



Стаття та будь-який пов'язаний з нею опублікований матеріал поширюється за ліцензією Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).
The article and any related published material are licensed under the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).

УДК 551.515

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2026.96.3>

Ольга ШЕВЧЕНКО, д-р геогр. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0003-3915-427X

Scopus ID: 55801127100

e-mail: shevchenko_olga@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Дмитро ПІНЧУК, асп.

ORCID ID: 0000-0002-2054-3761

Scopus ID: 58249436500

e-mail: dimapinchuk_20@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Сергій СНИЖКО, д-р геогр. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0002-2696-687X

Scopus ID: 5722488079

e-mail: snizhko@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ АНАЛІЗ ХВИЛЬ ХОЛОДУ В УКРАЇНІ ЗА БАГАТОРІЧНИЙ ПЕРІОД

Вступ. Незважаючи на значний негативний вплив хвиль холоду (ХХ) на здоров'я людей і можливість катастрофічних наслідків після їх вияву, ці екстремальні атмосферні явища залишаються недостатньо вивченими в Україні, що обумовлює високу актуальність їх дослідження. Метою цього дослідження є здійснення просторово-часового аналізу хвиль холоду на території України за багаторічний період.

Методи. Ідентифікація хвиль холоду в даному дослідженні ґрунтується на використанні Heat and Cold Wave Index, який обчислюється для кожної локації на основі принаймні трьох послідовних днів, коли як мінімальна, так і максимальна добові температури одночасно перевищують 90-й перцентиль (для хвиль тепла) або нижчі за 10-й перцентиль (для хвиль холоду), визначені із 30-річного кліматологічного базового періоду (1981–2010 рр.). Для характеристики хвиль холоду були застосовані сезонна (I2) та річна (I3) інтенсивність. Для виконання задач цього дослідження використано набір даних ClimUAd за 1961–2020 рр., що містить щоденні значення мінімальної, максимальної та середньої температури повітря 178 метеорологічних станцій України, інтерпольовані на сітку 0,1×0,1. Для реалізації завдань цієї роботи було використано 70 точок, які рівномірно (по 2–3 точки на область) розподілені по всій території України. Обробка даних у роботі реалізована за допомогою скриптів, написаних авторами мовою програмування Python. Картографічне подання просторового розподілу характеристик хвиль холоду виконано за допомогою програм "QGIS" і "SagaGIS".

Результати. На основі просторово-часового аналізу хвиль холоду в Україні за 1961–2020 рр. встановлено, що у 1991–2020 рр. кількість випадків ХХ скоротилася на 40 %, порівняно з 1961–1990 рр. У холодний період тривалість хвиль холоду була вищою, ніж у теплий. У сучасний період, 1991–2020 рр., спостерігається зменшення тривалості ХХ у холодний період. Найтриваліші хвилі холоду були в 1985 р. – 38 днів, у 1963 – 26 днів і 2012 р. – 26 днів, що суттєво перевищує середні значення. За період 1991–2020 рр. середня сезонна інтенсивність хвиль холоду (I2) у теплий період варіювалася від 1,8 °C до 10,2 °C, зниження середнього значення сезонної інтенсивності становить приблизно 2–8 °C, порівняно з попереднім кліматичним періодом. За період 1991–2020 рр. середня сезонна інтенсивність хвиль холоду у холодний період варіювалася в межах 9–28 °C, зниження порівняно з періодом 1961–1990 рр. становить 11–29 °C. Показано, що на території України найтривалішою (38 днів) і найінтенсивнішою (сезонна інтенсивність I2 – 149,5 °C, річна I3 – 9,8 °C) за період 1961–2020 рр. була хвиля холоду лютого – березня 1985 р. Вона поширилася по всій території України з температурами, які в окремі дні опускалися до –34° C у Сумській і Харківській областях.

Висновки. Отже, встановлено зменшення частоти, тривалості та інтенсивності хвиль холоду в Україні (особливо після 1980-х років), що підтверджує вплив глобального потепління на термічний режим території та відповідає тенденціям зміни характеристик хвиль холоду, що спостерігаються у світі.

Ключові слова: хвиля холоду, тривалість хвиль холоду, сезонна інтенсивність хвиль холоду, річна інтенсивність хвиль холоду, Україна.

Вступ

Зміна температурного режиму певної території є найвідомішою ознакою кліматичних змін. Хоча зміни середніх температур значно впливають на економіку (особливо аграрний сектор), життя людей, флору і фауну, проте зміни екстремальних температур можуть мати ще більш небезпечні наслідки. Як правило, у дослідженнях екстремальних температур основна увага приділяється максимальній температурі повітря й атмосферним явищам, спричиненим високими температурами, особливо в літні місяці. За останні десятиліття у світі було проведено багато досліджень, присвячених хвилям тепла (далі – ХТ) і їхні результати свідчать про виражену тенденцію до збільшення частоти, інтенсивності та тривалості

ХТ, зростання інтенсивності теплового стресу під час хвиль тепла. Вивченню мінімальних температур і періодів похолодань у сучасний період приділяється значно менше уваги. Хоча такі випадки (особливо в холодний період) можуть мати значний негативний вплив на здоров'я, комфорт і самопочуття людей, а інколи навіть спричинювати катастрофічні наслідки.

Період помітного та нетипового похолодання, що характеризується різким зниженням температури повітря на значній території й утримується нижче певних порогових значень протягом кількох послідовних днів, називається хвилею холоду (ХХ). Так само, як і для хвиль тепла, для хвиль холоду не існує єдиного уніфікованого визначення цього явища. У роботі А. М. Томсзук з колегами

© Шевченко Ольга, Пінчук Дмитро, Сніжко Сергій, 2026

хвилею холоду вважається період тривалістю щонайменше 3 дні, під час якого T_{max} не перевищувала -10°C (Tomczyk et al., 2019a), такий самий метод був застосований і у роботі (Tomczyk, & Bednorz, 2023a). У праці J. Wibig XX визначається як період з температурами, що перевищують вибрані порогові значення ($T_{min} \leq -20^{\circ}\text{C}$, $T_{min} \leq -15^{\circ}\text{C}$ та $T_{max} \leq -10^{\circ}\text{C}$) (Wibig et al., 2009). Вибір таких порогових значень, як визначають автори, є бажанням обмежитися справді екстремальними подіями, імовірність появи яких взимку (за їхніми зауваженнями), становить менш ніж 5 % на більшості аналізованих станцій. Національна метеорологічна служба США визначає хвилю холоду як різке зниження температури повітря протягом 24 год до рівня, що вимагає суттєво підвищеного захисту сільського господарства, промисловості, торгівлі та соціальної сфери. У роботі (Barnett et al., 2012) хвиля холоду визначалася як період з температурами нижче порогу холоду протягом двох або більше днів поспіль, використовуючи 1-й–5-й процентилі температури на кожній станції. У дослідженні XX у китайському Шаньсі за хвилю холоду вважали період, під час якого значення середньої добової температури нижче 10-го, 7,5-го або 5-го процентилів фіксувалося протягом щонайменше 2–5 днів поспіль (Feng et al., 2023). Для дослідження хвиль тепла та холоду в Південній Америці група вчених на чолі з G. Ceccherini (Ceccherini et al., 2015) використовує Індекс магнітуди холодної хвилі (Cold Wave Magnitude Index (CWMI)), схожий на Heat Wave Magnitude Index (HWMi), де як хвилі тепла, так і хвилі холоду розраховуються з використанням даних максимальної та мінімальної добової температури. Хвилею холоду вважається період тривалістю як мінімум 3 дні поспіль, коли температура була нижчою за добові порогові значення; добовий поріг визначається як 10-й процентиль добових температур, зосереджений на 31-добовому проміжку для 30-річного періоду 1981–2010 рр.

У дослідженнях XX основну увагу приділено кліматології цього атмосферного явища (частота прояву, тривалість та інтенсивність), а також вивченню синоптичних умов, що спричиняють виникнення екстремально низьких температур повітря (Lavaysse et al., 2018; Tomassini et al., 2012; Tomczyk et al., 2019a, b; Tringa et al., 2022; Wibig et al., 2009). На сьогодні географія вивчення хвиль холоду охоплює Західну Африку (Adolphus et al., 2021), Південну Америку (Ceccherini et al., 2015; Bitencourt et al., 2019), Європу, зокрема Польщу, Німеччину, Іспанію (Dizerens et al., 2017; Tomczyk et al., 2019a; Tomczyk et al., 2019b; Serrano-Notivol, & Lemus-Canovas, 2022), інші держави та території (Smid et al., 2019; Van Oldenborgh et al., 2019). Вивчення проявів XX на території України обмежується дослідженнями цього явища за даними 10-ти метеорологічних станцій за короткий період (2011–2020 рр.) (Pinchuk, & Zatula, 2022), а також просторово-часовим аналізом XX на заході України за багаторічний період (1966–2021) (Tomczyk et al., 2023b). Оскільки результати цих досліджень свідчать про зміни у частоті прояву та характеристиках XX, то очевидно є необхідність детальнішого поглибленого аналізу цього явища на території України. Таким чином, метою цього дослідження є здійснення просторово-часового аналізу хвиль холоду на території України за багаторічний період.

Методи

Для виконання задач даного дослідження використано набір даних ClimUAd за 1961–2020 рр., що містить щоденні значення мінімальної, максимальної та середньої температури повітря 178-ми метеорологічних станцій України, інтерпольованих на сітку $0,1^{\circ} \times 0,1$ (Osadchyi et al., 2025). Для реалізації завдань цієї роботи було використано 70 точок, які рівномірно (по 2–3 точки на область) розподілені по всій території України.

Для вивчення особливостей хвиль холоду в різних регіонах України застосовано поділ території України на "західні області" (до яких входять Закарпатська, Львівська, Волинська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька, Івано-Франківська та Чернівецькі області), "східні області" (Харківська, Донецька й Луганська області), "північні області" (Київська, Житомирська, Чернігівська та Сумська), "південні області" (Одеська, Херсонська, Миколаївська й Запорізька, АР Крим) та "центральні області" (Вінницька, Черкаська, Кіровоградська та Дніпропетровська). Це використовується в прогнозах і попередженнях, згідно з розпорядженням Державного комітету України з гідрометеорології від 20.03.1997 № 14 "Про термінологію територіального поділу України в прогнозах і попередженнях".

Для ідентифікації хвиль холоду використано Heat and Cold Wave Index (HCWI) (Lavaysse et al., 2018). HCWI – це індекс, що застосовується для виявлення та моніторингу періодів тривалих екстремальних температурних аномалій (хвилі тепла й холоду), який обчислюється для кожної локації на основі принаймні трьох послідовних днів, коли як мінімальна, так і максимальна добові температури одночасно перевищують 90-й процентиль (для ХТ) або нижчі за 10-й процентиль (для ХХ), визначені із 30-річного кліматологічного базового періоду (1981–2010 рр.). Згідно з методологією індексу, на основі зазначених вище даних були розраховані референтні значення процентилів Q10 для мінімальної (T_{min}) та максимальної (T_{max}) температури повітря за кліматичний період 1981–2010 рр. Після цього було проведено ідентифікацію ХХ за період 1961–2020 рр.

Відповідно до методології індексу для розрахунку щоденних порогових значень для кожного дня утворено 11-денне вікно з центром у цей день за 30-річний період (330 значень). Після цього було розраховано 10-й процентиль ("Q10") для мінімальної та максимальної температури.

Хвилі холоду визначались як стійке перевищення порогового процентилю Q10 для T_{min} і T_{max} протягом трьох днів поспіль (якщо дві послідовні хвилі були розділені в часі одним днем, вони вважались взаємозалежними явищами і тому об'єднувались в одне явище).

Для характеристики ідентифікованих хвиль холоду були застосовані два методи розрахунку інтенсивності (сезонної I2 та річної I3), запропоновані Lavaysse, C (Lavaysse et al., 2018):

$$I2(n) = \sum_{i=1}^N \beta \frac{(T_{Xi,w} - Q_{Tx}) + (T_{Ni,w} - Q_{Tx})}{2},$$

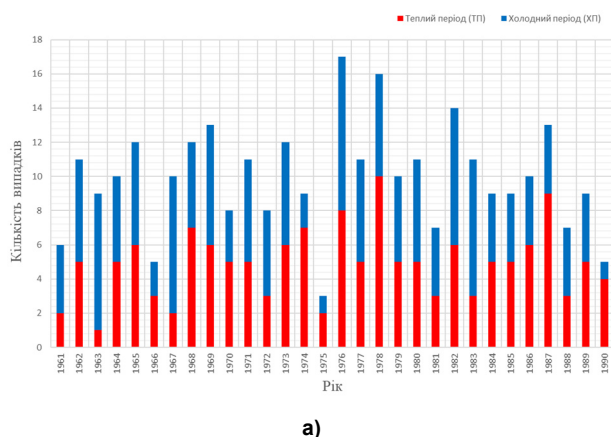
де N – тривалість хвилі в днях; $T_{Xi,w}$ і $T_{Ni,w}$ – максимальні й мінімальні температури, зареєстровані у дні та в межах хвилі для точки; Q_{Tx} і Q_{Tx} – температури для процентиля 0,1 днів ХХ; w – точка, де зафіксована хвиля. Цей метод дає змогу кількісно оцінити інтенсивність відносно сезонного циклу, відображаючи аномалію, проте

не завжди фіксуючи екстремальні значення абсолютних температур.

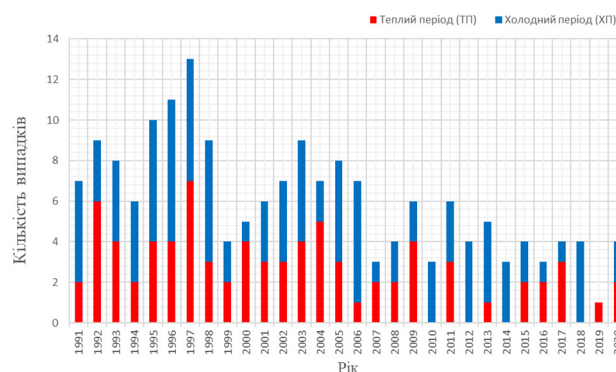
$$I3(n) = \sum_{i=1}^N \beta \left[\frac{[T_{x_{i,w}} - T_{x_{med}(Q_{T_x})}]}{2 * \sigma_{T_x}} + \frac{[T_{n_{i,w}} - T_{x_{med}(Q_{T_n})}]}{2 * \sigma_{T_n}} \right],$$

де $T_{x_{med}(Q_{T_x})}$ і $T_{x_{med}(Q_{T_n})}$ є температурою (константою) медіани всіх календарних щоденних процентилів 0,1 для ХХ; σ_{T_x} і σ_{T_n} – стандартне відхилення рядів даних максимальної й мінімальної температур, відповідно, = –1. На відміну від підходу I_2 , цей метод розглядає інтенсивність хвилі в контексті цілого року, що підкреслює найінтенсивніші абсолютні температури.

Для обробки даних у роботі використано скрипти, написані авторами мовою програмування Python. Картографічне подання просторового розподілу характеристик хвиль холоду виконано за допомогою програм "QGIS" і "SagaGIS".



а)



б)

Рис. 1. Кількість випадків хвиль холоду на території України:
а) за період 1961–1990 рр., б) за період 1991–2020 рр.

Найбільшу кількість ХХ у холодний період зафіксовано в 1963 р. – вісім випадків; найменшу – в 1975, 1990 та 2007 рр. – по одному випадку; у 2019 р. не зафіксовано жодної хвилі холоду під час холодного періоду. Найбільшу кількість ХХ у теплий період зафіксовано в 1978 р. – 10 випадків; найменшу – у 2006, 2013 та 2019 рр. – по одному випадку; у 2010, 2012, 2014 та 2018 рр. не зафіксовано жодного випадку ХХ у теплий період.

Середня тривалість хвиль холоду. Середня тривалість хвиль холоду змінюється залежно від регіону, року та сезону. Просторовий розподіл значень тривалості ХХ (рис. 2) є нерівномірним по території України. Максимальні значення (5 днів і вище) спостерігаються на сході (Харківська та Луганська області), а також в окремих частинах західного регіону (Львівська, Волинська, Рівненська, Хмельницька, Тернопільська області). Мінімальні значення (4,0–4,4 дні) характерні для півдня України (південь Одеської області й південний берег Криму) та окремих районів західних областей (Закарпатська область, південь Івано-Франківської та Чернівецької областей). На більшій частині території України середня тривалість ХХ коливається в межах 4,5–4,9 днів.

У 1961–1990 рр. середня тривалість хвиль холоду у холодний період становила 5,7 дня. У цей період спостерігалися роки з аномально тривалими подіями, зокрема, хвиля холоду січня – липня 1963 р. тривалістю 26 днів, ХХ лютого – першої половини березня 1985 р. – 38 днів, ХХ лютого – березня 1987 р. – 22 дні та ХХ січня – початку лютого 1972 р. – 21 день. У теплий період середня тривалість хвиль холоду була нижчою і становила 3,9 дня.

Результати

Кількість випадків хвиль холоду за 1961–2020 рр.

Результати дослідження свідчать про тенденцію до зменшення кількості випадків хвиль холоду протягом 1961–2020 рр. по всій території України. За період кліматичної норми 1961–1990 рр. спостерігалось 298 хвиль холоду, із яких 151 припадали на холодний період і 147 – на теплий. У сучасний період (1991–2020 рр.) загальна кількість хвиль холоду зменшилась на 40 % – до 180, причому як у теплом, так і в холодному періодах їх стало менше (79 і 101 відповідно) (рис. 1). За період 2011–2020 рр. спостерігається відсутність хвиль холоду в теплом чи холодному періоді у 2010, 2012, 2014, 2018 та 2019 рр. У попередні періоди такого не спостерігалось. Найбільша кількість ХХ за рік зафіксована в 1976 р. – 17 випадків, найменша (2019 р.) – один випадок.

У 1991–2020 рр. було помітно зниження середньої тривалості хвиль холоду в холодний період – до 4,9 дня. Незважаючи на скорочення середньої тривалості, фіксувалися окремі тривалі випадки (ХХ кінця січня – лютого 2012 р. – 26 днів). У теплий період середня тривалість хвиль холоду зменшилась несуттєво і становила 3,7 дня.

Серед усіх хвиль холоду (478), що спостерігалися за досліджуваний період, 28,7 % припадало на короткотривалі події (3 дні), 30,3 % – на хвилі середньої тривалості (4–5 днів), а 41 % – на довготривалі хвилі (6 днів і більше).

Сезонна інтенсивність хвиль холоду (I_2). Сезонна інтенсивність (I_2) хвиль холоду є важливим показником для оцінки періодів похолодання. Просторовий розподіл значень сезонної інтенсивності (I_2) свідчить, що найвищі значення (45 °C і вище) спостерігаються у західних (зокрема, у Волинській, Рівненській, північних частинах Львівської, Хмельницької й Тернопільської областей) та північних (Чернігівська і Сумська області) регіонах. Натомість найнижчі значення інтенсивності (19–24 °C) характерні для південних регіонів, зокрема для Криму (південний берег), частини Одеської області та заходу – Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька області – зона Карпат. Середні значення інтенсивності (30–42 °C) охоплюють решту території України. Такий розподіл відображає кліматичні особливості України: південні області, зокрема південне узбережжя Криму та південна частина Одеської області мають м'якший клімат завдяки впливу Чорного моря та захисній ролі гірських масивів, тоді як північні й північно-східні області характеризуються більш континентальним кліматом і вищою ймовірністю сильних морозів.

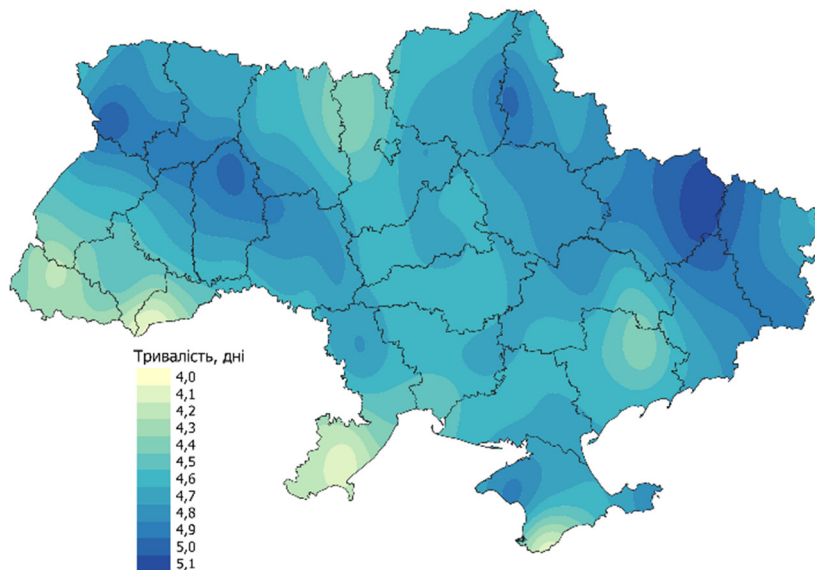


Рис. 2. Просторовий розподіл середньої тривалості хвиль холоду за 1961–2020 рр.

Середня інтенсивність хвиль холоду (I_2) у холодний період за 1961–1990 рр. варіюється в межах від 20 до 57 °С (рис. 3, а). Найвищі значення інтенсивності (52–57 °С) спостерігаються у кількох регіонах: на заході (Волинська, Рівненська, північ Львівської області), півночі (Чернігівська, Сумська області). Найнижчі значення (20–28 °С) характерні для південного берега Криму, частини Одеської області та заходу країни (Чернівецька, Закарпатська та Івано-Франківська області). Значення 32–48 °С фіксуються у Київській області, на півдні, на сході та заході (Львівська, Хмельницька й Тернопільська області) країни.

За період 1991–2020 рр. (рис. 3, б) середня інтенсивність хвиль холоду (I_2) у холодний період зменшилася, варіюючи від 9 до 28 °С. Максимальні значення (24–28 °С) спостерігаються в основному на заході (Волинська, Рівненська, Львівська, Тернопільська та Хмельницька області) і частково у Вінницькій області. Найнижчі значення (9–14 °С) зафіксовані на півдні (південний берег Криму) та заході (Закарпатська й Чернівецька області), решта території характеризується значеннями 16–24 °С. Порівняно з 1961–1990 рр., інтенсивність зменшилася на 11–29 °С, що свідчить про значне послаблення хвиль холоду.

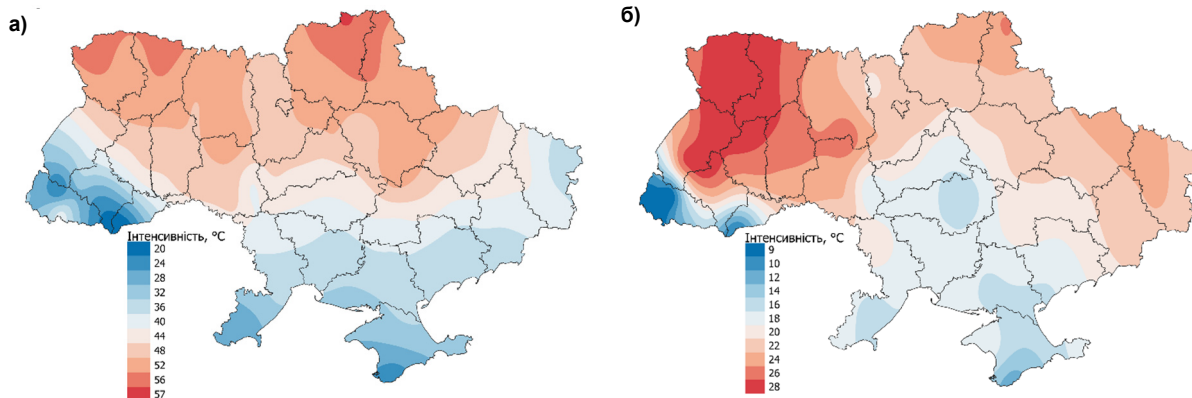


Рис. 3. Просторовий розподіл середньої сезонної інтенсивності хвиль холоду (I_2 , °С) у холодний період: а) 1961–1990 рр.; б) 1991–2020 рр.

Порівняно з холодним періодом року, значення сезонної інтенсивності у теплий період значно нижчі. Інтенсивність хвиль холоду (I_2) у теплий період за 1961–1990 рр. (рис. 4, а) коливається від 4 до 18 °С. Найвищі значення (14 °С і вище) – на півдні (Одеська область, південь Криму). За період 1991–2020 рр. (рис. 4, б) середня інтенсивність хвиль холоду (I_2) у теплий період варіювалася від 1,8 °С до 10,2 °С, зниження середнього значення сезонної інтенсивності становить приблизно 2–8 °С. Максимальні значення (7 °С і вище) спостерігаються на півдні Криму. Більшість території країни характеризується

низькими значеннями інтенсивності I_2 у теплий період (1,8–5,4 °С).

Річна інтенсивність хвиль холоду (I_3). Зазначимо, що показники I_2 та I_3 відображають різні аспекти інтенсивності: I_2 характеризує аномалії температур відносно сезонного циклу, тоді як I_3 оцінює їх у контексті річного ходу температур, що зумовлює відмінності у просторових і абсолютних значеннях цих індексів. Річна інтенсивність хвиль холоду (I_3) за досліджуваний період також характеризується вираженою просторовою неоднорідністю.

тю (рис. 5–6). Найвищі значення середньої річної інтенсивності ІЗ за 1961–1990 рр. у холодний період спостерігалися в північних регіонах (Сумській, Чернігівській та частково Житомирській областях) і становили 6,0–6,5 °С (рис. 5, а). Найнижчі значення (1,5–3,0 °С) зафіксовані в західних областях, зокрема в Закарпатській, Івано-Франківській, Чернівецькій і Львівській областях, а також у південних регіонах, де клімат пом'якшується впливом Чорного моря. Для більшості території характерні значення 3,5–5,5 °С, зі зростанням значень у північному напрямку. У холодний період за 1991–2020 рр., окрім зниження значень інтенсивності, також

частково змінюється географічне поширення зон із найвищими й найнижчими значеннями (рис. 5, б): найнижчі значення збереглися на заході та на півдні, а найвищі (3,2–3,6 °С), крім того, що зберігаються на півночі, починають фіксуватися і на окремих територіях Криму, Луганської, Сумської, Житомирської, Тернопільської, Вінницької, Львівської та Хмельницької областей. На решті території країни зафіксовані значення 2–3 °С. Таким чином, за період 1991–2020 рр. спостерігається загальне зниження інтенсивності хвиль холоду в Україні.

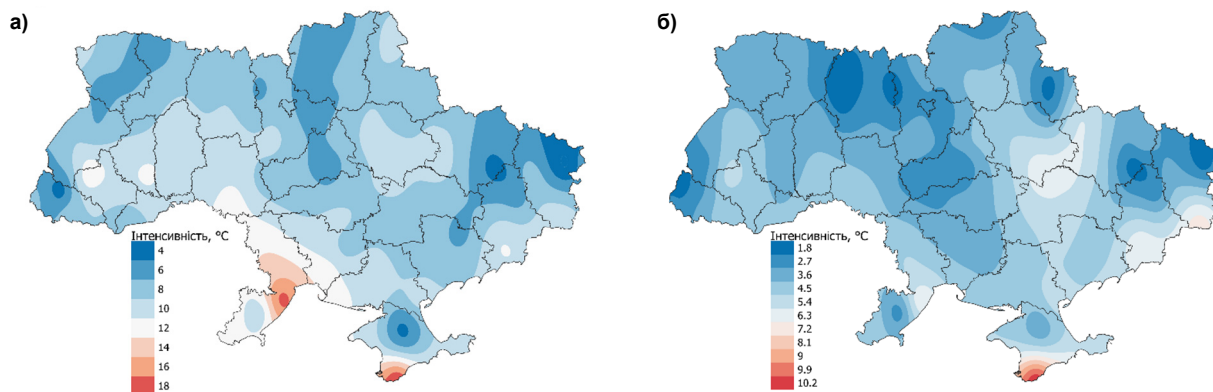


Рис. 4. Просторовий розподіл середньої сезонної інтенсивності хвиль холоду (І₂, °С) у теплий період: а) 1961–1990 рр.; б) 1991–2020 рр.

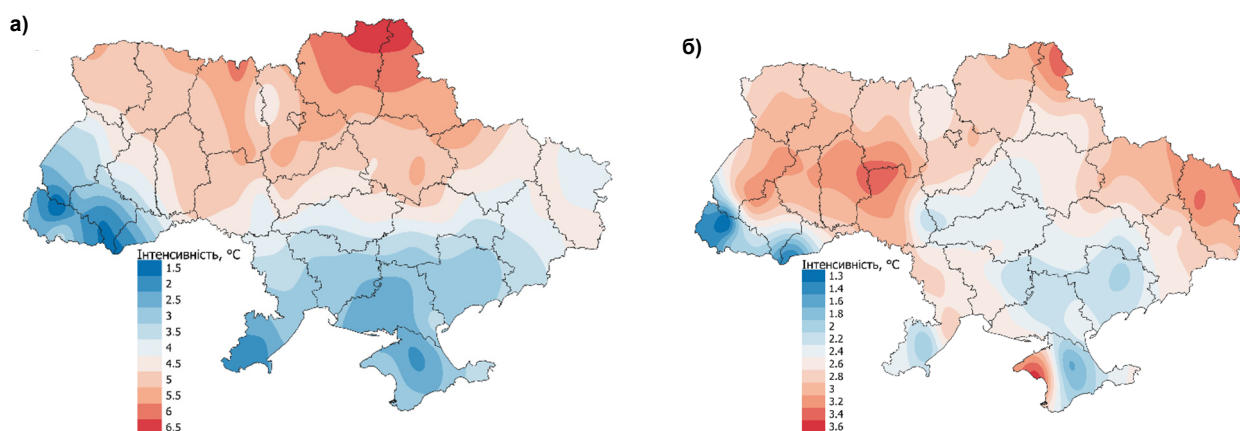


Рис. 5. Просторовий розподіл річної інтенсивності хвиль холоду (І₃, °С) у холодний період: а) 1961–1990 рр.; б) 1991–2020 рр.

Значення річної інтенсивності ХХ у теплий період були вищими, ніж у холодний. За кліматичну норму 1961–1990 рр. діапазон значень (рис. 6, а) становить від 2 до 20 °С. Вищі показники інтенсивності (10–20 °С) спостерігаються в південному регіоні – у Криму, Одеській області та в прибережних частинах Херсонської, Миколаївської й Запорізької областей. Найнижча інтенсивність (2 °С) характерна для Луганської та частково Донецької, а також для частини Закарпатської області. Для решти території країни середні значення коливаються в межах 4–8 °С, зі зростанням значень ІЗ у південному напрямку. У період 1991–2020 (рис. 6, б) значення даного показника помітно знизилися – найвище значення для досліджуваної території сягало 10 °С. Найвища інтенсив-

ність (7–10 °С) спостерігається в Криму. Найнижча інтенсивність (до 1,0 °С) характерна для східних регіонів, таких як Луганська, Донецька та Харківська області, та в окремих частинах Житомирської й Закарпатської областей. Вся інша територія країни має середні значення 1–4 °С з поступовим зростанням інтенсивності на південь.

Характеристика окремих випадків хвиль холоду. На основі аналізу всіх виявлених випадків хвиль холоду, що спостерігалися в Україні протягом 1961–2020 рр., було обрано шість найтриваліших випадків, які охоплювали значну територію (ХХ мала фіксуватися не менш ніж на 65 із 70 точок, які використовувалися в цьому дослідженні). У табл. 1 подано обрані найтриваліші та найінтенсивніші випадки ХХ на території України.

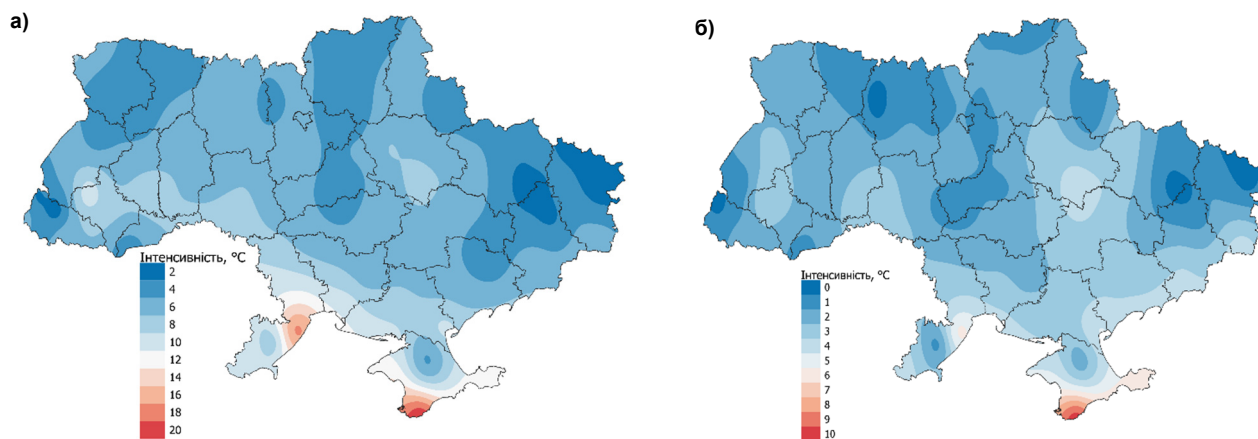


Рис. 6. Просторовий розподіл річної інтенсивності хвиль холоду (I_3 , °C) у теплий період: а) 1961–1990 рр.; б) 1991–2020 рр.

Таблиця 1

Список хвиль холоду з найбільшим просторовим охопленням за 1961–2020 рр.

Дата початку	Дата завершення	Тривалість, дні	Охоплення (кількість точок)	I_2 , °C	I_3 , °C
09.01.1963	03.02.1963	26	69	90,5	9,9
13.01.1972	02.02.1972	21	67	69,2	7,5
06.02.1985	15.03.1985	38	70	149,5	9,8
27.02.1987	20.03.1987	22	70	92,8	5,0
18.01.2006	28.01.2006	11	68	51,7	5,6
25.01.2012	19.02.2012	26	70	79,7	8,2

Як видно з табл. 1, до хвиль холоду з найбільшим просторовим охопленням належали ХХ холодного сезону. Хвилі холоду у теплий період (квітень – вересень), хоча і фіксуються на території України, проте характеризуються меншою тривалістю (зазвичай менше 10-ти днів), меншим просторовим охопленням та нижчою інтенсивністю, порівняно з ХХ холодного періоду (жовтень – березень). Очевидно, це пов'язано із кліматичними особливостями регіону, де влітку переважають теплі повітряні маси, а різке зниження температури повітря є відносно рідкісним явищем, що спричинюється вторгненням холодних повітряних мас з півночі або північного сходу чи надходженням західних циклонів. Такі хвилі холоду, як правило, охоплюють меншу територію та характеризуються менш вираженими температурними аномаліями.

Дискусія і висновки

Отже, просторово-часовий аналіз хвиль холоду в Україні за період 1961–2020 рр. дозволив виявити ключові тенденції, регіональні особливості та зміни в частоті, тривалості й інтенсивності цих атмосферних явищ. Було встановлено, що у 1991–2020 рр. кількість випадків ХХ скоротилася на 40 %, порівняно з 1961–1990 рр. – із 298 випадків до 180. Середня тривалість хвиль холоду на території України за 1961–2020 рр. становила 4,7 дні. Найвищі значення тривалості (5 днів і вище) характерні для окремих частин східних (Харківська, Луганська області) та західних (Львівська, Волинська, Рівненська, Хмельницька, Тернопільська) областей, мінімальні (4,0–4,3 дні) – для південних районів (південь Одеської області, південний берег Криму) й Закарпаття. У холодний період середня тривалість хвиль холоду становила 5,7 дні у 1961–1990 рр. та 4,9 дні у 1991–2020 рр., що є вищим порівняно з теплим періодом (відповідно, 3,9 та 3,7). У сучасний період 1991–2020 рр. спостерігається зменшення тривалості хвиль холоду в холодний період, тоді як у теплий період суттєвих змін не помітно. Найтриваліші хвилі

холоду зафіксовані у 1985 р. (ХХ лютого – першої половини березня – 38 днів), у 1963 р. (хвиля холоду січня – липня тривалістю 26 днів) та у 1987 р. (ХХ лютого – березня – 22 дні), що суттєво перевищує середні значення для відповідних періодів. За період 1991–2020 рр. середня сезонна інтенсивність хвиль холоду (I_2) у теплий період варіювалася від 1,8 °C до 10,2 °C, зниження середнього значення сезонної інтенсивності становило приблизно 2–8 °C, порівняно з попереднім кліматичним періодом. За період 1991–2020 рр. середня сезонна інтенсивність хвиль холоду в холодний період зменшилася на 11–29 °C і перебувала в межах від 9 до 28 °C.

Глобальна зміна клімату призводить до зниження частоти прояву, інтенсивності та тривалості хвиль холоду не лише в Україні, а й в усьому світі. У Польщі протягом останніх десятиліть також спостерігається зменшення кількості випадків ХХ (Tomczyk et al., 2019a; Tomczyk et al., 2023). В Іспанії зафіксовано зменшення кількості проявів ХХ порівняно з ХТ, виявлено зменшення їхньої тривалості (Serrano-Notivol et al., 2022). Аналогічні висновки отримані під час досліджень для Західної Африки та Південної Америки (Adolphus et al., 2021; Bitencourt et al., 2019; Ceccherini et al., 2015). Метеорологи з Індії показали, що на території цієї країни також спостерігається спрямована тенденція до зростання мінімальної температури повітря і як наслідок – зменшення тривалості ХХ останні 30 років (Abhinav, & Yadav, 2023). Результати дослідження свідчать, що починаючи з 1980-х років у Північній Америці та Європі фіксується різке скорочення територій, які зазнають впливу хвиль холоду, та відбувається сильне "потепління" хвиль холоду скрізь у північних і середніх широтах (Van Oldenborgh et al., 2019). В Іспанії кількість випадків ХХ почала зменшуватися приблизно з 1980 років (Serrano-Notivol, & Lemus-Canovas, 2022). У той же час (Pitaric et al., 2018) виявилось, що в Румунії за період 1961–2015 рр. ХХ стали менш частими, але більш інтенсивними. Аналіз випадків ХХ у Карпатському

регіоні свідчить про зменшення частоти, тривалості й інтенсивності на захід від Карпат і збільшення на північний схід від Карпат. Період 1960–1980 рр. мав найбільшу кількість сильних хвиль холоду в Карпатському регіоні (Spinoni et al., 2015). Дослідження ХХ на південному сході Польщі та заході України в період 1966–2021 рр. показало, що найбільше ХХ було зафіксовано у 1966–1976 та 2006–2016 рр.

На території України найтривалішою (38 днів) і найінтенсивнішою (сезонна інтенсивність І2 – 149,5 °С, річна І3 – 9,8 °С) за період 1961–2020 рр. була хвиля холоду в лютому – березні 1985 р. Вона поширилася по всій території України з температурами, які в окремі дні опускалися до –34 °С у Сумській і Харківській областях. За даними Spinoni та ін. (Spinoni et al., 2015) у всьому Карпатському регіоні ХХ у березні 1962, 1985 та взимку 1987 роки були класифіковані як інтенсивні та характеризувалися аномально низькими температурами.

Отже, зафіксоване зменшення частоти, тривалості й інтенсивності хвиль холоду в Україні (особливо після 1980-х) підтверджує вплив глобального потепління на термічний режим території та відповідає тенденціям зміни характеристик хвиль холоду, що спостерігаються у світі.

Внесок авторів: Внесок авторів: Ольга Шевченко – концептуалізація, методологія, формальний аналіз, написання (оригінальна чернетка, перегляд і редагування); Сергій Сніжко – концептуалізація, методологія, написання (оригінальна чернетка), написання (перегляд і редагування); Дмитро Пінчук – формальний аналіз, програмне забезпечення, написання (оригінальна чернетка, перегляд і редагування).

Джерела фінансування. Автори заявляють про відсутність зовнішнього фінансування для проведення цього дослідження та підготовки рукопису до публікації.

Список використаних джерел

- Abhinav, W., & Yadav, B. (2023). *Cold waves and its management in India*. National Disaster Management Authority. <https://ndma.gov.in/sites/default/files/NL-Dec23/images/article1.pdf>
- Adolphus, I., Akinbobola, A., & Balogun, A. (2021). Evaluation of heat and cold wave events over West Africa. *Scientific Research Journal*, 9, 22–37. <http://dx.doi.org/10.31364/SCIRJ/v9.i09.2021.P0921879>
- Barnett, A. G., Hajat, S., Gasparini, A., & Rocklöv, J. (2012). Cold and heat waves in the United States. *Environmental Research*, 112, 218–224. <http://doi.org/10.1016/j.envres.2011.12.010>
- Bitencourt, D., Fuentes, M., Franke, A., Silveira, R., & Alves, M. (2019). The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. *International Journal of Climatology*, 40. <http://doi.org/10.1002/joc.6345>
- Ceccherini, G., Russo, S., Ametoy, I., Hernandez, C., & Carmona-Moreno, C. (2015). Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: The case of South America. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 3. <http://doi.org/10.5194/nhessd-3-7379-2015>
- Dizerens, C., Lenggenhager, S., Schwander, M., Buck, A., & Foffa, S. (2017). The 1956 cold wave in Western Europe. In S. Brönnimann (Ed.), *Historical Weather Extremes in Reanalyses*. *Geographica Bernensia*, G92 (pp. 101–111). <http://doi.org/10.4480/GB2017.G92.09>
- Feng, J., Cao, D., Zheng, D., Qian, Z. M., Huang, C., Shen, H., Liu, Y., Liu, Q., Sun, J., Jiao, G., Yang, X., McMillin, S. E., Wang, C., Lin, H., Zhang, X., & Zhang, S. (2023). Cold spells linked with respiratory disease hospitalization, length of hospital stay, and hospital expenses: Exploring cumulative and harvesting effects. *Science of the Total Environment*, 863, 160726. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160726>
- Lavaysse, C., Cammalleri, C., Dosio, A., van der Schrier, G., Toreti, A., & Vogt, J. (2018). Towards a monitoring system of temperature extremes in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 91–104. <http://doi.org/10.5194/nhess-18-91-2018>
- Osadchyi, V., Skrynyk, O., Sidenko, V., Aguilar, E., Guizarro, J., Szentimrey, T., Skrynyk, O., Bihari, Z., Palamarchuk, L., Oshurok, D., Kravchenko, I., & Pinchuk, D. (2025). Climuad: Observation-based gridded daily climate data for Ukraine, 1946–2020. *Geoscience Data Journal*, 12(2). <http://doi.org/10.1002/gdj3.70000>
- Pinchuk, D. B., & Zatul, V. I., (2022). Cold waves in Ukraine in cold season 2011–2020. In: *Proceedings of the 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. European Association of Geoscientists & Engineers, Kyiv, Ukraine, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580019>

- Piticar, A., Croitoru, A.-E., Ciupertea, F.-A., & Harpa, G.-V. (2018). Recent changes in heat waves and cold waves detected based on excess heat factor and excess cold factor in Romania. *International Journal of Climatology*, 38, 1777–1793. <http://doi.org/10.1002/joc.5295>
- Serrano-Notivol, R., & Lemus-Canovas, M. (2022). Heat and cold waves in mainland Spain: Origins, characteristics, and trends. *Weather and Climate Extremes*, Vol. 37. <http://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100471>
- Smid, M., Russo, S., Costa, A. C., Granell, C., & Pebesma, E. (2019). Ranking European capitals by exposure to heat waves and cold waves. *Urban Climate*, 27, 388–402. <http://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.12.010>
- Spinoni, J., Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S., Vogt, J., & Antofie, T. (2015). Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. *International Journal of Climatology*, 35, 4197–4209. <http://doi.org/10.1002/joc.4279>
- Tomassini, L., Gerber, E.P., Baldwin, M.P., Bunzel, F., & Giorgetta, M. (2012). The role of stratosphere-troposphere coupling in the occurrence of extreme winter cold spells over northern Europe. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 4. <https://doi.org/10.1029/2012MS000177>
- Tomczyk, A. M., & Bednorz, E. (2023a). Thermal stress during heat waves and cold spells in Poland. *Weather and Climate Extremes*, 42, 100612. <http://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100612>
- Tomczyk, A. M., Bednorz, E., & Pórolniczak, M. (2019a). Strong heat and cold waves in Poland in relation with the large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 1909–1923. <http://doi.org/10.1007/s00704-018-2715-y>
- Tomczyk, A. M., Bednorz, E., & Sulikowska, A. (2019b). Cold spells in Poland and Germany and their circulation conditions. *International Journal of Climatology*, 39, 4002–4014. <http://doi.org/10.1002/joc.6054>
- Tomczyk, A. M., Shevchenko, O., & Matzarakis, A. (2023b). Biometeorological conditions during cold spells in south-east Poland and west Ukraine. *International Journal of Biometeorology*, 67, 2025–2036. DOI: 10.1007/s00484-023-02559-4
- Tringa, E., Tolika, K., Anagnostopoulou, C., & Kostopoulou, E. (2022). A Climatological and Synoptic Analysis of Winter Cold Spells over the Balkan Peninsula. *Atmosphere*, 13(11), 1851. <https://doi.org/10.3390/atmos13111851>
- Van Oldenborgh, G. J., Mitchell-Larsen, E., Vecchi, G. A., de Vries, H., Vautard, R., & Otto, F. (2019). Cold waves are getting milder in the northern midlatitudes. *Environmental Research Letters*, 14(11), 114004. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4867>
- Wibig, J., Podstawczyńska, A., Rzepa, M., & Piotrowski, P. (2009). Cold waves in Poland – frequency, trends and relationships with atmospheric circulation. *Geographia Polonica*, 82(1), 47–59. <http://doi.org/10.7163/gpol.2009.1.4>

References

- Abhinav, W., & Yadav, B. (2023). *Cold waves and its management in India*. National Disaster Management Authority. <https://ndma.gov.in/sites/default/files/NL-Dec23/images/article1.pdf>
- Adolphus, I., Akinbobola, A., & Balogun, A. (2021). Evaluation of heat and cold wave events over West Africa. *Scientific Research Journal*, 9, 22–37. <http://dx.doi.org/10.31364/SCIRJ/v9.i09.2021.P0921879>
- Barnett, A. G., Hajat, S., Gasparini, A., & Rocklöv, J. (2012). Cold and heat waves in the United States. *Environmental Research*, 112, 218–224. <http://doi.org/10.1016/j.envres.2011.12.010>
- Bitencourt, D., Fuentes, M., Franke, A., Silveira, R., & Alves, M. (2019). The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. *International Journal of Climatology*, 40. <http://doi.org/10.1002/joc.6345>
- Ceccherini, G., Russo, S., Ametoy, I., Hernandez, C., & Carmona-Moreno, C. (2015). Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: The case of South America. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 3. <http://doi.org/10.5194/nhessd-3-7379-2015>
- Dizerens, C., Lenggenhager, S., Schwander, M., Buck, A., & Foffa, S. (2017). The 1956 cold wave in Western Europe. In S. Brönnimann (Ed.), *Historical Weather Extremes in Reanalyses*. *Geographica Bernensia*, G92 (pp. 101–111). <http://doi.org/10.4480/GB2017.G92.09>
- Feng, J., Cao, D., Zheng, D., Qian, Z. M., Huang, C., Shen, H., Liu, Y., Liu, Q., Sun, J., Jiao, G., Yang, X., McMillin, S. E., Wang, C., Lin, H., Zhang, X., & Zhang, S. (2023). Cold spells linked with respiratory disease hospitalization, length of hospital stay, and hospital expenses: Exploring cumulative and harvesting effects. *Science of the Total Environment*, 863, 160726. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160726>
- Lavaysse, C., Cammalleri, C., Dosio, A., van der Schrier, G., Toreti, A., & Vogt, J. (2018). Towards a monitoring system of temperature extremes in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 91–104. <http://doi.org/10.5194/nhess-18-91-2018>
- Osadchyi, V., Skrynyk, O., Sidenko, V., Aguilar, E., Guizarro, J., Szentimrey, T., Skrynyk, O., Bihari, Z., Palamarchuk, L., Oshurok, D., Kravchenko, I., & Pinchuk, D. (2025). Climuad: Observation-based gridded daily climate data for Ukraine, 1946–2020. *Geoscience Data Journal*, 12(2). <http://doi.org/10.1002/gdj3.70000>
- Pinchuk, D. B., & Zatul, V. I., (2022). Cold waves in Ukraine in cold season 2011–2020. In: *Proceedings of the 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. European Association of Geoscientists & Engineers, Kyiv, Ukraine, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580019>
- Piticar, A., Croitoru, A.-E., Ciupertea, F.-A., & Harpa, G.-V. (2018). Recent changes in heat waves and cold waves detected based on excess

heat factor and excess cold factor in Romania. *International Journal of Climatology*, 38, 1777–1793. <http://doi.org/10.1002/joc.5295>

Serrano-Notivol, R., & Lemus-Canovas, M. (2022). Heat and cold waves in mainland Spain: Origins, characteristics, and trends. *Weather and Climate Extremes*, Vol. 37. <http://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100471>

Smid, M., Russo, S., Costa, A. C., Granell, C., & Pebesma, E. (2019). Ranking European capitals by exposure to heat waves and cold waves. *Urban Climate*, 27, 388–402. <http://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.12.010>

Spinoni, J., Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S., Vogt, J., & Antofie, T. (2015). Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. *International Journal of Climatology*, 35, 4197–4209. <http://doi.org/10.1002/joc.4279>

Tomassini, L., Gerber, E.P., Baldwin, M.P., Bunzel, F., & Giorgetta, M. (2012). The role of stratosphere-troposphere coupling in the occurrence of extreme winter cold spells over northern Europe. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 4. <https://doi.org/10.1029/2012MS000177>

Tomczyk, A. M., & Bednorz, E. (2023a). Thermal stress during heat waves and cold spells in Poland. *Weather and Climate Extremes*, 42, 100612. <http://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100612>

Tomczyk, A. M., Bednorz, E., & Pórolniczak, M. (2019a). Strong heat and cold waves in Poland in relation with the large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 1909–1923. <http://doi.org/10.1007/s00704-018-2715-y>

Tomczyk, A. M., Bednorz, E., & Sulikowska, A. (2019b). Cold spells in Poland and Germany and their circulation conditions. *International Journal of Climatology*, 39, 4002–4014. <http://doi.org/10.1002/joc.6054>

Tomczyk, A. M., Shevchenko, O., & Matzarakis, A. (2023b). Biometeorological conditions during cold spells in south-east Poland and west Ukraine. *International Journal of Biometeorology*, 67, 2025–2036. DOI:10.1007/s00484-023-02559-4

Tringa, E., Tolika, K., Anagnostopoulou, C., & Kostopoulou, E. (2022). A Climatological and Synoptic Analysis of Winter Cold Spells over the Balkan Peninsula. *Atmosphere*, 13(11), 1851. <https://doi.org/10.3390/atmos13111851>

Van Oldenborgh, G. J., Mitchell-Larson, E., Vecchi, G. A., de Vries, H., Vautard, R., & Otto, F. (2019). Cold waves are getting milder in the northern midlatitudes. *Environmental Research Letters*, 14(11), 114004. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4867>

Wibig, J., Podstawczyńska, A., Rzepa, M., & Piotrowski, P. (2009). Cold waves in Poland – frequency, trends and relationships with atmospheric circulation. *Geographia Polonica*, 82(1), 47–59. <http://doi.org/10.7163/jgp.2009.1.4>

Отримано редакцією журналу / Received: 02.03.26

Прорецензовано / Revised: 05.04.26

Схвалено до друку / Accepted: 30.04.26

Опубліковано / Published: 30.05.26

Olga SHEVCHENKO, DSc (Geogr.)

ORCID ID: 0000-0003-3915-427X

Scopus ID: 55801127100

e-mail: shevchenko_olga@knu.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Dmytro PINCHUK, PhD Student,

ORCID ID: 0000-0002-2054-3761

Scopus ID: 58249436500

e-mail: dimapinchuk_20@knu.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Sergiy SNIZHKO, DSc (Geogr.)

ORCID ID: 0000-0002-2696-687X

Scopus ID: 57224880799

e-mail: snizhko@knu.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF COLD SPELLS IN UKRAINE OVER A LONG-TERM PERIOD

Background. Despite the significant negative impact of cold spells on human health and the potential for catastrophic consequences following their occurrence, these extreme atmospheric phenomena remain insufficiently studied in Ukraine, which determines the high relevance of their investigation. The aim of this study is to analyze the spatiotemporal distribution of cold spells across Ukraine over a long period.

Methods. In this study, the identification of cold spells is based on the Heat and Cold Wave Index, which is calculated for each location based at least three consecutive days during which both minimum and maximum daily air temperatures simultaneously exceed the 90th percentile (for heat waves) or fall below the 10th percentile (for cold spells), defined from a 30-year climatological baseline period (1981–2010). Seasonal intensity (I2) and annual intensity (I3) were used to characterize cold spells. To reach the objectives of this study, the ClimUAd dataset for 1961–2020 was used, containing daily minimum, maximum, and mean air temperature values from 178 meteorological stations across Ukraine, interpolated onto a 0.1° × 0.1° grid. A total of 70 points, evenly distributed (2–3 points per region) across the territory of Ukraine, were selected for analysis. Data processing was carried out using scripts developed by the authors in the Python programming language. The spatial distribution of cold spells characteristics was mapped using QGIS and SagaGIS software.

Results. Based on a spatiotemporal analysis of cold spells over the territory of Ukraine it was shown that in 1991–2020 the number of cold spells decreased by 40% compared to 1961–1990. During the cold season, the duration of cold spells was longer than in the warm season. In the modern period (1991–2020), a decrease in cold spells duration is observed, more pronounced in the cold season. The longest cold spells were recorded in 1963 (average duration of 5.7 days), 1985 (5.4 days), and 1987 (4.5 days). For the period 1991–2020, the mean seasonal intensity (I2) of cold waves in the warm season ranged from 1.8 °C to 10.2 °C, with a decrease of approximately 2–8 °C compared to the previous climatic period. In the cold season, the mean seasonal intensity decreased within the range of 9 to 28 °C during 1991–2020. It was also shown that the longest (38 days) and most intense (seasonal intensity I2 – 149.5 °C, annual intensity I3 – 9.8 °C) cold spells over the period 1961–2020 occurred in February–March 1985. This event affected the entire territory of Ukraine, with temperatures in some days dropping to –34 °C in the Sumy and Kharkiv regions.

Conclusions. Thus, a decrease in the frequency, duration and intensity of cold spells in Ukraine has been observed (particularly since the 1980s), which confirms the impact of global warming on the region's thermal regime and is consistent with the trends in the changing characteristics of cold spells worldwide.

Keywords: cold spell, cold spells duration, seasonal cold spells intensity, yearly intensity of cold spells, Ukraine.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.