

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.2.5>

УДК 551.583

Сіденко В.П.

Український гідрометеорологічний інститут НАН України та ДСНС України, м. Київ

КЛІМАТОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ПОГОДНИХ УМОВ, ПОДІЙ ТА ЯВИЩ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

Проведено аналіз сучасних світових та вітчизняних публікацій, у яких представлено методи дослідження екстремальних погодних явищ. Представлено результати порівняння основних англomовних термінів і понять, що використовуються при дослідженні кліматичних/погодних екстремальних подій та їх дефініції з їх українськими відповідниками. Не всі терміни та поняття, що використовуються в наукових публікаціях, мають чіткі та точні визначення та не завжди узгоджуються між собою. Проведено типізацію досліджень за регіоном дослідження, часовим періодом дослідження, просторово-часовою роздільністю, набором метеорологічних величин та індексів екстремальності, на основі яких проводиться дослідження. Окреслено подальші плани щодо дослідження сучасних кліматичних змін екстремальності клімату України на основі довгих рядів добових значень середньої, максимальної і мінімальної приземних температур повітря та атмосферних опадів.

Ключові слова: екстремальні погодні події та явища, індекси екстремальності клімату, зміни клімату, метеорологічні параметри.

Вступ. Зміна частоти, інтенсивності та характеру прояву тих чи інших екстремальних погодних умов, подій та явищ – невід’ємна складова сучасних змін клімату [1]. Екстремальні погодні явища – це такі явища, які мають великі або ж екстремальні значення метеорологічних величин, що в значній мірі перевищують їх середні значення (для конкретної території та конкретного періоду) і внаслідок цього становлять небезпеку для суспільства та завдають збитків різного ступеня [2-7]. До екстремальних погодних умов належать: хвиля тепла, посухи, сильні зливи, сильні снігопади, аномальні кількості опадів, аномальні значення температури повітря та інше. Актуальність дослідження зміни екстремальності клімату є особливо важливою у контексті впливу на різні сфери діяльності людини, суспільства, різних галузей господарства та промисловості, тому кліматичні зміни часто розглядають нерозривно від специфіки конкретних напрямків діяльності. Екстремальні погодні умови створюють ризики та потенційний негативний вплив на суспільство та оточуюче природне середовище. Їх дослідження є необхідним етапом перед впровадженням адаптаційних та пом’якшувальних заходів [2].

Сучасні дослідження екстремальних кліматичних/погодних подій та явищ можна розділити на два напрями. У першому напрямі досліджують метеорологічні аспекти тих чи інших конкретних екстремальних погодних подій та явищ: які причини їх виникнення/появи, які їх кількісні наслідки для суспільства, економіки чи екосистем [5, 7, 13]. У другому - розглядають кліматологічні аспекти таких подій, а саме: як змінилися їх спостережувані властивості (напр., їх кількість за рік, інтенсивність, час тривалості та ін.) протягом певного проміжку часу (як правило, не менше 30-ти років) [14-20]. Такі дослідження проводять на національному, регіональному та глобальному рівнях. Основна увага представленого дослідження буде сфокусована на другому напрямку.

Отже, **метою** дослідження є огляд та аналіз сучасних вітчизняних та зарубіжних наукових публікацій, у яких представлено результати кліматологічних досліджень екстремальних погодних умов, подій та явищ в Україні та світі. Завданням дослідження є систематизація та узагальнення попередніх досліджень; виявлення перспективних

напрямів подальших кліматологічних досліджень екстремальної погоди в Україні в період швидких глобальних кліматичних змін; окреслення та підбір оптимальної методики дослідження, зокрема вибору рядів метеорологічних величин та просторово-часової роздільності цифрової бази даних як емпіричної основи дослідження; підбір індексів екстремальності клімату, як важливого інструменту дослідження.

Основні поняття і терміни, які використовуються у дослідженнях кліматичних/погодних екстремальних подій/явищ, та їх визначення. Обраний напрям досліджень є достатньо новим. Не всі терміни і поняття, які використовуються у наукових публікаціях, мають чіткі та строгі дефініції та не завжди узгоджені між собою. Більше того, не всі терміни, що використовуються в англomовних публікаціях, мають стійке загальноприйняте тлумачення в українській мові (україномовних публікаціях відповідного профілю). Для узгодження термінології та полегшення сприйняття тексту представленої роботи варто привести визначення основних термінів та понять, які наведені в офіційних міжнародних та національних виданнях.

У табл. 1 представлено результати порівняння англomовних термінів та їх українських відповідників, а також визначення конкретних понять відповідно до джерел, в яких вони подані. Слід зазначити, що через відмінності у підходах до визначення термінів та понять не для всіх з них можна знайти точного відповідника іншою мовою.

Таблиця 1. Основні терміни і поняття, що використовуються при дослідженні кліматичних/погодних екстремальних подій та явищ та їх дефініції

Термін (англійською)	Визначення (англійською)	Український відповідник	Визначення українською
Extreme weather event	An event that is rare at a particular place and time of year. Definitions of "rare" vary, but an extreme weather event would normally be as rare as or rarer than the 10th or 90th percentile of the observed probability density function [3].	Екстремальна погодна подія	Екстремальне метеорологічне явище є подією, рідкісною в конкретному місці і в конкретну пору року. Визначення терміна «рідкісне» варіюється, проте екстремальне метеорологічне явище зазвичай буває таким же рідкісним, як 10-й або 90-й процентиль функції розподілу ймовірностей, що спостерігається, або рідше [3].
Extreme climate event	When a pattern of extreme weather persists for some time, such as a season, it may be classed as an <i>extreme climate event</i> , especially if it yields an average or total that is itself extreme (e.g., drought or heavy rainfall over a season) [3].	Екстремальна кліматична подія	Якщо характер екстремальної погоди зберігається деякий час, наприклад протягом пори року, то його можна класифікувати як екстремальне кліматичне явище, особливо якщо воно дає середнє або загальне значення, яке саме є екстремальним (наприклад, посуха або сильні дощові опади протягом пори року) [3].
точного відповідника не знайдено		Стихійні гідрометеорологічні явища (СГЯ)	Атмосферні явища, які за своєю інтенсивністю, періодом виникнення, тривалістю та площею поширення можуть завдати або завдали значних збитків господарству країни та населенню [4].
точного відповідника не знайдено		Небезпечні гідрометеорологічні явища (НЯ)	Атмосферні явища, які при досягненні певних значень (чи у випадку їхньої появи) можуть порушити виробничу діяльність деяких галузей національної економіки, але за своєю інтенсивністю, тривалістю та районом поширення не досягають критеріїв СГЯ [4].

Climate extreme (extreme weather or climate event)	The occurrence of a value of a weather or climate variable above (or below) a threshold value near the upper (or lower) ends of the range of observed values of the variable. For simplicity, both extreme weather events and extreme climate events are referred to collectively as 'climate extremes' [5-7].	Кліматичний екстремум (екстремальне метеорологічне чи кліматичне явище)	Досягнення метеорологічної або кліматичної змінної значення, яке вище (або нижче) деякого порога, близького до верхньої (або нижньої) межі діапазону значень, що спостерігаються даної величини. З метою спрощення, як екстремальні метеорологічні явища, і екстремальні кліматичні явища, називаються загалом «кліматичними екстремумами» [7].
Temperature extremes	Highest and lowest values of temperature attained during a given time interval [8].	Температурні екстремуми	Найвище та найнижчі значення температури, зазначені за певний проміжок часу [8].
Extreme temperature	Highest or lowest temperature attained during a specific time interval [8].	Екстремальна температура	Загальна назва для максимальної та мінімальної температури [10]. Найвище або найменше значення температури, що спостерігалася в цьому місці протягом певного проміжку часу [8].
Extreme	In climatology, the highest and, in some cases, the lowest value of a climatic element observed during a given time interval or during a given month or season of that period. If this value were the greatest extreme for the whole period of record for which observations are available, the value would be the absolute extreme [9].	Екстремальне значення (екстремум, крайнє значення)	Найбільше та найменше значення (максимум і мінімум) метеорологічного елемента в добовому або річному ході, тобто за добу або за рік. Синоніми: екстремуми, крайні значення [10]. Екстремальне значення: максимум або мінімум [10].
Absolute (extreme)	In climatology, the highest or lowest recorded value of a meteorological element, whether at a single station or over an area, during a given period [9].	Абсолютні екстремуми	Найбільше чи найменше значення метеорологічної величини за багаторічний період [11]. Абсолютний максимум, абсолютний мінімум [10].
Heat wave	Marked warming of the air, or the invasion of very warm air, over a large area; it usually lasts from a few days to a few weeks [8]. A period of abnormally hot weather [5].	Хвиля тепла	Вторгнення холодної [теплої]. повітряної маси на велику територію, що призводить до істотного зниження [підвищення]. температури повітря [11].
Warm spell	A period of abnormally warm weather. Heat waves and warm spells have various and in some cases overlapping definitions [5].	Спекотний період	Період аномально спекотної погоди [12].
Absolute monthly maximum temperature	The highest monthly maximum temperature observed in a specific calendar month over a specific period of years [8].	Абсолютний максимум (температури повітря)	Найбільше (найвище) значення метеорологічної величини з усіх, що спостерігалися за багаторічний період у цьому місці, області, країні, на півкулі або на всій земній кулі. Можна брати А. М. також календарного місяця чи дня року, напр. А. М. температури за січень - найвища температура, що спостерігалась за багаторічний період у січні [10].
Absolute monthly minimum temperature	The lowest monthly minimum temperature observed in a specific calendar month over a specific period of years [8].	Абсолютний мінімум (температури повітря)	Найменше (найнижче) значення метеорологічної величини за багаторічний період у цьому місці, області, країні, на півкулі або на всій земній кулі. А. М. можна брати і для календарного місяця чи року [10].

точного відповідника не знайдено		Комплексний кліматологічний показник	Кліматологічний показник певних поєднань значень метеорологічних величин [11].
точного відповідника не знайдено		Кліматологічний показник	Статистичний параметр, що характеризує метеорологічну величину або атмосферне явище [11].
Climatic index	Number which characterizes a climate as a function of the main climatic elements [8].	Кліматологічний індекс	Чисельний показник, що характеризує клімат як функцію основних метеорологічних величин [11]. Чисельний показник, що характеризує клімат як функцію основних метеорологічних елементів [8]. Часовий ряд, побудований за кліматичними змінними, що дає загальне резюме стану кліматичної системи [12]
Return period	An estimate of the average time interval between occurrences of an event (e.g., flood or extreme rainfall) of (or below/above) a defined size or intensity [6].	Період повторюваності	Період повторюваності Оцінка середнього часового інтервалу між настаннями події (наприклад, паводок або екстремальні опади) певного масштабу або інтенсивності (або нижче/вище за них) [12].
Climate threshold	A critical limit within the climate system that induces a non-linear response to a given forcing [6].	Пороговий кліматичний параметр	Межа в рамках кліматичної системи, при виході за яку виникає нелінійна реакція на цей вплив [13].
Extreme daily maximum temperature [5].		Екстремальні добові максимальні температури [8].	
Severe weather	Any atmospheric condition potentially destructive or hazardous for human beings. It is often associated with extreme convective weather [8].	Суворя погода	Будь-які потенційно деструктивні чи небезпечні для людей атмосферні умови. Часто пов'язується з екстремальною конвективною погодою [8].

Методи кліматологічних дослідження екстремальних погодних подій та явищ.

Першим етапом більшості сучасних досліджень екстремальності клімату є робота над базою даних первинної метеорологічної інформації, на основі якої буде здійснено подальший аналіз, а саме підбір метеорологічних параметрів з необхідною просторово-часовою роздільною здатністю, адже це є важливим для проведення аналізу на наступних етапах. У табл. 2 представлено характеристики вихідних баз даних, які були використані при проведенні різних національних та міжнародних досліджень (просторова роздільна здатність даних у таблиці задану у випадку їх інтерполяції на регулярну сітку).

Як видно з табл. 2, за просторовим масштабом регіону вивчення, проведені дослідження можна поділити на наступні: 1. Дослідження глобального масштабу, які за територією охоплюють або близькі до охоплення частини світу. 2. Дослідження на міжнаціональному рівні, які охоплюють територію декількох, зазвичай, сусідніх країн. При глобальних та міжнаціональних дослідженнях виникає проблема, яка полягає в тому, що в них використовуються різні національні метеорологічні бази даних, які можуть містити деякі відмінності в методиці обробки інформації, типах приладів, що використовуються в мережі, та наявності чи відсутності проведених гомогенізаційних процедур, які до того ж можуть бути виконані за допомогою різних методів. Внаслідок цього порівняння отриманих результатів між країнами, території яких досліджуються, є ускладненим. 3. Дослідження регіонального масштабу, які територіально охоплюють частину країни. 4. Локальні дослідження, які за досліджуваною територією є найменшими та охоплюють невелику

територію, наприклад, місто або навіть, головним чином, базуються на даних спостережень однієї станції.

Таблиця 2. Огляд вихідних баз даних сучасних досліджень екстремальності клімату з різною просторово-часовою роздільністю.

Дослідження, Регіон	Період дослідження	Кількість станцій	Роздільність		Метеорологічні величини
			Просторова	Часова	
Німеччина та сусідні країни (міжнародний) [14]	1951-2015	1300	5 × 5 км	добова	TM, TX, TN, F
Глобальний [15]	1901-2018	7000 / 17000	1.88° × 1.25°	добова	TX, TN, PP
КНР (національний) [16]	1951-2010	825	-	добова	TX, TN
США (регіональний) [17]	1870-2005	40	-	добова	TM, TX, TN, PP
Північ Італії (регіональний) [18]	1981-2016	50	-	добова	TM, TN, TX
Бразилія (національний) [19]	1980-2005	-	0.25°×0.25°	добова, строкова	TM, TX, TN, PP
Румунія (національний) [20]	1961-2010	60	-	місячна сезонна	TM, F
Європа (глобальний) [22]	1979-2017	-	0.25°×0.25°	місячна сезонна річна	TM, TX, TN, PP та ін.
Європа (глобальний) [23]	1981-2005	-	25 × 25 км	добова	TN, TX, PP
Іран (національний) [24]	1981-2010	76	-	добова	TM, TX, TN, PP
Ізраїль (національний) [25]	1950-2017	24 / 60	-	добова	TM, TX, TN, PP
Туреччина (національний) [26]	1971- 2004	100	-	добова	TM, TX, TN, PP
Асмера (локальний) [27]	1914- 2015	1	-	добова	TN, TX, PP
Європа (глобальний) [29]	1946-1999	> 100	-	добова	TM, TX, TN, PP
Марокко (національний) [30]	1970-2012	20	-	добова	TM, TX, TN, PP
Центральна та Південна Азія (глобальний) [31]	1961-2000	116	-	добова	TN, TX, PP
Грузія (національний) [32]	1971-2010	10 / 24	-	добова	TN, TX, PP
Канада (національний) [33]	1950-2011	293		добова	TN, TX, PP
Балтійський регіон (глобальний) [34]	1965-2005	-	0.25°×0.25°	добова	TM, TX, TN, PP
Південний схід США (регіональний) [35]	1948-2012	200	-	добова	TN, TX, PP
Європа (глобальний) [36]	1901-2000	230	-	добова	TN, TX, PP
Україна (національний) [37]	71-137 років	16	-	добова	TM, TX, TN, PP

Примітка. TM - середня температура повітря; TX - максимальна температура повітря; TN - мінімальна температура повітря; PP - добова сума опадів; F - відносна вологість.

Підхід до досліджень відрізняється також і за вибором часового періоду дослідження. Він становить від 20 до понад 100 років. Однак, більшість досліджень виконано для періоду 30-40 років або ж 100 років у випадку глобальних досліджень. Кількість станцій мережі метеорологічних спостережень, включених у дослідження,

залежить від розміру досліджуваної території. Так, для досліджень глобального масштабу кількість станцій може сягати від декількох сотень до однієї або ж декількох тисяч, тоді як для національного та регіонального масштабів – від декількох десятків до декількох сотень станцій. А для локального масштабу від однієї – до десятка станцій. Також кількість станцій дослідження часто не є однаковою для різних метеорологічних величин. Просторова роздільність емпіричних даних залежить від середньої відстані між станціями мережі, використаної в дослідженні. Однак, у випадку проведення інтерполяції станційних даних у вузли регулярної сітки є змога підвищити просторову роздільність до необхідного високого значення, такою є, наприклад, роздільність в $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ [19, 22, 34]. Оскільки екстремальні погодні явища характеризуються короткою тривалістю (від декількох годин до декількох днів), то і часова роздільність вихідних даних для досліджень зміни екстремальності клімату повинна мати добову роздільність. Тоді як аналіз кліматичних індексів вже можна проводити за сезоном або роком.

Для дослідження екстремальності клімату в більшості робіт використовують наступні набори основних кліматологічних показників/параметрів: середня, максимальна та мінімальна за добу приземна температура повітря і добова сума опадів. Іноді використовують тільки екстремальні температури та атмосферні опади, рідше в поєднанні з температурами використовують відносну вологість. Вибір набору метеорологічних параметрів є важливим етапом роботи з огляду на те, що відсутність певного параметра, потрібного для розрахунку відповідних індексів, унеможливорює розгляд вразливості регіонів до екстремальних погодних умов, що притаманні для екстремальних значень відповідного параметра. Після підбору параметрів, що формують базу даних, важливим етапом є контроль якості та гомогенізація часових рядів метеорологічних даних з метою виявлення та видалення помилкових значень та усунення кліматологічної неоднорідності (різких зсувів чи плавних трендів), не пов'язаної зі зміною клімату. Без належного контролю за такими штучними не кліматичними сигналами неможливо проводити подальший аналіз, особливо якщо мова йде про дослідження кліматичних змін, адже результати не можна буде вважати надійними [38-40].

Основні індекси, які використовуються для досліджень кліматологічних аспектів екстремальних кліматологічних/погодних подій. На наступному етапі в сучасних дослідженнях екстремальності клімату виконують розрахунок індексів екстремальності (використовуючи, наприклад, такі програмні застосунки як RClimDex [28] або climate4R [29], які також дають змогу проводити базовий контроль якості вхідних даних та інші розрахунки) і проводять фізико-статистичний аналіз їх часових рядів, включаючи аналіз трендів. Вибір індексів екстремальності в першу чергу обумовлений наявними/обраними рядами метеорологічних величин. Більш деталізований підбір індексів залежить від подальшого запланованого аналізу в дослідженні. В більшості проаналізованих дослідженнях застосовують набір з переліку 27 основних індексів екстремальності, які розраховуються на основі даних приземної температури повітря та атмосферних опадів [17, 25-27, 31-32, 36]. Ці індекси є стандартизованими та рекомендованими Експертною групою з виявлення зміни клімату та індексів (ETCCDI) [42]. До даного набору входять як індекси тривалості (duration indices), індекси інтенсивності (intensity indices), так і частотні індекси (frequency indices). Перевагою використання стандартизованих індексів є можливість порівнювати отримані результати між різними часовими періодами, регіонами досліджень та наборами даних. Їх можна розраховувати як на основі станційних даних, так і на основі проінтерпольованих у вузли регулярної сітки даних, як для року, так і для окремих місяців.

Сучасні дослідження екстремальних подій клімату/погоди в Україні. Для території України було проведено низку кліматологічних досліджень екстремальних погодних подій та явищ. Дослідження були проведені в Українському гідрометеорологічному інституті, Київському університеті імені Тараса Шевченка та Одеському державному екологічному університеті [38, 44-56]. Загалом, сучасні дослідження з даної проблематики в Україні зосереджують свою увагу на кількості та частоті прояву екстремальних явищ погоди. Ці дослідження базуються на аналізі

довгострокових спостережень за основними кліматологічними величинами: середньою, максимальною і мінімальною температурою повітря та сумою опадів. Виконано районування території України за впливом екстремальних значень температури повітря [44]. Для аналізу використано дані 186 станцій за період 1991-2014 рр. (24 роки). Виявлено зростання кількості екстремальних погодних умов та випадків СГЯ. Проведено оцінку впливу екстремальних значень температури повітря на силу кореляційного зв'язку між 13 метеорологічними параметрами [45]. В цьому та попередньому випадку для аналізу були використані ряди максимальної температури повітря і, відповідно, були досліджені екстремальні явища погоди, що характеризуються високими температурами. Досліджено зміни в режимі екстремальних погодних явищ України за регіонами для 8 явищ [46] для періоду 1981–2010 років. Виявлено значні зміни повторюваності та інтенсивності найпоширеніших екстремальних погодних явищ. Проаналізовано частоту повторення, середню та максимальну інтенсивності за кожним з адміністративних регіонів України для восьми явищ екстремальної погоди, які найчастіше трапляються. Відповідно до дослідження, зросла частота та інтенсивність сильних снігопадів, сильних руйнівних злив, шквалів та граду.

Таблиця 3. Перелік 27 основних індексів екстремальності клімату рекомендованих Експертною групою з виявлення зміни клімату та індексів (ETCCDI) [43].

Позначення	Опис	Одиниці
Температурні індекси		
FD	Річна кількість днів, коли $TN < 0^{\circ}C$.	день
SU	Річна кількість днів, коли $TX > 25^{\circ}C$.	день
ID	Річна кількість днів, коли $TX < 0^{\circ}C$.	день
TR	Річна кількість днів, коли $TN > 20^{\circ}C$.	день
GSL	Річна кількість днів між першим проміжком з принаймні 6 днями $TM > 5^{\circ}C$ та першим проміжком після 1 липня із 6 днями із $TM < 5^{\circ}C$.	день
TXx	Максимальне значення добової максимальної температури за місяць	$^{\circ}C$
TNx	Максимальне значення добової мінімальної температури за місяць	$^{\circ}C$
TXn	Мінімальне значення добової максимальної температури за місяць	$^{\circ}C$
TNn	Мінімальне значення добової мінімальної температури за місяць	$^{\circ}C$
TN10p	Кількість днів, коли $TN < 10$ -й перцентиль	день
TX10p	Кількість днів, коли $TX < 10$ -й перцентиль	день
TN90p	Кількість днів, коли $TN > 90$ -й перцентиль	день
TX90p	Кількість днів, коли $TX > 90$ -й перцентиль	день
WSDI	Річна кількість днів із принаймні 6 послідовними днями, коли $TX > 90$ -й перцентиль	день
CSDI	Річна кількість днів із принаймні 6 послідовними днями, коли $TN < 10$ -й перцентиль	день
DTR	Добова різниця між TX та TN	$^{\circ}C$
Індекси опадів		
Rx1day	Місячний максимум опадів за 1 день	мм
Rx5day	Максимальна місячна кількість опадів 5 днів поспіль	мм
SDII	Річна загальна кількість опадів, поділена на кількість днів з опадами	мм/день
R10mm	Річна кількість днів, коли опади $RR \geq 10$ мм	день
R20mm	Річна кількість днів, коли опади $RR \geq 20$ мм	день
Rnnmm	Річна кількість днів, коли опади $RR \geq nn$ мм, де nn – визначений користувачем поріг.	день
CDD	Максимальна кількість послідовних днів з $RR < 1$ мм	день
CWD	Максимальна кількість послідовних днів із $RR \geq 1$ мм	день
R95p	Річна кількість опадів, коли $RR > 95$ -й перцентиль	мм
R99p	Річна кількість опадів, коли $RR > 99$ -й перцентиль	мм
PRCPTOT	Річна загальна кількість опадів у дні з опадами ($RR \geq 1$ мм)	мм

В найновіших публікаціях досліджено персистентні тренди для 25 індексів екстремальності температури та опадів [38]. Використано добові ряди середньої, максимальної, мінімальної температури повітря та добової суми опадів. Для території України було проаналізовано 16 станцій мережі спостережень. Часовий період дослідження є різним для різних індексів і становить від 71 до 137 років. Встановлено, що

зросла кількість літніх днів, теплих днів, тропічних ночей та тривалості теплої періоду, водночас відбулося зменшення морозних днів, холодних ночей та тривалості холодного періоду до найменшого за період спостереження рівня на переважній частині досліджуваної території. Збільшилася кількість днів з опадами та кількість послідовних днів з опадами.

Ще одним підходом, що використовується при дослідженні екстремальності клімату є розгляд конкретних екстремальних погодних умов та синоптичних ситуацій, що призвели до них [47, 48]. Дані дослідження було виконано для території України для періоду від 13 до 30 років. Проаналізовано повторюваність спекотних днів, тропічних ночей та морозних днів і ночей при різних типах циркуляційних процесів [47]. Було встановлено, що такі екстремальні умови спостерігаються за схожих циркуляційних умов. Подібного розгляду потребують й індекси екстремальності опадів. Перевагою даного дослідження є те, що вихідними даними слугували проінтерпольовані у вузли регулярної сітки добові ряди максимальної та мінімальної температури повітря з роздільністю $0.75^\circ \times 0.75^\circ$. Деякі дослідження присвячено дослідженню окремих виявів екстремальних погодних умов, а саме відкладення ожеледі для періоду 2001-2013 років в залежності від умов різних метеорологічних величин [48]. У даному випадку індекси екстремальності клімату не використовувались.

На протипагу такому підходу може виступити інший, коли для досліджуваної території розглядають декілька явищ екстремальної погоди на основі одного індексу [49]. Використано ряди добової максимальної температури повітря для ідентифікації температурних аномалій (так званих хвиль підкачки та хвиль тепла) та дослідження їх просторово-часового розподілу за допомогою індексу магнітуди теплової хвилі (HWMl - визначається як максимальна річна магнітуда хвиль тепла, де хвиля тепла - це період понад 3 послідовних днів з максимальною температурою вище добового порогу) для періоду 1961-2010 років. Встановлено загальну тенденцію до зростання частоти повторюваності хвиль тепла.

Основні тенденції досліджень екстремальних кліматичних/погодних подій у світі. У світовій практиці дослідження екстремальності клімату виконуються за більш комплексною процедурою. Дослідження кліматологічних аспектів екстремальних подій проводять на основі довгих часових рядів даних, які пройшли перевірку якості та були гомогенізовані, оскільки не гомогенізовані ряди, можуть сильно спотворювати реальну картину (кількісну інформацію) щодо тривалості, інтенсивності чи кількості екстремальних кліматичних/погодних подій [57].

Регіон дослідження може бути як національним, так і міжнародним або ж глобальним. До держав, що активно досліджують тематику екстремальності клімату належать: Німеччина, Італія, КНР, США, Ізраїль, Бразилія, Румунія та інші країни [14-27]. Висока просторова роздільність вихідних метеорологічних даних та використання гомогенізаційних процедур у таких дослідженнях [14-15, 19, 22] є великою перевагою над тими дослідженнями, де не проводиться інтерполяція станційних даних. Сучасні дослідження змін екстремальності клімату часто виконуються **на глобальному та міжнародному рівнях**. Створено проінтерпольовану базу даних добових середньої, мінімальної та максимальної температури повітря а також відносної вологості для регіону Центральної Європи (HYRAS) [14]. В результаті отримано проінтерпольовані дані з просторовою роздільною здатністю 5 на 5 км для більш ніж 1300 станцій для 1951-2015 років. На основі такої бази даних проведено аналіз хвиль тепла 2003 року в Європі та хвилі тепла 2015 на півдні Німеччини. Проведено аналіз трендів декількох індексів екстремальності, а саме: літніх днів (su) – днів з максимальною температурою повітря вище 25°C , спекотних днів (hd) – з максимальною температурою повітря вище 30°C , морозних днів (fd) – з мінімальною температурою повітря нижче 0°C . Такий ретроспективний аналіз є відмінною ілюстрацією для кількісного співставлення конкретних екстремальних погодних умов та економічних збитків, завданих ними.

Серйозним викликом для досліджень на глобальному масштабі є необхідність використання єдиної процедури гомогенізації, котра була б застосована для всіх національних чи регіональних наборів даних. Це пов'язано з дуже великою кількістю даних, а також з тим, що на національному рівні існують відмінності в інструментальній базі та методах спостережень. У свою чергу, ця особливість досліджень на глобальному

рівні є ще однією важливою причиною для проведення гомогенізації. Деякі дослідження охоплюють глобальні просторові масштаби. Так, в [15] створено глобальну базу даних індексів екстремальності для температури повітря та опадів (HadEX3). Вона створена для періоду 1901-2018 років та в її основі лежать дані 7000 станцій для максимальної та мінімальної температур і 17000 станцій для опадів. Просторова роздільність інтерполяційної сітки складає $1.88^{\circ} \times 1.25^{\circ}$, а часова роздільність вхідних часових рядів – добова. В результаті отримано базу даних рядів 17 температурних та 12 опадових індексів екстремальності. Велике просторове охоплення даних потребує високої обережності з інтерпретуванням отриманих результатів. Створено атлас понад 100 основних кліматичних індексів для періоду 1979-2017 років для території Європи [22]. Дослідження виконано з високою просторовою роздільністю, а саме - $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$. Отримано результати з різною часовою роздільністю: місячною, сезонною та річною. Виконано дослідження майбутніх температурних та опадових екстремальних явищ (хвиль тепла, періодів похолодань, сильних опадів та ін.) для території Європи на основі поєднання статистичних та динамічних підходів [23]. Дослідження виконано на основі сіткових (з просторовою роздільністю 25×25 км) даних добових рядів мінімальної та максимальної температури опадів та добових сум опадів для періоду 1981-2005 років. Прогнозується сильне зростання частоти та амплітуди для екстремумів максимальної температури повітря та зниження для екстремумів мінімальної температури. Одночасно очікується як збільшення кількості днів з сильними опадами в конкретні пори року для певних регіонів, так і збільшення частоти проявів посух для інших.

Поряд з тим, велику кількість досліджень з даної тематики в світі виконано на національних рівнях [16, 20-21, 24-25]. В КНР [16] проведено гомогенізацію часових рядів добових значень приземної температури повітря та аналіз трендів температурних індексів екстремальності. Зазначені процедури виконано на основі даних 825 станцій, для періоду дослідження 1951-2010 рр. Встановлено, що у близько 85% станцій виявлено значно більше теплих ночей і менше холодних ночей з 1951 року. Значну увагу приділяють дослідженню просторово-часової мінливості індексів екстремальності [20-21]. Зокрема, досліджено мінливість в просторі та часі індексу температурного навантаження (ITU) для періоду 1961-2010 років для 60 станцій в Румунії. Аналіз індексів виконано з місячною та сезонною роздільністю. Використання статистичних моделей дозволяє проводити дослідження з високою просторовою роздільністю. В [24] виконано оцінку зміни екстремальності температурного та опадового режимів для території Ірану. Для цього було використано 11 кліматичних індексів, проведено аналіз трендів для періоду 1981-2010 років. Виявлена загальна зростаюча тенденція в температурних індексах, що характеризують максимальну температуру повітря, від'ємні тренди індексів, що характеризують інтенсивність та кількість опадів та збільшення кількості послідовних днів без опадів. Дослідженню екстремальності клімату часто передують процедури відносної гомогенізації за допомогою сучасних гомогенізаційних процедур. В [25] вона була застосована до вхідної бази даних добових значень середньої, максимальної, мінімальної температури повітря та атмосферних опадів 1950-2017 років. Це було зроблено з метою усунення або зменшення некліматичного сигналу та для того, щоб отримати більш надійні результати в трендовому аналізі. Зазначається, що неоднорідності були знайдені майже у всіх рядах і без гомогенізаційної процедури результати подальшого аналізу не можна було б вважати достовірними. Виконано розрахунки 38 індексів екстремальності. Проведено розрахунок трендів індексів для двох часових періодів: 1950-2017 та 1988-2017 років. Результати показали сильні зміни екстремальних температур, які вказують на потепління, особливо серед індексів, що базуються на добовій мінімальній температурі. Також виявлено зменшення загальної кількості опадів та кількості днів з опадами та, водночас, тенденцію до збільшення інтенсивності днів з опадами.

Дослідження екстремальності клімату проводять і на **регіональному та локальному рівнях**. В США [17] проведено дослідження зміни індексів екстремальності клімату для південно-східної частини території. В дослідженні використано довгі часові ряди 40 станцій для періоду 1870-2005 років. Проведено розрахунки для 27 індексів екстремальності клімату для трьох часових періодів. Температурні індекси показали сильне потепління разом з підвищенням частоти екстремальних температурних явищ та зменшення частоти екстремальних явищ, пов'язаних з низькими температурами. В

індексах опадів виявлено слабку тенденцію до більш вологих умов. Регіональні зміни екстремальних температур також досліджують в поєднанні з великомасштабною циркуляцією атмосфери [18]. Проведено аналіз сучасних (для періоду 1981-2016 років) змін в режимі температури повітря північно-східного регіону Італії. Проведено аналіз річних та сезонних трендів середньої, максимальної та мінімальної температури повітря та окремих індексів екстремальності клімату для 50 станцій мережі метеорологічних спостережень. Результати показали загальне потепління, особливо навесні та влітку. Встановлено сильний зв'язок між північно-атлантичним коливанням (NAO) та спостережуваними температурними тенденціями на досліджуваній території. У випадку дослідження на локальному рівні проводиться аналіз екстремальності клімату за набором метеорологічних показників для однієї або кількох станцій, з можливістю використання даних сусідніх станцій для проведення контролю якості та гомогенізації. Наприклад, в [27] проведено оцінку температурної мінливості та екстремальності клімату для м. Асмери (Еритрея) протягом 1914-2015 років. В якості основи для аналізу виступають добові ряди максимальної, мінімальної температури повітря та добової суми опадів. Проведено контроль якості та гомогенізацію первинних рядів. Для проведення подальшого аналізу було обрано 8 температурних та 10 опадових індексів екстремальності, розрахунки було здійснено за допомогою R пакету RClimDex [28]. Результати свідчать про сильну мінливість температурного режиму досліджуваної території. Щодо результатів аналізу трендів рядів опадів, то автори зазначають, що кількість референтних рядів для оцінки достовірності результатів не є достатньою.

Висновки. У роботі проаналізовано сучасний стан досліджень кліматичних змін екстремальності клімату в Україні та у світі. Екстремальні погодні явища становлять небезпеку, мають прямий чи опосередкований вплив на всі сфери діяльності людини. Прогнозується сильне зростання частоти та амплітуди для екстремумів максимальної температури повітря та зниження для екстремумів мінімальної температури. Одночасно очікується як збільшення кількості днів з сильними опадами в конкретні пори року для певних регіонів, так і збільшення частоти проявів посух для інших. Проведено огляд вихідних баз даних сучасних досліджень екстремальності клімату з різною просторово-часовою роздільністю. Виконано типізацію досліджень з екстремальності за регіоном дослідження, часовим періодом дослідження, просторово-часовою роздільністю, набором метеорологічних величин та індексів екстремальності, на основі яких проводиться дослідження.

Відмічено, що в зарубіжних дослідженнях обраної тематики велику увагу приділяють контролю якості та гомогенізації первинної метеорологічної інформації. В той же час, вплив кліматологічної неоднорідності (станційних сигналів), що може бути присутня у рядах добових значень температури повітря та атмосферних опадів, на розраховані значення індексів екстремальності клімату і їх трендів є слабо вивченим в Україні. Тому наступні дослідження варто присвятити проведенню контролю якості та гомогенізації бази даних добових значень метеорологічних величин, а також подальшому аналізу змін режиму екстремальних кліматичних явищ/подій України на основі довгих рядів добових значень середньої, максимальної і мінімальної приземних температур повітря та атмосферних опадів з використанням широкого набору описаних індексів екстремальності клімату.

Список літератури

1. Arias, P., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R., Krinner, G., Marotzke, J., Naik, V., Palmer, M., Plattner, G.-K., Rogelj, J., Rojas, M., Sillmann, J., Storelvmo, T., Thorne, P., Trewin, B., Achutarao, K., Adhikary, B., Allan, R., Armour, K. and Bala, G. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Technical Summary*. 2021. [online] elib.dlr.de. DOI: <https://elib.dlr.de/137584/>
2. Stephenson D. B. Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events. *Climate Extremes and Society* / ed. by H. F. Diaz, R. J. Murnane. Cambridge. P. 11–23. DOI: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511535840.004>
3. Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds., 2008: *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
4. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. Київ: Український гідрометеорологічний центр,

2012. 120 c.

5. Field, C.B. and IPCC (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

6. IPCC, 2012: Glossary of terms. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 555-564.

7. IPCC, 2012: Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 3-21.

8. WMO. International Meteorological Vocabulary. 2nd ed. Secretariat of World Meteorological Organization, 1992. 784 p.

9. AMS, 2000: AMS Glossary of Meteorology, 2nd Edition. American Meteorological Society, Boston, MA. <http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browse>

10. Хромов, С. П. Метеорологический словарь / С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1974. – 568 с.

11. Кліматологія. Терміни та визначення основних понять. - ДСТУ 3992 - 2000. - Київ: Держстандарт України, 2001. - 40 с.

12. Stocker, T., Qin, D., Plattner, G.-K., On, P. and Al, E. Climate change 2013: the physical science basis: working Group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: *Cambridge University Press*, Cop. 2014.

13. IPCC Climate change 2014: mitigation of climate change: Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, Ny: Cambridge University Press. 2014.

14. Razafimaharo, C., Krähenmann, S., Höpp, S., Rauthe, M. and Deutschländer, T. New high-resolution gridded dataset of daily mean, minimum, and maximum temperature and relative humidity for Central Europe (HYRAS). *Theoretical and Applied Climatology*. 2020. №. 142. P. 1531-1553 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03388-w>

15. Dunn, R.J.H., Alexander, L.V., Donat, M.G., Zhang, X., Bador, M., Herold, N., Lippmann, T., Allan, R., Aguilar, E., Barry, A.A., Brunet, M., Caesar, J., Chagnaud, G., Cheng, V., Cinco, T., Durre, I., Guzman, R., Htay, T.M., Wan Ibadullah, W.M. and Bin Ibrahim, M.K.I. Development of an updated global land in situ based data set of temperature and precipitation extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2020. Vol. 125. №. 16. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019jd032263>

16. Xu, W., Li, Q., Wang, X.L., Yang, S., Cao, L. and Feng, Y. Homogenization of Chinese daily surface air temperatures and analysis of trends in the extreme temperature indices. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2013. Vol. 118. №. 17. P. 9708-9720. DOI: <https://doi.org/10.1002/jgrd.50791>

17. Brown, P. J., Bradley, R.S., and Keimig, F.T. Changes in extreme climate indices for the Northeastern United States, 1870–2005. *Journal of Climate*. 2010. №. 23(24). P. 6555–6572. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010jcli3363.1>

18. Di Bacco, M., Scorzini, A.R. Recent changes in temperature extremes across the north-eastern region of Italy and their relationship with large-scale circulation. *Climate Research*. 2020. №. 81. P. 167-185. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr01614>

19. Avila-Diaz, A., Abrahão, G., Justino, F., Torres, R., and Wilson, A. Extreme climate indices in Brazil: Evaluation of downscaled Earth system models at high horizontal resolution. *Climate Dynamics*. 2020. №. 54. P. 5065-5088. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05272-9>

20. Dobrinescu, A., Busuioc, A., Bîrsan, M. V., Ștefan, S., and Orzan, A. Spatial and temporal variability of the thermal stress index in Romania. EGU General Assembly. 2013. Vienna, Austria. EGU 2013–11217. №. 15.

21. Dima A., Busuioc A., Dumitrescu, A. Changes in summer thermal stress index in Romania using a statistical downscaling model. 16th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applied Climatology (ECAC). 2016. Trieste, Italy.

22. Peña-Angulo, D., Reig-Gracia, F., Domínguez-Castro, F., Revuelto, J., Aguilar, E., van der Schrier, G., Vicente-Serrano, S.M. ECTACI: European climatology and trend atlas of climate indices (1979–2017). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2020. 2020. Vol. 125. №. 16. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020jd032798>.

23. Cardell, M.F., Amengual, A., Romero, R., Ramis, C. Future extremes of temperature and

precipitation in Europe derived from a combination of dynamical and statistical approaches. *International Journal of Climatology*. 2020. Vol. 40. №. 11. P. 4800–4827. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6490>

24. Fathian, F., Ghadami, M., Haghighi, P., Amini, M., Naderi, S. and Ghaedi, Z. Assessment of changes in climate extremes of temperature and precipitation over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. №. 141. P. 1119–1133. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03269-2>

25. Yosef Y., Aguilar E., Alpert, P. Changes in extreme temperature and precipitation indices: Using an innovative daily homogenized database in Israel. *International Journal of Climatology*. 2019. Vol. 39, №. 13. P. 5022–5045. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6125>

26. Sensoy, S., Demircan, M. and Alan, I. Trends in Turkey Climate Extreme Indices from 1971 to 2004. BALWOIS. 2008. Ohrid, Republic of Macedonia. 27 - 31 May 2008.

27. Fessehaye, M., Brugnara, Y., Savage, M.J. and Brönnimann, S. A note on air temperature and precipitation variability and extremes over Asmara: 1914–2015. *International Journal of Climatology*. 2019. №. 39(14). P. 5215–5227. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6134>

28. RCLimDex. Github. URL: <https://github.com/ECCC-CDAS/RCLimDex>.

29. M. Iturbide, J. Bedia, S. Herrera, J. Baño-Medina, J. Fernández, M.D. Frías, R. Manzananas, D. San-Martín, E. Cima-devilla, A.S. Cofiño and JM Gutiérrez. The R-based climate4R open framework for reproducible climate data access and post-processing. *Environmental Modelling & Software*. 2019. №. 111. P. 42-54. DOI: [/10.1016/j.envsoft.2018.09.009](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.09.009)

30. Klein Tank, A. M. G., Können, G. P. Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *Journal of Climate*. 2003. Vol. 16. №. 22. P. 3665–3680. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016%3C3665:tiodt%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016%3C3665:tiodt%3E2.0.co;2)

31. Filahi, S., Tanarhte, M., Mouhir, L., El Morhit, M. and Trambly, Y. Trends in indices of daily temperature and precipitations extremes in Morocco. *Theoretical and Applied Climatology*. 2015. №. 124(3-4), P. 959–972. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1472-4>

32. Klein Tank, A.M.G., Peterson, T.C., Quadir, D.A., Dorji, S., Zou, X., Tang, H., Santhosh, K., Joshi, U.R., Jaswal, A.K., Kolli, R.K., Sikder, A.B., Deshpande, N.R., Revadekar, J.V., Yeleuova, K., Vandasheva, S., Faleyeva, M., Gomboluudev, P., Budhathoki, K. P., Hussain, A. and Afzaal, M. Changes in daily temperature and precipitation extremes in central and south Asia. *Journal of Geophysical Research*. 2006 №. 111(D16). P. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005JD006316>

33. Keggenhoff, I., Elizbarashvili, M., Amiri-Farahani, A. and King, L. Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971–2010. *Weather and Climate Extremes*. 2014. №. 4. P. 75–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2014.05.001>

34. Tencer, B., Weaver, A. and Zwiers, F. Joint Occurrence of Daily Temperature and Precipitation Extreme Events over Canada. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2014. №. 53(9). P. 2148–2162. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-13-0361.1>

35. Toll, V. and Post, P. Daily temperature and precipitation extremes in the Baltic Sea region derived from the BaltAn65+ reanalysis. *Theoretical and Applied Climatology*. 2017. №. 132(1-2). P. 647–662. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2114-9>

36. Powell, E.J. and Keim, B.D. Trends in Daily Temperature and Precipitation Extremes for the Southeastern United States: 1948–2012. *Journal of Climate*. 2015. №. 28(4). P. 1592–1612. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00410.1>

37. Moberg, A., Jones, P. D., Lister, D., Walther, A., Brunet, M., Jacobeit, J., Alexander, L.V., Della-Marta, P. M., Luterbacher, J., Yiou, P., Chen, D., Klein Tank, A.M.G., Saladié, O., Sigró, J., Aguilar, E., Alexandersson, H., Almarza, C., Auer, I., Barriendos, M. and Begert, M. Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901–2000. *Journal of Geophysical Research*. 2006. №. 111(D22). P. 1-25. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006JD007103>

38. Bohushenko, A., Stepanenko, S., and Khomenko, I. Detecting climate change in Ukraine: trends, prediction and extreme events. *EGU General Assembly*, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-6197, DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-6197>

39. Скриник О.А., Осадчий В.І., Сіденко В.П., Бойчук Д.О., Ошурок Д.О., Скриник О.Я. Гомогенізована база даних довгих часових рядів середньої місячної температури. *Геоінформатика*. 2018. №. 1. С. 54-68.

40. Скриник О.А., Бойчук Д.О., Сіденко В.П. Виявлення та усунення кліматологічної неоднорідності у часових рядах кліматологічних показників. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. №. 2 (53). С. 88-100.

41. Skrynyk O, Aguilar E, Skrynyk O, Sidenko V, Boichuk D, Osadchy V. Quality control and homogenization of monthly extreme air temperature of Ukraine. *International Journal of Climatology*. 2019. №. 39 P. 2071–2079. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5934>

42. Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). World Climate Research Programme. URL: <https://www.wcrp-climate.org/etccdi>

43. The list of 27 climate extremes indices. Climdex. URL: <https://www.climdex.org/learn/indices/>

44. Савчук, С. В., Ювченко, Н. М., Тимофеев, В. Є. Районування України по впливу екстремальних значень максимальної температури повітря у теплий та холодний періоди року. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. №. 22. С. 46-56.
45. Савчук С.В., Тимофеев В.Є., Щеглов О.А., Артеменко В.А., Козленко І.Л. Кореляційний зв'язок між метеорологічними величинами при екстремальних значеннях максимальної температури повітря. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2020. №. 1(56). С. 101–112. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.11>.
46. Extreme Weather Events in Ukraine: Occurrence and Changes / V. Balabukh et al. *Extreme Weather*. 2018. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.77306>
47. Уманська, О. В., Боровська, Г. О., Хохлов, В. М. Вплив синоптичної ситуації на виникнення спекотних та холодних погодних умов в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2019. №. 24. С. 33-40.
48. Пясецька С.І., Гребенюк Н.П., Савчук С.В. Визначення кореляційного зв'язку між окремими метеорологічними величинами у дати початку відкладення ожеледі на території України по місяцях холодного періоду року протягом 2001-2013 рр. та їх просторовий розподіл. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. №. 4(55). С. 140-151. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.12>.
49. Шевченко О., Сніжко С., Олійник Р., Костирко І. Індикатори температурних аномалій регіонального клімату. *Географія*. 2018. №. 4(73) С. 15-19.
50. Ліпінський В.М., Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Активізація стихійних метеорологічних явищ на території України – прояв глобальних змін клімату. *Український географічний журнал*. 2007. №. 2. С. 11-20.
51. Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Динаміка стихійних метеорологічних явищ в Україні. *Український географічний журнал*. 2012. №. 4. С. 8-14.
52. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986 – 2005рр.) / За ред. В.М. Ліпінського, В.І. Осадчого, В.М.Бабіченко. – К.: Вид-во “Ніка-Центр”, 2006. – 312 с
53. Шевченко О.Г., Сніжко С.І. Хвилі тепла та основні методологічні проблеми, що виникають при їх дослідженні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. №. 10. С. 57-63.
54. Shevchenko, O., Lee, H., Snizhko, S., Mayer, H. Long-term analysis of heatwaves in Ukraine. *International Journal of Climatology*. 2014, №. 34. P. 1642-1650 DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.3792>
55. Shevchenko, O., Oliinyk, R., Snizhko, S., Svintsitska, H., Kostyrko, I. Indexing of Heatwaves in Ukraine. *Water*. 2020. №. 12(4):962. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12040962>
56. В.Ф. Мартазінова. Неустойчивость суточной температуры воздуха летнего сезона с начала ххІ века по данным наблюдений на метеостанции Киев. *Український географічний журнал*. 2019. № 3. С. 15–21. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.015>
57. Skrynyk, O., Aguilar, E., Guijarro, J., Randriamarolaza, L.Y.A. and Bubín, S. Uncertainty evaluation of Climatol's adjustment algorithm applied to daily air temperature time series. *International Journal of Climatology*. 2020. №. 41(S1). DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6854>
58. Hollis, D., McCarthy, M., Kendon, M., Legg, T. and Simpson, I. (2019). HadUK-Grid—A new UK dataset of gridded climate observations. *Geoscience Data Journal*, №. 6(2). P.151–159. DOI: <https://doi.org/10.1002/gdj3.78>
59. Frick, C., Steiner, H., Mazurkiewicz, A., Riediger, U., Rauthe, M., Reich, T. and Gratzki, A. Central European high-resolution gridded daily data sets (HYRAS): Mean temperature and relative humidity. *Meteorologische Zeitschrift*. 2014. №. 23(1). P.15–32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2014/0560>
60. Jacobbeit, J., Rathmann, J., Philipp, A. and Jones, P.D. Central European precipitation and temperature extremes in relation to large-scale atmospheric circulation types. *Meteorologische Zeitschrift*. 2009 №. 18(4). P.397–410. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2009/0390>
61. Iannuccilli, M., Bartolini, G., Betti, G., Crisci, A., Grifoni, D., Gozzini, B., Messeri, A., Morabito, M., Tei, C., Torrigiani Malaspina, T., Vallorani, R. and Messeri, G. Extreme precipitation events and their relationships with circulation types in Italy. *International Journal of Climatology*. 2021. №. 41(10). P.4769–4793. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.7109>
62. Bieniek, P.A. and Walsh, J.E. (2017). Atmospheric circulation patterns associated with monthly and daily temperature and precipitation extremes in Alaska. *International Journal of Climatology*. №. 37. P.208–217. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4994>
63. Yin, H., Donat, M.G., Alexander, L.V. and Sun, Y. Multi-dataset comparison of gridded observed temperature and precipitation extremes over China. *International Journal of Climatology*. 2014. №. 35(10). P.2809–2827. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4174>
64. Frich, P., Alexander, L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. and Peterson, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth

century. *Climate Research*. 2002. №. 19. P.193–212. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr019193>

65. Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., Kutaladze, N., Rahimzadeh, F., Taghipour, A., Hantosh, T.H., Albert, P., Semawi, M., Karam Ali, M., Said Al-Shabibi, M.H., Al-Oulan, Z., Zatari, T., Al Dean Khelet, I., Hamoud, S., Sagir, R. and Demircan, M. Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research*. 2005. №. 110(D22). DOI: <https://doi.org/10.1029/2005JD006181>

66. Aguilar, E., Aziz Barry, A., Brunet, M., Ekang, L., Fernandes, A., Massoukina, M., Mbah, J., Mhanda, A., do Nascimento, D.J., Peterson, T.C., Thamba Umba, O., Tomou, M. and Zhang, X. Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955–2006. *Journal of Geophysical Research*. 2009. №. 114(D2). DOI: <https://doi.org/10.1029/2008JD011010>

67. Brázdil, R., Demarée, G.R., Kiss, A., Dobrovolný, P., Chromá, K., Trnka, M., Dolák, L., Řezníčková, L., Zahradníček, P., Limanowka, D. and Jourdain, S. The extreme drought of 1842 in Europe as described by both documentary data and instrumental measurements. 2019. *Climate of the Past*. №. 15(5). P.1861–1884. DOI: <https://doi.org/10.5194/cp-15-1861-2019>

68. Hegerl, G.C., Brönnimann, S., Cowan, T., Friedman, A.R., Hawkins, E., Iles, C., Müller, W., Schurer, A. and Undorf, S. Causes of climate change over the historical record. *Environmental Research Letters*. 2019. №. 14(12). P.1-26. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4557>

69. Schurer, A.P., Hegerl, G.C., Luterbacher, J., Brönnimann, S., Cowan, T., Tett, S.F.B., Zanchettin, D. and Timmreck, C. Disentangling the causes of the 1816 European year without a summer. *Environmental Research Letters*. 2019. №. 14(9). P.1-11. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3a10>

70. Aruffo, E. and Di Carlo, P. Homogenization of instrumental time series of air temperature in Central Italy (1930-2015). *Climate Research*. 2019. №. 77(3). P.193–204. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr01552>

71. Coll, J.R., van der Schrier, G., Aguilar, E., Rasol, D., Coscarelli, R. and Bishop, A. Data rescue of daily climate station-based observations across Europe. *Earth System Science Data*. 2019. [preprint] DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-2019-6>

72. Brönnimann, S., Brugnara, Y., Allan, R.J., Brunet, M., Compo, G.P., Crouthamel, R.I., Jones, P.D., Jourdain, S., Luterbacher, J., Siegmund, P., Valente, M.A. and Wilkinson, C.W. A roadmap to climate data rescue services. *Geoscience Data Journal*. 2018. №. 5(1). P. 28–39. DOI: <https://doi.org/10.1002/gdj3.56>

73. Brugnara, Y., Auchmann, R., Brönnimann, S., Allan, R.J., Auer, I., Barriendos, M., Bergström, H., Bhend, J., Brázdil, R., Compo, G.P., Cornes, R.C., Dominguez-Castro, F., van Engelen, A.F.V., Filipiak, J., Holopainen, J., Jourdain, S., Kunz, M., Luterbacher, J., Maugeri, M. and Mercalli, L. A collection of sub-daily pressure and temperature observations for the early instrumental period with a focus on the “year without a summer” 1816. *Climate of the Past*. 2015. №. 11(8). P.1027–1047. DOI: <https://doi.org/10.5194/cp-11-1027-2015>

74. Rössler, O. and Brönnimann, S. The effect of the Tambora eruption on Swiss flood generation in 1816/1817. *Science of The Total Environment*. 2018. №. 627, P.1218–1227.

75. Delvaux, C., Ingels, R., Vrábeľ, V., Journée, M. and Bertrand, C. Quality control and homogenization of the Belgian historical temperature data. *International Journal of Climatology*. 2018. №. 39(1). P.157–171. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5792>

76. Ashcroft, L., Coll, J.R., Gilabert, A., Domonkos, P., Brunet, M., Aguilar, E., Castella, M., Sigro, J., Harris, I., Unden, P. and Jones, P. A rescued dataset of sub-daily meteorological observations for Europe and the southern Mediterranean region, 1877–2012. *Earth System Science Data*. 2018. №. 10(3). P.1613–1635. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-10-1613-2018>

77. Xu, C., Wang, J. and Li, Q. A New Method for Temperature Spatial Interpolation Based on Sparse Historical Stations. *Journal of Climate*. 2018. №. 31(5). P.1757–1770. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0150.1>

78. Sonali, P., Nanjundiah, R. and Nagesh Kumar, D. Detection and attribution of climate change signals in South India maximum and minimum temperatures. *Climate Research*. 2018. №. 76(2). P.145–160. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr01530>

79. Randriamarolaza, L.Y.A., Aguilar, E., Skrynyk, O., Vicente-Serrano, S.M. and Domínguez-Castro, F. Indices for daily temperature and precipitation in Madagascar, based on quality-controlled and homogenized data, 1950–2018. *International Journal of Climatology*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.7243>

References

1. Arias, P., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R., Krinner, G., Marotzke, J., Naik, V., Palmer, M., Plattner, G.-K., Rogelj, J., Rojas, M., Sillmann, J., Storelvmo, T., Thorne, P., Trewin, B., Achutarao, K., Adhikary, B., Allan, R., Armour, K. and Bala, G. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on* ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology**. 2022. № 2 (64)

Climate Change; Technical Summary. 2021. [online] elib.dlr.de. DOI: <https://elib.dlr.de/137584/>

2. Stephenson D. B. Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events. *Climate Extremes and Society* / ed. by H. F. Diaz, R. J. Murnane. Cambridge. P. 11–23. DOI: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511535840.004>

3. Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds., 2008: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.

4. Nastanova z operatyvnoi hidrolonii. Prohnozy rezhymu vod sushi. Hidrolohichne zabezpechennia i obsluhovuvannia [Guidelines for operational hydrology. Forecasts of the land water regime. Hydrological support and maintenance] / Kerivnyi dokument. Kyiv: Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi tsentr, 2012. 120 s.

5. Field, C.B. and IPCC (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaption: special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

6. IPCC, 2012: Glossary of terms. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 555-564.

7. IPCC, 2012: Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 3-21.

8. WMO. International Meteorological Vocabulary. 2nd ed. Secretariat of World Meteorological Organization, 1992. 784 p.

9. AMS, 2000: AMS Glossary of Meteorology, 2nd Edition. American Meteorological Society, Boston, MA. <http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browser>.

10. Khromov, S. P. Meteorolohycheskyi slovar [Meteorological dictionary] / S. P. Khromov, L. Y. Mamontova. – Yzd. 3-e, pererab. y dop. – Lenynhrad : Hydrometeoyzdat, 1974. – 568 s.

11. Klimatolohiia. Terminy ta vyznachennia osnovnykh poniat [Climatology. Terms and definitions of basic concepts]. - DSTU 3992 - 2000. - Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 2001. - 40 s.

12. Stocker, T., Qin, D., Plattner, G.-K., On, P. and Al, E. Climate change 2013: the physical science basis: working Group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press, Cop. 2014.

13. IPCC Climate change 2014: mitigation of climate change: Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, Ny: Cambridge University Press. 2014.

14. Razafimaharo, C., Krähenmann, S., Höpp, S., Rauthe, M. and Deutschländer, T. New high-resolution gridded dataset of daily mean, minimum, and maximum temperature and relative humidity for Central Europe (HYRAS). *Theoretical and Applied Climatology*. 2020. №. 142. P. 1531-1553 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03388-w>

15. Dunn, R.J.H., Alexander, L.V., Donat, M.G., Zhang, X., Bador, M., Herold, N., Lippmann, T., Allan, R., Aguilar, E., Barry, A.A., Brunet, M., Caesar, J., Chagnaud, G., Cheng, V., Cinco, T., Durre, I., Guzman, R., Htay, T.M., Wan Ibadullah, W.M. and Bin Ibrahim, M.K.I. Development of an updated global land in situ based data set of temperature and precipitation extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2020. Vol. 125. №. 16. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019jd032263>

16. Xu, W., Li, Q., Wang, X.L., Yang, S., Cao, L. and Feng, Y. Homogenization of Chinese daily surface air temperatures and analysis of trends in the extreme temperature indices. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2013. Vol. 118. №. 17. P. 9708-9720. DOI: <https://doi.org/10.1002/jgrd.50791>

17. Brown, P. J., Bradley, R.S., and Keimig, F.T. Changes in extreme climate indices for the Northeastern United States, 1870–2005. *Journal of Climate*. 2010. №. 23(24). P. 6555–6572. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010jcli3363.1>

18. Di Bacco, M., Scorzini, A.R. Recent changes in temperature extremes across the north-eastern region of Italy and their relationship with large-scale circulation. *Climate Research*. 2020. №. 81. P. 167-185. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr01614>

19. Avila-Diaz, A., Abrahão, G., Justino, F., Torres, R., and Wilson, A. Extreme climate indices in Brazil: Evaluation of downscaled Earth system models at high horizontal resolution. *Climate Dynamics*. 2020. №. 54. P. 5065-5088. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05272-9>

20. Dobrinescu, A., Busuioc, A., Bîrsan, M. V., Ștefan, S., and Orzan, A. Spatial and temporal

variability of the thermal stress index in Romania. EGU General Assembly. 2013. Vienna, Austria. EGU 2013–11217. №. 15.

21. Dima A., Busuioc A., Dumitrescu, A. Changes in summer thermal stress index in Romania using a statistical downscaling model. 16th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applied Climatology (ECAC). 2016. Trieste, Italy.

22. Peña-Angulo, D., Reig-Gracia, F., Domínguez-Castro, F., Revuelto, J., Aguilar, E., van der Schrier, G., Vicente-Serrano, S.M. ECTACI: European climatology and trend atlas of climate indices (1979–2017). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2020. Vol. 125. №. 16. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020jd032798>.

23. Cardell, M.F., Amengual, A., Romero, R., Ramis, C. Future extremes of temperature and precipitation in Europe derived from a combination of dynamical and statistical approaches. *International Journal of Climatology*. 2020. Vol. 40. №. 11. P. 4800–4827. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6490>

24. Fathian, F., Ghadami, M., Haghighi, P., Amini, M., Naderi, S. and Ghaedi, Z. Assessment of changes in climate extremes of temperature and precipitation over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. №. 141. P. 1119–1133. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03269-2>

25. Yosef Y., Aguilar E., Alpert, P. Changes in extreme temperature and precipitation indices: Using an innovative daily homogenized database in Israel. *International Journal of Climatology*. 2019. Vol. 39, №. 13. P. 5022–5045. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6125>

26. Sensoy, S., Demircan, M. and Alan, I. Trends in Turkey Climate Extreme Indices from 1971 to 2004. BALWOIS. 2008. Ohrid, Republic of Macedonia. 27 - 31 May 2008.

27. Fessehaye, M., Brugnara, Y., Savage, M.J. and Brönnimann, S. A note on air temperature and precipitation variability and extremes over Asmara: 1914–2015. *International Journal of Climatology*. 2019. №. 39(14). P. 5215–5227. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6134>

28. RClimDex. Github. URL: <https://github.com/ECCC-CDAS/RClimDex>.

29. M. Iturbide, J. Bedia, S. Herrera, J. Baño-Medina, J. Fernández, M.D. Frías, R. Manzananas, D. San-Martín, E. Cima-devilla, A.S. Cofiño and JM Gutiérrez. The R-based climate4R open framework for reproducible climate data access and post-processing. *Environmental Modelling & Software*. 2019. №. 111. P. 42–54. DOI: [/10.1016/j.envsoft.2018.09.009](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.09.009)

30. Klein Tank, A. M. G., Können, G. P. Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *Journal of Climate*. 2003. Vol. 16. №. 22. P. 3665–3680. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016%3C3665:tiodt%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016%3C3665:tiodt%3E2.0.co;2)

31. Filahi, S., Tanarhte, M., Mouhir, L., El Morhit, M. and Trambay, Y. Trends in indices of daily temperature and precipitations extremes in Morocco. *Theoretical and Applied Climatology*. 2015. №. 124(3-4), P. 959–972. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1472-4>

32. Klein Tank, A.M.G., Peterson, T.C., Quadir, D.A., Dorji, S., Zou, X., Tang, H., Santhosh, K., Joshi, U.R., Jaswal, A.K., Kolli, R.K., Sikder, A.B., Deshpande, N.R., Revadekar, J.V., Yeleuova, K., Vandasheva, S., Faleyeva, M., Gomboluudev, P., Budhathoki, K. P., Hussain, A. and Afzaal, M. Changes in daily temperature and precipitation extremes in central and south Asia. *Journal of Geophysical Research*. 2006 №. 111(D16). P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005JD006316>

33. Keggenhoff, I., Elizbarashvili, M., Amiri-Farahani, A. and King, L. Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971–2010. *Weather and Climate Extremes*. 2014. №. 4. P. 75–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2014.05.001>

34. Tencer, B., Weaver, A. and Zwiers, F. Joint Occurrence of Daily Temperature and Precipitation Extreme Events over Canada. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2014. №. 53(9). P. 2148–2162. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-13-0361.1>

35. Toll, V. and Post, P. Daily temperature and precipitation extremes in the Baltic Sea region derived from the BaltAn65+ reanalysis. *Theoretical and Applied Climatology*. 2017. №. 132(1-2). P. 647–662. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2114-9>

36. Powell, E.J. and Keim, B.D. Trends in Daily Temperature and Precipitation Extremes for the Southeastern United States: 1948–2012. *Journal of Climate*. 2015. №. 28(4). P. 1592–1612. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00410.1>

37. Moberg, A., Jones, P. D., Lister, D., Walther, A., Brunet, M., Jacobeit, J., Alexander, L.V., Della-Marta, P. M., Luterbacher, J., Yiou, P., Chen, D., Klein Tank, A.M.G., Saladié, O., Sigró, J., Aguilar, E., Alexandersson, H., Almarza, C., Auer, I., Barriendos, M. and Begert, M. Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901–2000. *Journal of Geophysical Research*. 2006. №. 111(D22). P. 1–25. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006JD007103>

38. Bohushenko, A., Stepanenko, S., and Khomenko, I. Detecting climate change in Ukraine: trends, prediction and extreme events. EGU General Assembly, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-6197, DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-6197>

39. Skrynyk O.A., Osadchyi V.I., Sidenko V.P., Boichuk D.O., Oshurok D.O., Skrynyk O.Ia. Homogenizovana baza danykh dovhykh chasovykh riadiv serednoi misiachnoi temperatury

[Homogenized database of long time series of average monthly temperature]. *Heoinformatyka*. 2018. № 1. S. 54-68.

40. Skrynyk O.A., Boichuk D.O., Sidenko V.P. Vyiavlennia ta usunennia klimatolohichnoi neodnorodnosti u chasovykh riadakh klimatolohichnykh pokaznykiv [Detection and removal of climatological inhomogeneities in time series of climatological indicators]. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2019. № 2 (53). S. 88-100.

41. Skrynyk O., Aguilar E., Skrynyk O., Sidenko V., Boichuk D., Osadchyi V. Quality control and homogenization of monthly extreme air temperature of Ukraine. *International Journal of Climatology*. 2019. № 39 P. 2071–2079. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5934>

42. Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). World Climate Research Programme. URL: <https://www.wcrp-climate.org/etccdi>

43. The list of 27 climate extremes indices. Climdex. URL: <https://www.climdex.org/learn/indices/>

44. Savchuk, S. V., Yuvchenko, N. M., Tymofieiev, V. Ye. Raionuvannia Ukrainy po vplyvu ekstremalnykh znachen maksimalnoi temperatury povitria u teplyi ta kholodnyi periody roku [Zoning of Ukraine according to the influence of extreme values of the maximum air temperature in the warm and cold seasons]. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi zhurnal*. 2018. № 22. S. 46-56.

45. Savchuk S.V., Tymofeiev V.Ie., Shcheglov O.A., Artemenko V.A., Kozlenko I.L. Koreliatsiinyi zviazok mizh meteorolohichnymy velychynamy pry ekstremalnykh znachenniakh maksimalnoi temperatury povitria [Correlation between meteorological values at extreme values of maximum air temperature]. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2020. № 1(56). C. 101–112. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.11>.

46. Extreme Weather Events in Ukraine: Occurrence and Changes / V. Balabukh et al. *Extreme Weather*. 2018. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.77306>

47. Umanska, O. V., Borovska, H. O., Khokhlov, V. M. Vplyv synoptychnoi sytuatsii na vynykennia spekotnykh ta kholodnykh pohodnykh umov v Ukraini [Influence of the synoptic situation on the occurrence of hot and cold weather conditions in Ukraine]. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi zhurnal*. 2019. № 24. S. 33-40.

48. Piasetska S.I., Hrebeniuk N.P., Savchuk S.V. Vyznachennia koreliatsiinoho zviazku mizh okremymy meteorolohichnymy velychynamy u daty pochatku vidkladennia ozheledi na terytorii Ukrainy po misiatsiakh kholodnoho periodu roku protiahom 2001-2013 rr. ta yikh prostorovy rozpodil [Determination of the correlation between individual meteorological quantities at the date of the beginning of ice deposition on the territory of Ukraine by months of the cold period of the year during 2001-2013 and their spatial distribution]. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*, 2019. № 4(55). C. 140-151. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.12>.

49. Shevchenko O., Snizhko S., Oliinyk R., Kostyrko I. Indykatory temperaturnykh anomalii rehionalnoho klimatu [Indicators of temperature anomalies of regional climate]. *Heohrafiia*. 2018. № 4(73) S. 15-19.

50. Lipinskyi V.M., Osadchyi V.I., Babichenko V.M. Aktyvizatsiia stykhiinykh meteorolohichnykh yavysch na terytorii Ukrainy – proiav hlobalnykh zmin klimatu [Intensification of natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine is a manifestation of global climate change]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 2007. № 2. S. 11-20.

51. Osadchyi V.I., Babichenko V.M. Dynamika stykhiinykh meteorolohichnykh yavysch v Ukraini [Dynamics of natural meteorological phenomena in Ukraine]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 2012. № 4. S. 8-14.

52. Stykhiini meteorolohichni yavyscha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsiatyrichchia (1986 – 2005rr.) [Natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine for the last twenty years (1986 - 2005)] / Za red. V.M. Lipinskoho, V.I. Osadchoho, V.M. Babichenko. – K.: Vyd-vo “Nika-Tsentri”, 2006. – 312 s

53. Shevchenko O.H., Snizhko S.I. Khvyli tepla ta osnovni metodolohichni problemy, shcho vynykaiut pry yikh doslidzhenni [Heat waves and the main methodological problems that arise in their study.]. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi zhurnal*. 2012. № 10. S. 57-63.

54. Shevchenko, O., Lee, H., Snizhko, S., Mayer, H. Long-term analysis of heatwaves in Ukraine. *International Journal of Climatology*. 2014, № 34. P. 1642-1650 DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.3792>

55. Shevchenko, O., Oliinyk, R., Snizhko, S., Svintsitska, H., Kostyrko, I. Indexing of Heatwaves in Ukraine. *Water*. 2020. № 12(4):962. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12040962>

56. V.F. Martazynova. Neustoichyvost sutochnoi temperatury vozdukhha letneho sezona s nachala XXI veka po dannyim nabludenyi na meteostantsiy Kyiv [Instability of the daily air temperature of the summer season since the beginning of the twentieth century according to observations at the Kiev weather station]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 2019. № 3. S. 15–21. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.015>

57. Skrynyk, O., Aguilar, E., Guijarro, J., Randriamarolaza, L.Y.A. and Bubín, S. Uncertainty

evaluation of Climatol's adjustment algorithm applied to daily air temperature time series. *International Journal of Climatology*. 2020. №. 41(S1). DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6854>

58. Hollis, D., McCarthy, M., Kendon, M., Legg, T. and Simpson, I. (2019). HadUK-Grid—A new UK dataset of gridded climate observations. *Geoscience Data Journal*, №. 6(2). P.151–159. DOI: <https://doi.org/10.1002/gdj3.78>

59. Frick, C., Steiner, H., Mazurkiewicz, A., Riediger, U., Rauthe, M., Reich, T. and Gratzki, A. Central European high-resolution gridded daily data sets (HYRAS): Mean temperature and relative humidity. *Meteorologische Zeitschrift*. 2014. №. 23(1). P.15–32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2014/0560>

60. Jacobeit, J., Rathmann, J., Philipp, A. and Jones, P.D. Central European precipitation and temperature extremes in relation to large-scale atmospheric circulation types. *Meteorologische Zeitschrift*. 2009 №. 18(4). P.397–410. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2009/0390>

61. Iannucci, M., Bartolini, G., Betti, G., Crisci, A., Grifoni, D., Gozzini, B., Messeri, A., Morabito, M., Tei, C., Torrigiani Malaspina, T., Vallorani, R. and Messeri, G. Extreme precipitation events and their relationships with circulation types in Italy. *International Journal of Climatology*. 2021. №. 41(10). P.4769–4793. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.7109>

62. Bieniek, P.A. and Walsh, J.E. (2017). Atmospheric circulation patterns associated with monthly and daily temperature and precipitation extremes in Alaska. *International Journal of Climatology*. №. 37. P.208–217. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4994>

63. Yin, H., Donat, M.G., Alexander, L.V. and Sun, Y. Multi-dataset comparison of gridded observed temperature and precipitation extremes over China. *International Journal of Climatology*. 2014. №. 35(10). P.2809–2827. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4174>

64. Frich, P., Alexander, L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. and Peterson, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*. 2002. №. 19. P.193–212. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr019193>

65. Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., Kutaladze, N., Rahimzadeh, F., Taghipour, A., Hantosh, T.H., Albert, P., Semawi, M., Karam Ali, M., Said Al-Shabibi, M.H., Al-Oulan, Z., Zatari, T., Al Dean Khelet, I., Hamoud, S., Sagir, R. and Demircan, M. Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research*. 2005. №. 110(D22). DOI: <https://doi.org/10.1029/2005JD006181>

66. Aguilar, E., Aziz Barry, A., Brunet, M., Ekang, L., Fernandes, A., Massoukina, M., Mbah, J., Mhanda, A., do Nascimento, D.J., Peterson, T.C., Thamba Umba, O., Tomou, M. and Zhang, X. Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955–2006. *Journal of Geophysical Research*. 2009. №. 114(D2). DOI: <https://doi.org/10.1029/2008JD011010>

67. Brázdil, R., Demarée, G.R., Kiss, A., Dobrovolný, P., Chromá, K., Trnka, M., Dolák, L., Řezníčková, L., Zahradníček, P., Limanowka, D. and Jourdain, S. The extreme drought of 1842 in Europe as described by both documentary data and instrumental measurements. 2019. *Climate of the Past*. №. 15(5). P.1861–1884. DOI: <https://doi.org/10.5194/cp-15-1861-2019>

68. Hegerl, G.C., Brönnimann, S., Cowan, T., Friedman, A.R., Hawkins, E., Iles, C., Müller, W., Schurer, A. and Undorf, S. Causes of climate change over the historical record. *Environmental Research Letters*. 2019. №. 14(12). P.1–26. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4557>

69. Schurer, A.P., Hegerl, G.C., Luterbacher, J., Brönnimann, S., Cowan, T., Tett, S.F.B., Zanchettin, D. and Timmreck, C. Disentangling the causes of the 1816 European year without a summer. *Environmental Research Letters*. 2019. №. 14(9). P.1–11. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3a10>

70. Aruffo, E. and Di Carlo, P. Homogenization of instrumental time series of air temperature in Central Italy (1930–2015). *Climate Research*. 2019. №. 77(3). P.193–204. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr01552>

71. Coll, J.R., van der Schrier, G., Aguilar, E., Rasol, D., Coscarelli, R. and Bishop, A. Data rescue of daily climate station-based observations across Europe. *Earth System Science Data*. 2019. [preprint] DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-2019-6>

72. Brönnimann, S., Brugnara, Y., Allan, R.J., Brunet, M., Compo, G.P., Crouthamel, R.I., Jones, P.D., Jourdain, S., Luterbacher, J., Siegmund, P., Valente, M.A. and Wilkinson, C.W. A roadmap to climate data rescue services. *Geoscience Data Journal*. 2018. №. 5(1). P. 28–39. DOI: <https://doi.org/10.1002/gdj3.56>

73. Brugnara, Y., Auchmann, R., Brönnimann, S., Allan, R.J., Auer, I., Barriendos, M., Bergström, H., Bhend, J., Brázdil, R., Compo, G.P., Cornes, R.C., Dominguez-Castro, F., van Engelen, A.F.V., Filipiak, J., Holopainen, J., Jourdain, S., Kunz, M., Luterbacher, J., Maugeri, M. and Mercalli, L. A collection of sub-daily pressure and temperature observations for the early instrumental period with a focus on the “year without a summer” 1816. *Climate of the Past*. 2015. №. 11(8). P.1027–1047. DOI: <https://doi.org/10.5194/cp-11-1027-2015>

74. Rössler, O. and Brönnimann, S. The effect of the Tambora eruption on Swiss flood generation in 1816/1817. *Science of The Total Environment*. 2018. №. 627, P.1218–1227.
75. Delvaux, C., Ingels, R., Vrábel, V., Journée, M. and Bertrand, C. Quality control and homogenization of the Belgian historical temperature data. *International Journal of Climatology*. 2018. №. 39(1). P.157–171. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5792>
76. Ashcroft, L., Coll, J.R., Gilabert, A., Domonkos, P., Brunet, M., Aguilar, E., Castella, M., Sigro, J., Harris, I., Unden, P. and Jones, P. A rescued dataset of sub-daily meteorological observations for Europe and the southern Mediterranean region, 1877–2012. *Earth System Science Data*. 2018. №. 10(3). P.1613–1635. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-10-1613-2018>
77. Xu, C., Wang, J. and Li, Q. A New Method for Temperature Spatial Interpolation Based on Sparse Historical Stations. *Journal of Climate*. 2018. №. 31(5). P.1757–1770. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0150.1>
78. Sonali, P., Nanjundiah, R. and Nagesh Kumar, D. Detection and attribution of climate change signals in South India maximum and minimum temperatures. *Climate Research*. 2018. №. 76(2). P.145–160. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr01530>
79. Randriamarolaza, L.Y.A., Aguilar, E., Skrynyk, O., Vicente-Serrano, S.M. and Domínguez-Castro, F. Indices for daily temperature and precipitation in Madagascar, based on quality-controlled and homogenized data, 1950–2018. *International Journal of Climatology*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.7243>

**Climatic studies of extreme weather conditions, events and phenomena in Ukraine and the world
Sidenko, V.P.**

The analysis of literature of the modern world and national publications in which methods of research of climate extreme events are presented was conducted. The focus is on the climatological aspects of extreme climatic / weather events and phenomena. A comparison of English-language basic terms and concepts used in the study of climatic / weather extreme events and their definitions with their Ukrainian counterparts is presented as well as the definition of specific concepts according to the sources in which they are presented. Not all terms and concepts used in scientific publications have clear and strict definitions and are not always consistent with each other. Due to differences in approaches to the definition of terms and concepts, not all of them can be found an exact match in another language.

Types of source databases with different spatiotemporal resolution and sets of meteorological parameters are presented. Classification of research on extremity by study domain, time period of research, data spatial-temporal resolution, a set of meteorological quantities and climate extreme indices on the basis of which the studies was conducted. The analysis of modern research of extreme events of climate / weather in Ukraine is carried out. Current research on this issue in Ukraine focuses on the number and frequency of extreme weather events. Main trends in research of extreme climatic / weather events in the world were examined. Global studies of climate extremity are performed according to a more complex procedure. They are based on long time series of quality-tested data that have been homogenized because non-homogenized series can severely distort the real picture (quantitative information) of the duration, intensity or number of extreme climatic / weather events.

Further plan for the study of modern climate change in the extreme climate of Ukraine on the basis of long series of daily values of average, maximum and minimum surface air temperatures and precipitation was drawn.

Key words: extreme weather events, climate extreme indices, climate change, meteorological variables.

Надійшла до редколегії 27.04.2022

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.2.6>

УДК 551.574.42

Пясецька С.І.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, м Київ

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОСТОРОВО- ЧАСОВОГО РОЗПОДІЛУ ВІДКЛАДЕНЬ ОЖЕЛЕДІ ПО
ОБЛАСТЯХ У ВИПАДКАХ ЇЇ МАСОВОГО ВІДКЛАДЕННЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ
ПРОТЯГОМ ДЕСЯТИРІЧ 1991-2000, 2001-2010 ТА 2011-2020 рр.**

Представлена робота присвячена встановленню особливостей просторово-часового розподілу випадків масового відкладення ожеледі на території України протягом окремих десятиріч 1991-2000, 2001-2010, 2011-2020 рр. Розглянуто випадки масового відкладення ожеледі із кількістю станцій в 1 дату більше 20 та більше 30 станцій. Визначено кількість таких випадків по окремих місяцях та роках досліджуваних періодів та їх максимальне значення. Встановлено, що найбільша кількість випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі із кількістю більше 20 станцій по окремих десятиріччях була до 5-7 у 1991-2000 та 2001-2010 рр. та 8-12 у 2011-2020 рр. особливо у січні, листопаді та грудні. Найбільша кількість випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі 30 та більше станцій в 1 дату становила 4-5 днів, проте частіше 2-3 дні. Тривалість періодів масового розповсюдження відкладень ожеледі

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2022. № 2 (64)