEvoy, D.J., Hobbins, M., Brown, T.J., VanderMolen, K., Wall, T., Huntington, J.L., Svoboda, M. (2019). Establishing Relationships between Drought Indices and Wildfire Danger Outputs: A Test Case for the California-Nevada Drought Early Warning System. Climate, 7(4), 52. <https://doi.org/10.3390/cli7040052>
21. Riley, K.L., Abatzoglou, J.T., Grenfell, I.C., Klene, A.E., Heinsch, F.A. (2013). The relationship of large fire occurrence with drought and fire danger indices in the western USA, 1984–2008: the role of temporal scale. International Journal of Wildland Fire, 22, 894–909. <https://doi.org/10.1071/WF12149>
22. 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, 279. <https://doi.org/10.3390/atmos9070279>
23. Beer, T. (1991). The interaction of wind and fire. Boundary-Layer Meteorology, 54, 287–308.
24. Potter, B.E. (2012). Atmospheric interactions with wildland fire behavior. I. Basic surface interactions, vertical profiles and synoptic structures. Int. J. Wildland Fire, 21, 779–801. <https://doi.org/10.1071/WF11128>
25. Derzhavna sluzhba Ukrainy z nadzvychaynykh sytuatsii. (2020). Informatsiino-analitychna informatsiia shchodo vynykennia nadzvychaynykh sytuatsii v Ukraini u 2020 rotsi. [The State Emergency Service of Ukraine. Information and analytical information on the emergence of emergencies in Ukraine in 2020], <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-kvartal/119288.html> [in Ukrainian]
26. Adamenko, T. (2020). Osoblyvosti pohodnykh umov zymovoho periodu ta yikh vplyv na ozymi kultury. [Features of winter weather conditions and their impact on winter crops]. Journal Agronom, 25 February 2020. <https://www.agronom.com.ua/osoblyvosti-pogodnykh-umov-zymovogo-periodu-2019-2020-rr-v-ukrayini/> [in Ukrainian]
27. Semenova, I. (2021). Spatiotemporal Distribution of Soil Moisture Content over Ukraine and Its Relationship to Atmospheric Conditions. Environmental Sciences Proceedings, 4(1):20. <https://doi.org/10.3390/ecas2020-08117>
28. 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>

Authors Contribution: Semenova I. – statement of the problem, analysis and generalization of the results, text of the article; Mansarliysky V. – preparation of initial data, calculations and visualization of results; Mishchenko N. – analysis of synoptic processes; Koval R. - review of literary sources

Received 7 February 2022

Accepted 17 February 2022