

**Міністерство освіти і науки України**  
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка**  
**Географічний факультет**  
**Кафедра метеорології та кліматології**

На правах рукопису

УДК 551.515

**Просторово-часовий аналіз хвиль холоду в Україні**  
**за багаторічний період**

Галузь знань 10	Природничі науки
Спеціальність 103	Науки про Землю
Освітня програма	Метеорологія

Кваліфікаційна робота магістра  
студента 2 курсу  
освітнього рівня магістр  
Пінчука Дмитра Богдановича

Науковий керівник:  
доктор географічних наук, професор  
Шевченко Ольга Григорівна

Допустити до захисту:

Завідувач кафедри метеорології та кліматології, проф.Сергій СНІЖКО

«\_\_»\_\_\_\_\_ 2025 р.

**Київ – 2025**

## АНОТАЦІЯ

Хвилі холоду є атмосферними явищами, які мають значний вплив на здоров'я населення, сільське господарство, економіку та інфраструктуру. В умовах глобальної зміни клімату, що характеризується потеплінням клімату, вивчення динаміки хвиль холоду набуває особливої актуальності, оскільки їх частота, тривалість та інтенсивність зазнають змін. Різні регіони України характеризуються певними кліматичними особливостями (південні регіони перебувають під впливом морів, на заході держави формується особливий клімат за рахунок Карпатських гір, східні області частіше перебувають під впливом континентальних повітряних мас), тому й кількість випадків хвиль холоду, їх тривалість та інтенсивність у різних частинах території України можуть відрізнятися. Знання цих відмінностей та розуміння чинників, що їх визначають, може допомогти у прогнозуванні хвиль холоду та сприяти мінімізації збитків від цих явищ у різних галузях економіки.

**Метою роботи** є здійснення просторово-часового аналізу хвиль холоду на території України за багаторічний період. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні завдання:

1. за літературними джерелами проаналізувати сучасні методологічні підходи до визначення хвиль холоду та їх характеристик;
2. охарактеризувати кліматичні особливості території України;
3. створити базу даних максимальної та мінімальної добової температури повітря за 1961–2020 рр., ідентифікувати випадки хвиль холоду та розрахувати їх характеристики;
4. проаналізувати кількість випадків хвиль холоду, їх інтенсивність та тривалість (як в цілому за рік, так і в теплий та холодний сезони року) по території України і зміну цих показників з часом;
5. вивчити окремі випадки хвиль холоду з метою виявлення спільних рис та особливостей прояву і розвитку цього атмосферного явища на території України.

**Об’єктом дослідження** є хвилі холоду, що спостерігалися на території України за багаторічний період.

**Предметом дослідження** є закономірності просторово-часового розподілу хвиль холоду та їх характеристик (частота, тривалість, інтенсивність за показниками I2 та I3) на території України за 1961–2020 роки.

**Матеріали і методи дослідження.** Для виконання задач даного дослідження використано набір даних ClimUAd за 1961–2020 роки, що містить щоденні значення мінімальної, максимальної та середньої температури повітря 178 метеорологічних станцій України, інтерпольовані на сітку  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ . Для реалізації завдань даної роботи були використані 70 точок. У роботі використано класичні методи математичної статистики. Для обробки даних у роботі використано скрипти, написані автором на мові програмування Python. Картографічне представлення просторового розподілу характеристик хвиль холоду виконано за допомогою програм «QGIS» та «SagaGIS».

Структурно робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (39 найменувань) і 1 додатку на 2 сторінках. Загальний обсяг магістерської роботи становить 79 сторінок, з яких 52 сторінок основного тексту. Робота містить 28 рисунків та 4 таблиці.

**Ключові слова:** хвилі холоду, просторово-часовий аналіз, Україна, тривалість, інтенсивність, холодний період, теплий період.

## SUMMARY

Cold waves are atmospheric phenomena that have a significant impact on public health, agriculture, the economy, and infrastructure. In the context of global climate change, characterized by climate warming, studying the dynamics of cold waves is of particular relevance, as their frequency, duration, and intensity are changing. Different regions of Ukraine are characterized by certain climatic features (the southern regions are influenced by the seas, the western part of the country has a special climate due to the Carpathian Mountains, and the eastern regions are more often influenced by continental air masses), so the number of cold waves, their duration and intensity may differ in different parts of Ukraine. Knowing these differences and understanding the factors that determine them can help forecast cold waves and help minimize damage from these phenomena in various sectors of the economy.

**The purpose of the study** is to analyze the spatial and temporal patterns of cold waves in Ukraine over a long-term period. To achieve this goal, the following tasks were solved in the study:

To achieve this goal, the following tasks were solved in the study:

1. analyze modern methodological approaches to the definition of cold waves and their characteristics based on the literature;
2. characterize the climatic features of the territory of Ukraine;
3. create a database of maximum and minimum daily air temperatures for 1961-2020, identify cases of cold waves and calculate their characteristics;
4. analyze the number of cases of cold waves, their intensity and duration (both in general for the year and in the warm and cold seasons) in Ukraine and the change in these indicators over time;
5. study individual cases of cold waves in order to identify common features and peculiarities of the manifestation and development of this atmospheric phenomenon in Ukraine.

**The object of the study** is cold waves observed in Ukraine over a long-term period.

**The subject of the study** is the regularities of the spatial and temporal distribution of cold waves and their characteristics (frequency, duration, intensity by I2 and I3 indicators) in Ukraine for 1961-2020.

**Materials and methods of the study.** To accomplish the tasks of this study, we used the ClimUAd dataset for 1961-2020, which contains daily values of minimum, maximum, and average air temperature of 178 meteorological stations in Ukraine, interpolated to a grid of  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ . To accomplish the tasks of this study, 70 points were used. Classical methods of mathematical statistics were used in the study. For data processing, the paper uses scripts written by the author in the Python programming language. The mapping of the spatial distribution of cold wave characteristics was performed using the programs “QGIS” and “SagaGIS”.

Structurally, the work consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references (39 sources) and 1 addition on 2 pages. The total amount of the master's thesis is 78 pages, including 52 pages of the main text. The work contains 27 figures and 4 tables.

**Keywords:** cold waves, spatio-temporal analysis, Ukraine, duration, intensity, cold period, warm period.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ХВИЛЬ ТЕПЛА ХВИЛЬ ХОЛОДУ.....	10
1.1 Основні методологічні підходи до визначення хвиль холоду.....	10
1.2 Динаміка повторюваності та інтенсивності хвиль холоду.....	15
1.3 Прогнозування хвиль холоду та їх проєкції.....	16
1.4 Наслідки прояву хвиль холоду.....	19
Висновки до розділу 1.....	21
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА МЕТОДОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	22
2.1 Характеристика території дослідження.....	22
2.2 Матеріали та методи дослідження.....	25
РОЗДІЛ 3. ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ АНАЛІЗ ХВИЛЬ ХОЛОДУ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	29
3.1 Кількість випадків хвиль холоду за 1961–2020 рр. ....	29
3.2 Середня тривалість хвиль холоду.....	30
3.3 Сезонна інтенсивність хвиль холоду (I <sub>2</sub> ).....	37
3.4 Річна інтенсивність хвиль холоду (I <sub>3</sub> ).....	41
Висновки до розділу 3.....	46
РОЗДІЛ 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ОКРЕМИХ ВИПАДКІВ ХВИЛЬ ХОЛОДУ.....	47
Висновки до розділу 4.....	68
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71
ДОДАТКИ.....	77

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ХХ – Хвиля холоду

ХТ – Хвиля тепла

ТП – Теплий період

ХП – Холодний період

ВМО – Всесвітня Метеорологічна Організація

I2 – Сезонна інтенсивність хвиль холоду

I3 – Річна інтенсивність хвиль холоду

## ВСТУП

Хвилі холоду є атмосферними явищами, які мають значний вплив на здоров'я населення, сільське господарство, економіку та інфраструктуру. В умовах глобальної зміни клімату, що характеризується потеплінням клімату, вивчення динаміки хвиль холоду набуває особливої актуальності, оскільки їх частота, тривалість та інтенсивність зазнають змін. Різні регіони України характеризуються певними кліматичними особливостями (південні регіони перебувають під впливом морів, на заході держави формується особливий клімат за рахунок Карпатських гір, східні області частіше перебувають під впливом континентальних повітряних мас), тому й кількість випадків хвиль холоду, їх тривалість та інтенсивність у різних частинах території України можуть відрізнятися. Знання цих відмінностей та розуміння чинників, що їх визначають, може допомогти у прогнозуванні хвиль холоду та сприяти мінімізації збитків від цих явищ у різних галузях економіки.

**Метою роботи** є здійснення просторово-часового аналізу хвиль холоду на території України за багаторічний період. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні завдання:

1. за літературними джерелами проаналізувати сучасні методологічні підходи до визначення хвиль холоду та їх характеристик;
2. охарактеризувати кліматичні особливості території України;
3. створити базу даних максимальної та мінімальної добової температури повітря за 1961–2020 роки, ідентифікувати випадки хвиль холоду та розрахувати їх характеристики;
4. проаналізувати кількість випадків хвиль холоду, їх інтенсивність та тривалість (як в цілому за рік, так і у теплий та холодний сезони року) по території України та зміну цих показників з часом;
5. вивчити окремі випадки хвиль холоду з метою виявлення спільних рис та особливостей прояву і розвитку цього атмосферного явища на території України.

**Об'єктом дослідження** є хвиля холоду, що спостерігалися на території України за багаторічний період.

**Предметом дослідження** є закономірності просторово-часового розподілу хвиль холоду та їх характеристик (частота, тривалість, інтенсивність за показниками I2 та I3) на території України за 1961–2020 роки.

**Матеріали і методи дослідження.** Для виконання задач даного дослідження використано набір даних ClimUAd за 1961–2020 роки, що містить щоденні значення мінімальної, максимальної та середньої температури повітря 178 метеорологічних станцій України, інтерпольовані на сітку  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ . Для реалізації завдань даної роботи були використані 70 точок. У роботі використано класичні методи математичної статистики. Для обробки даних у роботі використано скрипти, написані автором на мові програмування Python. Картографічне представлення просторового розподілу характеристик хвиль холоду виконано за допомогою програм «QGIS» та «SagaGIS».

Структурно робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (39 найменувань) і 1 додатку на 2 сторінках. Загальний обсяг магістерської роботи становить 79 сторінок, з яких 52 сторінок основного тексту. Робота містить 28 рисунків та 4 таблиці.

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ХВИЛЬ ТЕПЛА ТА ХВИЛЬ ХОЛОДУ

### 1.1. Основні методологічні підходи до визначення хвиль холоду

Хвиля холоду – це період помітного і нетипового похолодання, що характеризується різким і значним зниженням температури повітря на значній території і утримується нижче певних порогових значень протягом щонайменше двох днів поспіль протягом холодного сезону.

Всесвітня Метеорологічна Організація зазначає [38], що хвилю холоду не слід плутати з «похолоданням», яке належить до стійких температурних умов нижче середнього рівня, що виникають в теплу пору року, які також можуть мати серйозні наслідки для здоров'я людей та сільського господарства.

Хоча для ідентифікації даного явища, не існує єдиної загальноновживаної методології, ВМО у своїх рекомендаціях щодо визначення та моніторингу екстремальних погодних і кліматичних явищ рекомендує наступне [38]:

- використовувати індекси, які розраховано на основі значень температури, наприклад добові значення  $T_{min}$ ,  $T_{max}$  та/або середньої температури; інший подібний індекс можна обчислити, використовуючи зміну температури за 24 години до початку події;
- порогові значення, що визначаються на основі історичних значень індексу;
- визначення дати початку та кінця події на основі встановлених порогових значень, мінімальна тривалість події має становити два дні;
- використання спеціалізованих програм для обчислення площі, яку охопила подія, шляхом визначення відсотка станцій, на яких було перевищено поріг;
- визначення координат станцій та центру з найвищими/найнижчими значеннями індексів.

Отже, для об'єктивної характеристики хвилі холоду ВМО рекомендує використовувати метеорологічні характеристики, що базуються на місцевих кліматичних умовах. Такі індекси можуть базуватися на одному метеорологічному елементі (наприклад,  $T_{min}$  або  $T_{max}$ ) або розраховуватися з використанням комбінації змінних, включаючи температуру, швидкість вітру, швидкість падіння температури за останні 24 години тощо. Також можуть бути визначені порогові значення, відхилення від яких може відображати аномально холодні умови та екстремальність події.

Як було зазначено вище, не існує конкретної методології вивчення даного явища, більшість дослідників застосовують власні методи та визначення. Для визначення хвиль холоду та хвиль тепла Європейська обсерваторія посухи Коперника використовує індекс HCWI (Heat and Cold Wave Index). Хвиля холоду фіксується, якщо протягом трьох днів поспіль мінімальна та максимальна добова температура ( $T_{min}, T_{max}$ ) є нижчою за порогове значення, яке визначається як 10-й перцентиль  $T_{min}$  і  $T_{max}$  для цього дня за референтний період 1981–2010 роки. Аналогічно, хвиля тепла визначається на основі перевищення порогового значення 90-го перцентиля максимальної та мінімальної температури  $T_{max}$  та  $T_{min}$ . HCWI розраховується на основі щоденних мінімальних і максимальних температур, які беруться з бази даних MARS AGRI4CAST Центру спільних досліджень (JRC). Ця база містить метеорологічні дані, що охоплюють період з 1975 року до теперішнього часу, інтерпольовані на сітку з розміром  $25 \times 25$  км для всієї континентальної Європи та деяких сусідніх країн [20].

У роботі Lavausse С., що присвячена розробці та апробації системи моніторингу екстремальних температурних аномалій у Європі, представлена методологія, яка знаходиться у витоків HCWI [23]. У дослідженні використано щоденні значення  $T_{min}$  і  $T_{max}$  з трьох різних наборів даних, добові  $T_{min}$  і  $T_{max}$  перетворюються в квантілі на основі кліматологічних (21 рік) календарних перцентилів кожної змінної, рік розділено на два періоди: тривалий літній період, з квітня по вересень, для хвиль тепла і тривалий зимовий період, з жовтня по березень, для хвиль холоду. За ХТ та ХХ

вважається період, в який є щонайменше 3 послідовні спекотні (холодні) дні (тобто коли  $T_{min}$  і  $T_{max}$  одночасно перевищують квантильні пороги), якщо ж подія розділена короткостроковим періодом похолодання/потепління (1 день – так званий «день пропуску»), то вона не переривається. Рис. 1 ілюструє метод, використаний для виявлення хвиль тепла (хвиля холоду – аналогічно).

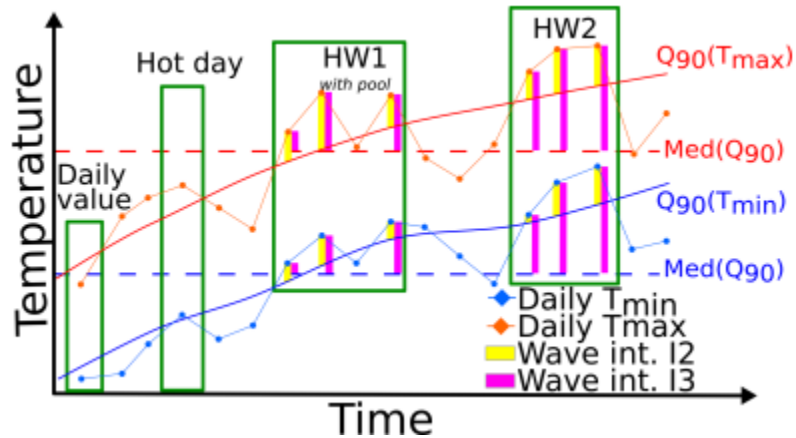


Рис. 1.1. Схема методу виявлення та розрахунку інтенсивності хвиль тепла на основі аномалій температури календарної доби:  $Q_{90}(T_{max})$  та  $Q_{90}(T_{min})$  (розрахунок сезонної інтенсивності «I2»), або на основі постійного кліматологічного порогу, що визначається медіаною добових квантилів:  $Med(Q_{90}(T_{max}))$  та  $Med(Q_{90}(T_{min}))$  (розрахунок річної інтенсивності «I3») [20]

Після виявлення хвилі виводяться дві основні характеристики: тривалість (у днях) та інтенсивність. Щоб врахувати різні характеристики та оцінити чутливість методів, остання розраховується трьома різними методами. Перший базується на сумі квантилів вище (або нижче) порогу під час виявленої хвилі:

$$I1(n) = \sum_{i=1}^N \beta \frac{[Q_{T_{x_{i,w}}} - Thres + Q_{T_{n_{i,w}}} - Thres]}{2}$$

$$\begin{cases} \beta = 1 \text{ for heat wave} \\ \beta = -1 \text{ for cold wave} \end{cases}$$

де  $I1$  – це інтенсивність хвилі, що має тривалість  $N$  днів (крім «днів пропуску»);  $Q_{T_{n_i,w}}$  і  $Q_{T_{x_i,w}}$  – добовий квантиль  $T_{min}$  і  $T_{max}$  у точці сітки  $w$  та  $Thres$ , порогові значення процентиля (тобто 0,9 та 0,1 для спекотних та холодних днів відповідно).

Метою ділення інтенсивності на 2 є отримання інтенсивності, яку можна порівнювати з інтенсивностями, розрахованими лише за  $T_{min}$  і  $T_{max}$ .

Другий метод подібний до першого, але відмінності в процентилях замінені температурними аномаліями щодо кліматологічних добових порогів. Цей метод визначається наступним чином:

$$I2(n) = \sum_{i=1}^N \beta \frac{[T_{x_i,w} - Q_{T_x} + T_{n_i,w} - Q_{T_n}]}{2},$$

де  $Q_{T_x}$  і  $Q_{T_n}$  представляють календарні добові порогови  $T_{min}$  і  $T_{max}$ , тобто температури для квантилів 0,9 (0,1) для хвиль тепла (холоду відповідно).

Цей метод дозволяє кількісно визначити інтенсивність по відношенню до сезонного циклу та відображає аномалію, але не обов'язково екстремальні значення абсолютних температур.

Останній метод також базується на температурних аномаліях, але використовує постійний поріг:

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

де  $T_{x_{med}(Q_{T_x})}$  і  $T_{x_{med}(Q_{T_n})}$  представляють постійну температуру медіани всіх календарних добових квантилів 0,1  $T_{max}$  і  $T_{min}$ ;

$\sigma_{T_x}$  і  $\sigma_{T_n}$  представляють кліматологічну річну дисперсію  $T_{min}$  і  $T_{max}$ .

Дана методологія також була використана у роботі Roberto S.-N. [28] для Іспанії, а саме Піренейського півострова.

У роботі Tomczyk A.M. хвилею холоду вважається період тривалістю щонайменше 3 дні під час якого  $T_{max}$  не перевищувала  $-10^{\circ}\text{C}$  [30], такий же метод був застосований і у роботі [31], де в зону дослідження входив Захід України та Схід Польщі. У роботі Wibig J. дане явище визначається як дні з температурами, що

перевищують вибрані порогові значення ( $T_{min} \leq -20^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{min} \leq -15^{\circ}\text{C}$  та  $T_{max} \leq -10^{\circ}\text{C}$ ) [37]., вибір таких порогових значень, як вказують автори є бажанням обмежитися справді екстремальними подіями, ймовірність появи яких взимку, як вони зазначають, становить менше ніж 5% на більшості аналізованих станцій.

Національна метеорологічна служба США визначає хвилю холоду як швидке падіння температури протягом 24 годин до рівня, що вимагає суттєво підвищеного захисту сільського господарства, промисловості, торгівлі та соціальної сфери. Таким чином, критерій хвилі холоду є подвійним: швидкість падіння температури і мінімум, до якого вона падає. Останній залежить від регіону та пори року [11]. У роботі Adrian B. з вивчення ХХ та ХТ у США та їх впливу на смертність, хвиля холоду визначалася як температура нижче порогу холоду протягом двох або більше днів поспіль, використовуючи перший-п'ятий процентилі температури в кожному місті [4].

У Китаї хвилю холоду визначають як різке похолодання, коли холодне повітря з високих широт вторгається в регіони середніх і низьких широт [36]. У дослідженні ХХ 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 [17].

Індійський Метеорологічний Департамент розглядає хвилю холоду, як подію, коли середня мінімальна температура на станції більше або дорівнює  $10^{\circ}\text{C}$ , відхилення від норми від  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $-6^{\circ}\text{C}$  вважається хвилею холоду, а відхилення від  $-7^{\circ}\text{C}$  або менше вважається сильним похолоданням, якщо мінімальна температура на станції менше  $10^{\circ}\text{C}$ , то відхилення на  $-4^{\circ}\text{C}$  до  $-5^{\circ}\text{C}$  вважається хвилею холоду, а відхилення  $-6^{\circ}\text{C}$  і менше – сильною хвилею холоду. [19]. У статті [4] хвиля холоду визначається за значенням аномалії середньої мінімальної температури, коли стандартне відхилення становить менше -1 протягом чотирьох або більше днів поспіль.

Для дослідження хвиль тепла та холоду у Південній Америці група вчених на чолі з Ceccherini G. [9] 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 три дні поспіль, коли температура була нижчою за добові порогові значення, добовий поріг визначається як 10-й перцентиль добових температур, зосереджений на 31-добовому проміжку для 30-річного періоду 1981–2010 рр..

Як вже зазначалось вище, одними з характеристик хвиль холоду є їх тривалість та інтенсивність. Для характеристики тривалості використовують кількість днів, коли показники температури (середня, мінімальна або максимальна) перевищують встановлений поріг. Для визначення тривалості також можна використовувати запропонований Robert J. H. Dunn Індекс тривалості холодних періодів (Cold spell duration index (CSDI)) [15], де для розрахунку використовуються добові мінімальні температури (TN) з 09 UTC до 09 UTC. Індекс тривалості холодних періодів (CSDI) – це щорічна кількість днів, коли мінімальна температура нижче кліматологічного 10-го перцентилля. Для того, щоб вважатися «періодом похолодання», він повинен тривати щонайменше шість днів поспіль. Для характеристики інтенсивності використовуються різні методи представлення цієї характеристики, серед них вже вище згадані HCWI та CWMI.

Отже, хвилі холоду є атмосферним явищем, для визначення якого не існує єдиної загальноприйнятої методології. Аналіз методів та підходів, які застосовуються в різних дослідженнях, свідчить, що вони відрізняються за температурними порогоми та тривалістю. Використання адаптованих до місцевих кліматичних умов показників дозволяє враховувати регіональні особливості. Незважаючи на відмінності у підходах, головними характеристиками хвиль холоду залишаються тривалість, інтенсивність та просторовий масштаб.

## 1.2 Динаміка повторюваності та інтенсивності хвиль холоду

Прояви глобальної зміни клімату призводять до зміни частоти прояву, інтенсивності та тривалості хвиль холоду у світі. Найбільш помітні зміни відбуваються у тривалості хвилі холоду, менших змін або їх відсутність у межах «статистичної похибки» зазнає інтенсивність. Як один з висновків у роботах [30, 31] вказують на зменшення кількості ХХ у Польщі протягом останніх десятиліть. В Іспанії вказується на зменшення кількості проявів ХХ по відношенню до ХТ, також акцентують увагу на зменшенні їх тривалості [28]. Подібна тенденція характерна для Західної Африки та Південної Америки [2, 9]. У роботі Daniel Pires Bitencourt, окрім аналогічних висновків, також вказується, що ХХ більш суворіші та триваліші у південних регіонах країни [8]. Вчені з Індії фіксують стабільне зростання мінімальних температур і як наслідок – зменшення тривалості ХХ останні 30 років [4].

Результати дослідження показують, що починаючи з 1980-х років у Північній Америці та Європі фіксується різке скорочення територій, які зазнають впливу хвиль холоду, також відбувається сильне «потепління» ХХ скрізь у північних та середніх широтах, що в 3-5 разів перевищує темпи зростання середньої глобальної температури за 1900–2018 роки [35].

Результати досліджень [27] свідчать про тенденцію до зменшення кількості та інтенсивності ХХ в Україні за останні два десятиліття, проте надто короткий період спостережень не дає змогу зробити достовірні висновки щодо тенденції частоти прояву ХХ на території нашої держави.

Проте за даними деяких вчених [28, 31], у ХХ ст. інтенсивність та тривалість хвиль холоду була вищою у період 1950–1990 рр.. В Іспанії переломним моментом, коли кількість ХХ почала зменшуватись, був 1980 рік [28].

У Західній Європі дуже інтенсивною була хвиля холоду 1956 року, під час якої зафіксовано більшість сучасних температурних рекордів мінімальної температури для лютого в цьому регіоні. Вчені Бернського Університету (Швейцарія) здійснили окреме дослідження цієї події [14], під час якого проаналізували метеорологічну

ситуацію, що призвела до цієї хвилі холоду, використовуючи реаналіз двадцятого століття (20CRv2c) та експериментальний реаналіз ERA-PreSAT.

Отже, відзначається чітка тенденція до зменшення частоти, тривалості та інтенсивності ХХ через вплив глобального потепління. У багатьох регіонах, зокрема в Європі, Америці та Африці, прояв ХХ значно скоротився з 1980-х років. Найбільше зменшення тривалості спостерігається в північних і середніх широтах, де темпи потепління перевищують глобальні показники. Хоча у ХХ столітті хвилі холоду були тривалішими та інтенсивнішими, сучасні дослідження свідчать про суттєве скорочення цих явищ в останні десятиліття, що відображає загальний вплив зміни клімату.

### 1.3. Прогнозування хвиль холоду та їх проєкції

Для хвиль тепла і для хвиль холоду розробляються проєкції до кінця ХХІ століття. Як прогностичні моделі використовують сценарії траєкторій концентрацій парникових газів – RCP 2.6 RCP 4.5, RCP 6.0 та RCP 8.5. У В'єтнамі, згідно з проєкціями, частота прояву ХХ після 2050-х років знизиться майже до нуля випадків, за сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 (рис. 1.2) [24]. Так само і для Туреччини прогнозують поступове зменшення кількості ХХ за RCP 4.5 та RCP 8.5, в той час як проєкції ХТ свідчать про зростання їх частоти [21].

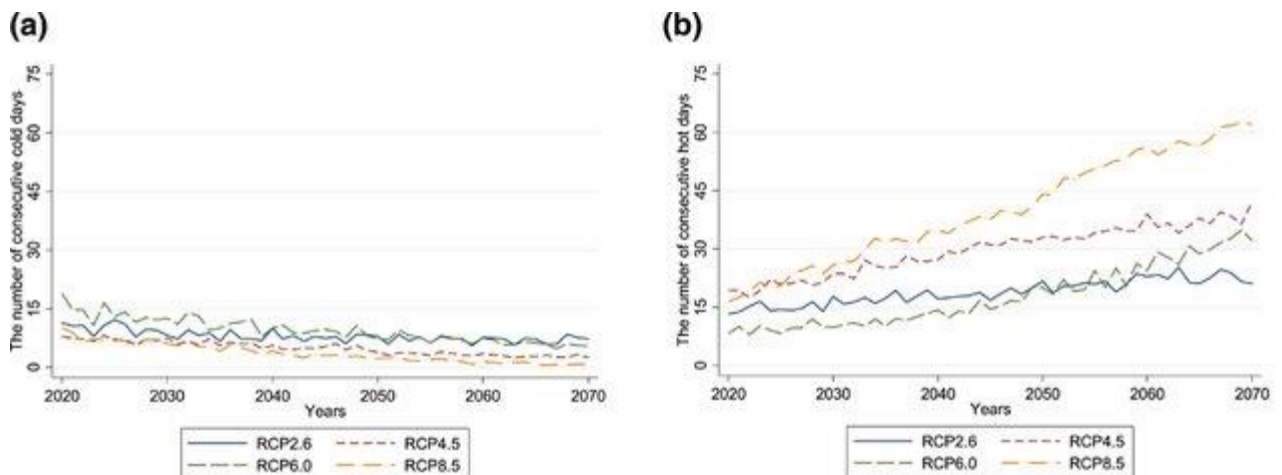


Рис. 1.2 Кількість днів поспіль з хвилями холоду та хвилями тепла у В'єтнамі, згідно з проєкціями клімату: (а) Прогнозована кількість днів поспіль з хвилями холоду; (б) Прогнозована кількість днів поспіль з хвилями спеки [24]

Іспанські вчені для підготовки проєкцій ХХ використали сценарії зміни клімату за допомогою симуляцій проекту EURO-CORDEX з використанням індексу коефіцієнта надлишкового холоду (ECF) для Піренейського півострова та Балеарських островів для періоду 2021–2050 рр. Прогнози свідчать про значне загальне зниження інтенсивності, частоти прояву, тривалості та просторового охоплення ХХ [13].

Сценарії RCP використала група вчених на чолі з М. Smid для створення рейтингу європейських столиць за вразливістю до хвиль тепла та холоду до кінця ХХІ ст. Вчені встановили, що хвилі холоду становитимуть певну загрозу в середині століття, але вони не будуть основною загрозою в жодній з європейських столиць і, за прогнозами, повністю зникнуть до кінця поточного століття. Тож, як зазначили автори, за подібним сценарієм, ХХ не становитимуть великої загрози для європейських столиць [29].

Отже, аналіз публікацій свідчить, що до 2100 року тривалість, кількість випадків та інтенсивність хвиль холоду буде поступово зменшуватися, а за деякими сценаріями (RCP4.5 та 8.5), вони взагалі можуть зникнути після 2050-х років, у деяких регіонах (таких як В'єтнам і Туреччина). Аналогічні прогнози для Європи свідчать про значне зниження інтенсивності і тривалості таких явищ до кінця ХХІ століття.

#### 1.4. Наслідки прояву хвиль холоду

Хвиля холоду часто спричинює серйозні наслідки для здоров'я людей і сільського господарства, призводить до високих витрат на опалення і навіть може призвести до смертності людей і худоби. МГЕЗК (2007) зазначає, що хвилі холоду

залишаються проблемою в північних широтах, де дуже низькі температури можуть досягатися за кілька годин і зберігатися протягом тривалих періодів [10]. Експерти ВМО також зазначають, що вплив ХХ може відрізнятись залежно від регіону або пори року. Наприклад, температура нижче 0 °С може мати незначний вплив, якщо вона спостерігається взимку, але може мати дуже суттєвий вплив, якщо вона спостерігається на критичній стадії розвитку сільськогосподарських культур навесні [43].

У ході вище згаданих досліджень вчені також приділяють значну увагу впливу хвиль холоду на здоров'я людей. Так, у роботі [5] акцентується увага, що через тривалі різкі зниження температури зростає навантаження на серцево-судинну та дихальну системи, що може призвести до смерті. Gasparrini A. разом з групою учених встановив, що більше летальних випадків пов'язано з холодом, ніж зі спекою [18]. Вплив ХХ на здоров'я людини може призводити до смертності від ішемічної хвороби серця та цереброваскулярних захворювань, частота прояву яких зростає у холодну погоду [16]. Вчені з В'єтнаму вказують, що хвилі холоду мають більший вплив на людей старшого віку, особливо на тих, кому за 80 років, ніж на інші вікові категорії, також ХХ більше впливають на рівень смертності серед чоловіків [24]. Індійський метеорологічний департамент (ІМД) повідомляє про взаємозв'язок між смертністю від переохолодження у не пристосованих, до різких похолодань, регіонах країни [1].

Існують дослідження термічного навантаження на організм людини під час ХХ. М. Tomczyk та О. Shevchenko для вивчення біоклімату південно-східної Польщі та західної України, використали фізіологічно еквівалентну температуру (ФЕТ), обчислену за допомогою моделі RayMan. Встановлено, що під час ХХ значення показника ФЕТ для досліджуваної території знаходилося у межах -20°C (дуже холодно/екстремальний холодний стрес) [32]. Tomczyk A.M. та Bednorz E. провели дослідження біометеорологічних умов для території всієї Польщі, яке базувалося на використанні Універсального біокліматичного індексу (УБІ), за яким встановили, що

найскладніші біометеорологічні умови спостерігались на сході та особливо на північному сході Польщі [32].

Урядові Метеорологічні агентства багатьох країн випускають рекомендації для населення як запобігти серйозним наслідкам для здоров'я, яких можна уникнути, у періоди холодної погоди. Як приклад, «Cold weather plan for England» випущений урядом Великобританії [34], подібні рекомендації надає ІМД [22]. На сайті Міжнародної Федерації Товариств Червоного Хреста і Червоного Півмісяця (МФЧХ) присутній розділ, який детально описує шкоду даного явища [12]. У США існує детальна методологія для оцінки впливу/підрахунку збитків для нерухомості та майна [40].

Отже, хвилі холоду спричинюють значні наслідки для здоров'я, економіки та сільського господарства. Вони збільшують ризик переохолодження, через навантаження на серцево-судинну та дихальну системи призводять до зростання смертності, особливо серед людей старшого віку. Низькі температури завдають шкоди сільському господарству, зокрема у критичні періоди для культур.

### *Висновки до розділу 1.*

Хвиля холоду – це атмосферне явище, для визначення якого не існує єдиної загальноприйнятої методології. Аналіз методів та підходів, які застосовуються в різних дослідженнях, свідчить, що вони відрізняються за температурними порогоми та тривалістю. Незважаючи на відмінності у підходах, головними характеристиками хвиль холоду залишаються тривалість, інтенсивність та просторовий масштаб. Відзначається чітка тенденція до зменшення частоти, тривалості та інтенсивності хвиль холоду через вплив глобального потепління. У багатьох регіонах, зокрема в Європі, Америці та Африці, прояв ХХ значно скоротився з 1980-х років. Найбільше зменшення тривалості спостерігається в північних і середніх широтах, де темпи потепління перевищують глобальні показники. Згідно проєкцій клімату, до 2100 року,

тривалість, кількість випадків та інтенсивність хвиль холоду буде поступово зменшуватися, а за деякими сценаріями (RCP4.5 та 8.5), вони взагалі можуть зникнути після 2050 років, у деяких регіонах планети. Хвилі холоду спричинюють значні наслідки для здоров'я, економіки та сільського господарства. Вони призводять до зростання смертності, особливо серед людей старшого віку, через навантаження на серцево-судинну та дихальну системи, а також збільшують ризик переохолодження.

## РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА МЕТОДОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Характеристика території дослідження

Україна розташована в західній частині Євразії, у її європейській частині. Площа України становить 603 700 км<sup>2</sup>, з яких на суходіл припадає 591 626 км<sup>2</sup>, внутрішні води – 12 074 км<sup>2</sup>. Більшу частину території (95 %) займають рівнини, що є частиною південно-західної окраїни Східноєвропейської рівнини. До них належать Поліська, Придніпровська та Причорноморська низовини, які охоплюють 70 % країни, а також Волинська, Подільська, Придніпровська, Донецька та інші височини. Середні висоти рівнин – 175 м. Найвищою точкою Східноєвропейської рівнини в межах України є гора Берда (515 м).

На півдні Україна омивається Чорним і Азовським морями.

Гірські території представлені Українськими Карпатами, які є частиною Карпатської гірської системи. Тут розташована найвища вершина країни – Говерла (2061 м). Українські Карпати повністю розташовані на заході країни. Кримські гори, найвищою точкою яких є гора Роман-Кош (1545 м), розташовані на території Кримського півострова.

Клімат України визначається в першу чергу її географічним розташуванням. Він також формується внаслідок взаємодії таких факторів, як сонячна радіація, циркуляційні процеси в атмосфері, підстильна земна поверхня. На клімат України найбільше впливають її віддаленість від океанів та переважно рівнинний рельєф.

Віддаленість України від океанів обмежує вплив пом'якшувальних океанічних течій на її клімат, що зумовлює зростання континентальності із заходу на схід, проявляючись значними сезонними коливаннями температур через літнє нагрівання та зимове охолодження земної поверхні.

Переважно рівнинний рельєф України значно впливає на її клімат, оскільки відсутність природних бар'єрів на півночі та сході сприяє вільному проникненню континентальних повітряних мас, що, зокрема, взимку дозволяє Сибірському антициклону поширювати морозну й малоохмарну погоду.

У районах Карпат і Кримських гір на відносно невеликій території співіснують кілька типів клімату, оскільки з висотою температура поступово знижується, що спричиняє формування різних кліматичних умов біля підніжжя, на середніх висотах і на вершинах.

Відповідно до класифікації кліматів Кеппена – Гейгера на території України існують щонайменше 7 типів клімату, котрі традиційно об'єднують у чотири кліматичні зони (рис. 2.1.) [6]:

- зона континентального клімату (D),
- зона помірного клімату (C),
- зона сухого клімату (B),
- зона полярного клімату (E).

Класифікація базується на концепції, згідно з якою найкращим показником типу клімату є рослини, що природно зростають на певній території.

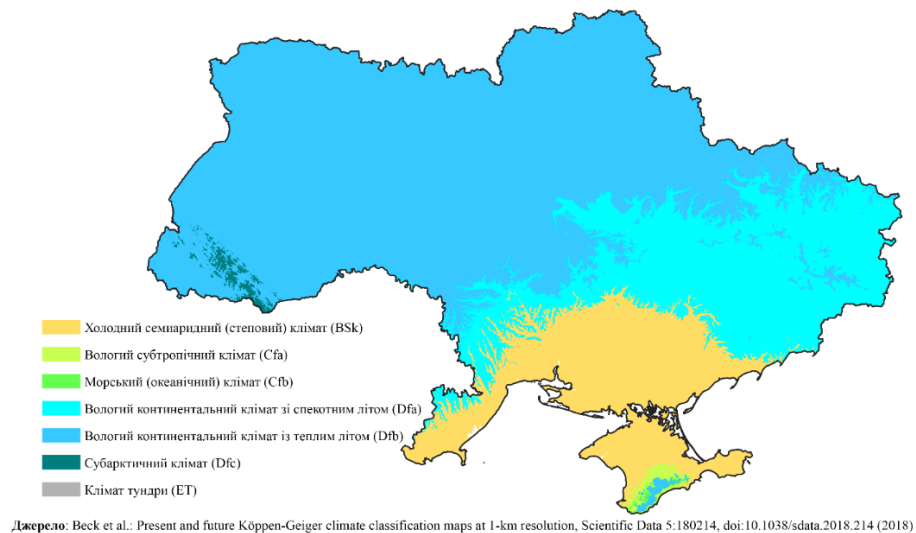


Рис. 2.1 Кліматична карта України (1980–2016), згідно з класифікацією Кеппена – Гейгера [6]

Континентальний клімат (D) – найпоширеніша кліматична зона на території країни, представлена трьома типами клімату: Dfa, Dfb і Dfc. Основними характеристиками цієї кліматичної зони є наявність хоча б одного місяця на рік із середньою температурою  $\leq 0$  °C, принаймні одного місяця з середньою температурою  $>10$  °C, а також рівномірний розподіл опадів протягом року без чітко виражених сухих або вологих сезонів.

- Вологий континентальний клімат з теплим літом (Dfb) – є найбільш поширеним у північному, західному, східному та значній частині центрального регіону України. Проте з другої половини ХХ століття його зона поширення значно зменшується, поступаючись теплішим і сухішим типам клімату [6].

- Вологий континентальний клімат зі спекотним літом (Dfa) розповсюджений в східних та південних областях України.

- Субарктичний клімат (Dfc) – поширений, головним чином, у Карпатах, на висоті 1200–1900 м над рівнем моря.

Зона помірної клімату (C) в Україні представлена двома (або трьома) типами клімату: Cfa, Cfb, Csa. Ця кліматична зона характеризується наявністю принаймні одного місяця на рік із середньою температурою не нижче  $+10$  °C, середньою температурою найхолоднішого місяця, що перевищує  $0$  °C, а також рівномірним розподілом опадів протягом року, що зумовлює відсутність виражених сухих і вологих сезонів.

- Вологий субтропічний клімат (Cfa) – найбільше проявляється на Південному узбережжі Криму завдяки впливу теплих чорноморських течій та Кримських гір, які затримують просування холодних північних циклонів углиб півострова.

- Морський (океанічний) клімат (Cfb) – в Україні не зафіксований жодною метеостанцією, яка б однозначно підтверджувала його наявність. Однак, на основі даних, можна припустити, що в Кримських горах існують зони з перехідним кліматом

між вологим субтропічним (Cfa) на Південному березі Криму та континентальним (Dfb) у гірських районах. Найближчим за характеристиками до морського клімату є Сімферополь, хоча він не повністю відповідає цьому типу через спекотне літо.

- Середземноморський клімат зі спекотним літом (Csa) – в Україні немає території, що повністю відповідає критеріям такого типу клімату. Втім місцевістю з кліматом, найближчим до середземноморського, вважається Ялта. Її кліматичні умови відповідають усім вищезазначеним критеріям, за винятком співвідношення кількості опадів найвологішого і найсухішого місяців (2,7 замість 3).

Сухий клімат (B) представлений єдиним типом – холодним степовим кліматом (Bsk). Нині домінує в південних регіонах країни.

- Холодний семиаридний (степовий) клімат (Bsk) – трапляється в степах Північного Причорномор'я.

Полярний клімат (E) зустрічається лише на обмежених ділянках Карпат: клімат гірської тундри.

- Клімат тундри (ET) – в Україні немає метеостанцій, що фіксують тундровий клімат, але, за іншими даними, він зустрічається на найвищих вершинах Карпат (Говерла, Бребенескул, Піп Іван Чорногірський). Там утворюються полонини, вкриті рослинністю, подібною до альпійських луків, які використовують як пасовиська та для сінокошу.

## 2.2 Матеріали та методи дослідження

Як вихідні дані використано набір даних ClimUAd за 1961–2020 рр., який є доступним за посиланням (<https://drive.google.com/drive/folders/1DMo8bA-82E7VupIAqJT5Oqpo7fstPpBq>). Набір даних містить довгі сітчасті часові ряди (1946–2020 рр.) щоденної мінімальної, максимальної та середньої температури повітря та атмосферних опадів для України, створені шляхом обробки даних зі 178 метеорологічних станцій шляхом оцифрування, контролю якості, гомогенізації та

інтерполяції на сітці  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  [26]. Для даної роботи було обрано 70 точок, які рівномірно (по 2-3 точки на область) розподілені по всій території України (рис. 2.2).

Для вивчення особливостей хвиль холоду в різних регіонах України використано поділ території України на «західні області» (до яких входять Закарпатська, Львівська, Волинська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька, Івано–Франківська та Чернівецькі області), «східні області» (Харківська, Донецька та Луганська області), «північні області» (Київська, Житомирська, Чернігівська та Сумська області), «південні області» (Одеська, Херсонська, Миколаївська та Запорізька області, АР Крим) та «центральні області» (Вінницька, Черкаська, Кіровоградська та Дніпропетровська області), що 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».



Рис.2.2 Розташування обраних точок на карті України

Для ідентифікації хвиль холоду використаний Heat and Cold Wave Index (HCWI). HCWI – це індекс, що використовується для виявлення та моніторингу періодів тривалих екстремальних температурних аномалій (хвилі тепла та холоду), 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 ХТ) або нижчі за 10-й перцентиль (для ХХ), визначені з 30-річного кліматологічного базового періоду (1981–2010 рр.). Детальний опис індексу представлений у розділі 1. Згідно з методологією індексу, на основі зазначених вище даних були розраховані референтні значення перцентилів Q10 для мінімальної ( $T_{min}$ ) та максимальної ( $T_{max}$ ) температури повітря за кліматичний період 1981–2010 рр., після чого була проведена ідентифікація ХХ за період 1960–2020 рр..

Згідно з методологією 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 чого був розрахований 10-й перцентиль («Q10») для мінімальної та максимальної температури.

Хвилі холоду визначались як стійке перевищення порогового перцентилу Q10 для  $T_{min}$  і  $T_{max}$  протягом 3 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 [23]:

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

де N – тривалість хвилі в днях.  $T_{Xi,w}$  і  $T_{Ni,w}$  – максимальні та мінімальні температури, зареєстровані в дні i в межах хвилі для точки.  $Q_{Tx}$  і  $Q_{Tn}$  – температури для перцентилів 0,1 днів ХХ. w – точка де зафіксована хвиля. Як вже зазначалось вище, 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.  $\sigma_{T_x}$  і  $\sigma_{T_n}$  стандартне відхилення рядів даних максимальної та мінімальної температури, відповідно, = -1. На відміну від підходу  $I_2$ , цей метод розглядає інтенсивність хвилі в контексті цілого року, що підкреслює найбільш інтенсивні абсолютні температури.

Для диференціації хвиль холоду за тривалістю в даній роботі використані градації, що ґрунтуються на методології розрахунків Lavausse [23]:

- 1) короткотривалі хвилі холоду – 3 дні;
- 2) хвилі холоду середньої тривалості 4–5 днів;
- 3) довготривалі хвилі холоду 6 днів і більше.

Під час виконання роботи для розрахунків та роботи з даними використовувалось програмне середовище Python. Для візуалізації та картографування результатів розрахунків використано QGIS, SagaGis та скрипти написані на Python. Для створення таблиць та графіків використано MS Excel.

## РОЗДІЛ 3. ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ АНАЛІЗ ХВИЛЬ ХОЛОДУ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК

### 3.1 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 (додаток А). За період кліматичної норми 1961–1990 рр. спостерігалось 298 хвиль холоду, з 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 теплому, так і в холодному періодах їх стало менше (79 і 101 відповідно) (рис. 3.1, 3.2). У 2011–2020 рр. спостерігається відсутність хвиль холоду в теплому чи холодному періоді в 2010, 2012, 2014, 2018 та 2019 роках. У попередні періоди такого не спостерігалось. Найбільша кількість ХХ за рік зафіксована в 1976 р. – 17 випадків, найменша – у 2019 р. – один випадок.

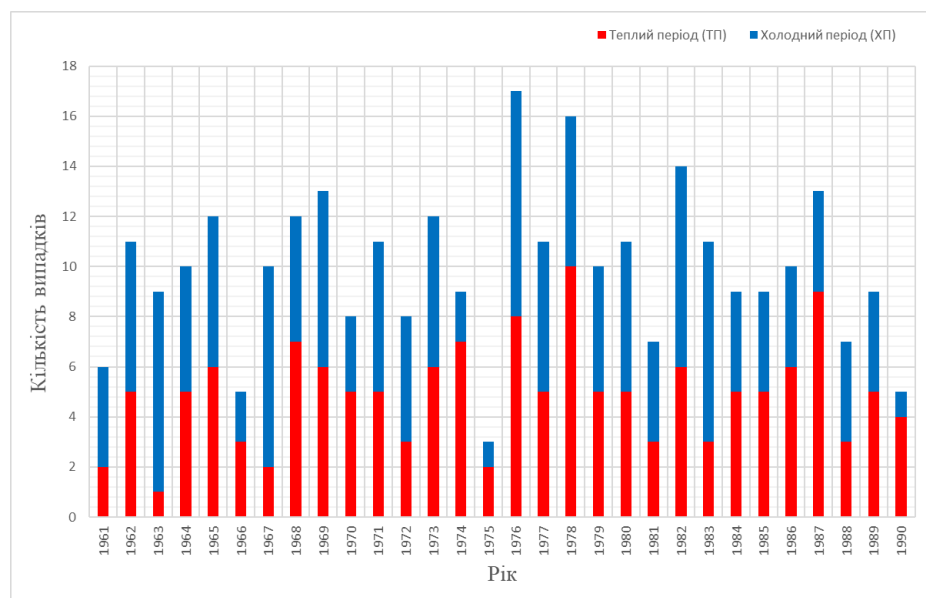


Рис. 3.1 Кількість випадків хвиль холоду за 1961–1990 рр.

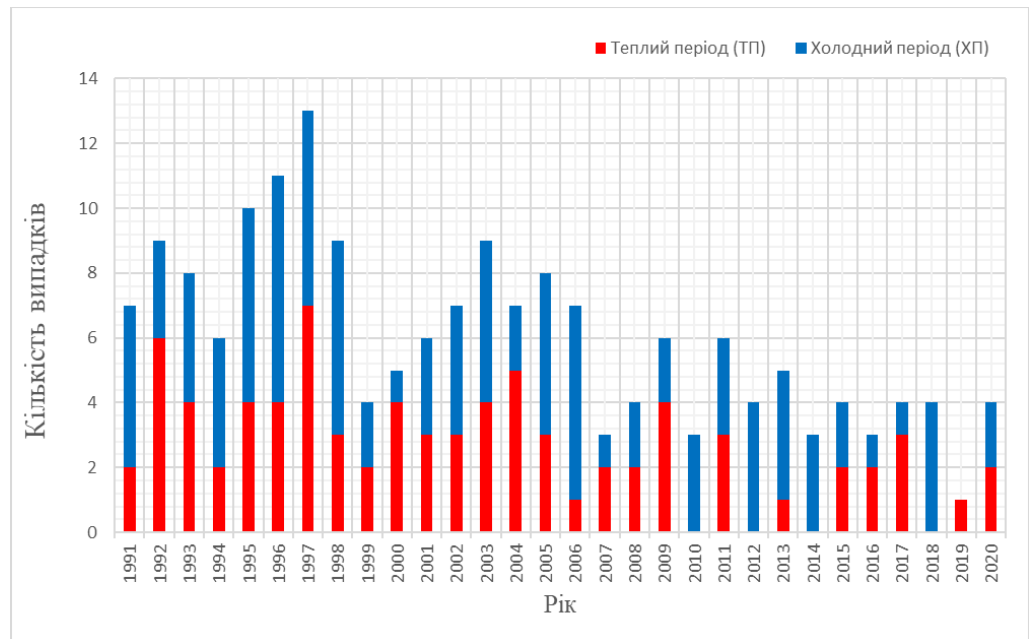


Рис. 3.2 Кількість випадків хвиль холоду за 1991–2020 рр.

Найбільшу кількість ХХ в холодний період зафіксовано в 1963 р. – 8 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 – в 2006, 2013 та 2019 рр. – по одному випадку; у 2010, 2012, 2014 та 2018 рр. не зафіксовано жодного випадку ХХ в теплий період.

### 3.2 Середня тривалість хвиль холоду

Середня тривалість хвиль холоду змінюється залежно від регіону, року та сезону. Просторовий розподіл значень тривалості ХХ (рис. 3.3) є нерівномірним по території України. Максимальні значення (вище 5 днів) спостерігаються на сході

(Харківська та Луганська області), в окремих частинах території західного регіону (Львівська, Волинська, Рівненська, Хмельницька, Тернопільська області). Мінімальні значення (4.1–4.3 дні) характерні для півдня України (південь Одеської області та південний берег Криму) та західних областей (Закарпатська область, південь Івано-Франківської та Чернівецької областей). На більшій частині території України середня тривалість ХХ коливається в межах 4.4 – 4.7 днів.

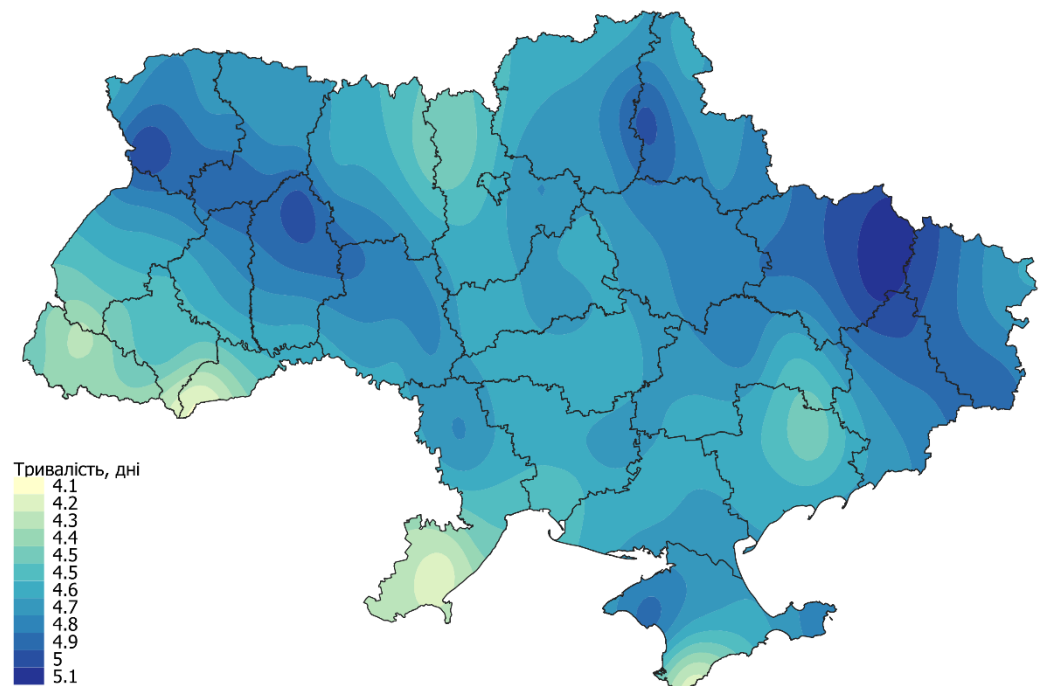


Рис. 3.3 Середня тривалість хвиль холоду за 1961–2020 рр.

Максимальні значення тривалості фіксувалися у 1963 р. (5.7 дня), 1985 р. (5.4 дня), 1987 р. (4.5 дня), 2010 р. (4.3 дня), 2012 р. (4.7 дня) та 2018 р. (4.3 дня) (рис. 3.4). У 1985 р. особливо тривалими були хвилі холоду під час холодного періоду – в середньому 7.4 дня.

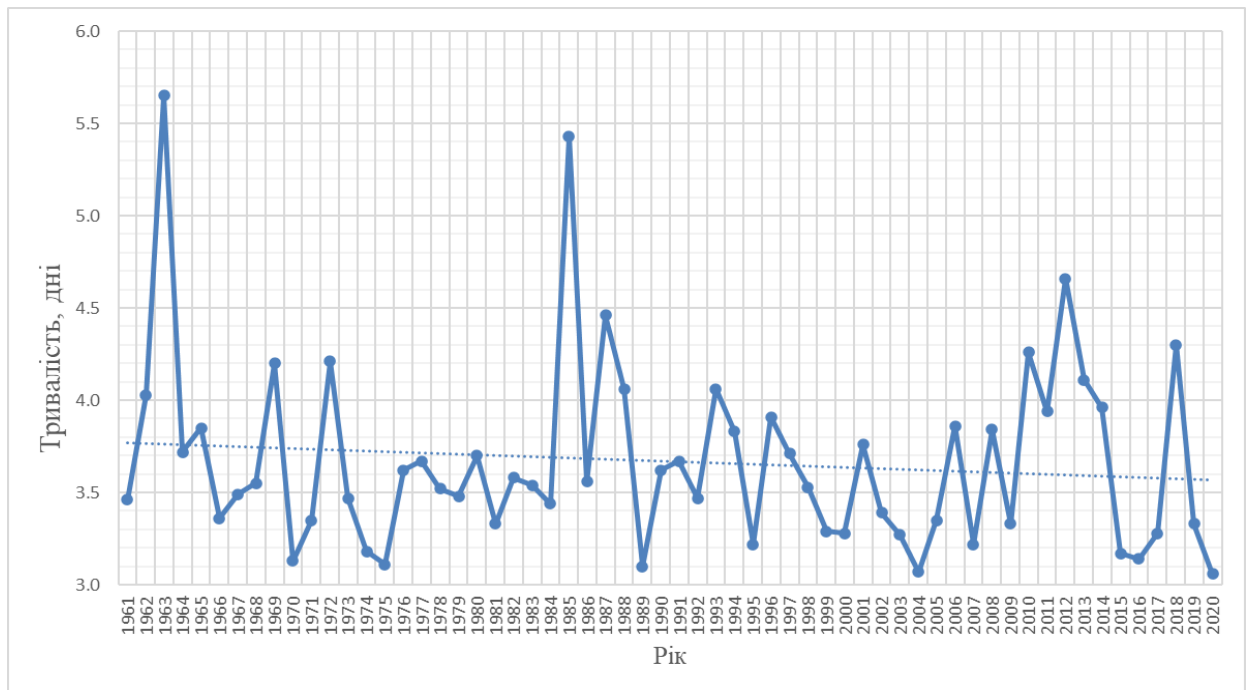


Рис. 3.4 Середня річна тривалість хвиль холоду в 1961–2020 рр.

У 1961–1990 рр. середнє значення тривалості ХХ у холодний період становило близько 3.8 дня. У цей період були зафіксовані роки з високою тривалістю ХХ, зокрема 1963 р. (6.0 дня), 1985 р. (7.4 дня), 1987 р. (6.4 дня) (табл. 3.2).

Натомість у теплий період (ТП) за 1961–1990 рр. середня тривалість ХХ була дещо нижчою – приблизно 3.5 дня. Незважаючи на те, що ці явища мають незначну повторюваність у теплий сезон, в окремі роки їх повторюваність зростала: 1962 р. – 3.9 дня, 1985 р. – 3.9 дня, 1987 р. – 3.4 дня, що свідчить про ймовірність нетривалих, але помітних хвиль холоду навіть улітку чи в перехідні сезони (табл. 3.1).

У 1991–2020 рр. відзначається незначне зменшення середньої тривалості ХХ у холодний період – до 3.6 дня. Хоча в окремі роки фіксувалися триваліші епізоди, наприклад, 1990 р. – 5.0 дня, 2012 р. – 4.7 дня (табл. 3.1). Це може свідчити про поступове послаблення зимових холодів, хоча повністю вони не зникають.

## Середня річна тривалість хвиль холоду за 1961–2020 рр.

Рік	Річна середня	Теплий період	Холодний період	Рік	Річна середня	Теплий період	Холодний період
1961	3.5	3.5	3.5	1991	3.7	4.2	3.5
1962	4.0	3.9	4.2	1992	3.5	3.3	3.9
1963	5.7	3.0	6.0	1993	4.1	3.6	4.6
1964	3.7	3.4	4.0	1994	3.8	3.1	4.2
1965	3.9	3.9	3.8	1995	3.2	3.2	3.2
1966	3.4	3.6	3.0	1996	3.9	3.4	4.2
1967	3.5	3.8	3.4	1997	3.7	3.6	3.8
1968	3.6	3.5	3.7	1998	3.5	3.0	3.8
1969	4.2	3.6	4.7	1999	3.3	3.4	3.2
1970	3.1	3.1	3.2	2000	3.3	3.3	3.2
1971	3.4	3.1	3.5	2001	3.8	3.7	3.8
1972	4.2	3.6	4.6	2002	3.4	3.1	3.6
1973	3.5	3.5	3.5	2003	3.3	3.2	3.3
1974	3.2	3.1	3.3	2004	3.1	3.1	3.0
1975	3.1	3.0	3.3	2005	3.4	3.2	3.5
1976	3.6	3.3	3.9	2006	3.9	4.0	3.8
1977	3.7	3.5	3.8	2007	3.2	3.3	3.1
1978	3.5	3.5	3.6	2008	3.8	3.4	4.3
1979	3.5	3.3	3.6	2009	3.3	3.0	3.9
1980	3.7	3.7	3.7	2010	4.3	0.0	4.3
1981	3.3	3.4	3.3	2011	3.9	3.5	4.4
1982	3.6	3.6	3.5	2012	4.7	0.0	4.7
1983	3.5	3.4	3.6	2013	4.1	3.0	4.4
1984	3.4	3.5	3.4	2014	4.0	0.0	4.0
1985	5.4	3.9	7.4	2015	3.2	3.0	3.3
1986	3.6	3.5	3.6	2016	3.1	3.0	3.4
1987	4.5	3.4	6.4	2017	3.3	3.2	3.6
1988	4.1	3.3	4.6	2018	4.3	0.0	4.3
1989	3.1	3.0	3.2	2019	3.3	3.3	0.0
1990	3.6	3.3	5.0	2020	3.1	3.1	3.0

Більш помітні зміни відбулись у теплий період: середня тривалість ХХ знизилася до 3.1 дня, тобто наблизилась до мінімально можливого значення. В окремі роки (2010, 2012, 2014, 2018) спостерігалася повна відсутність ХХ в теплий період, що може бути наслідком загального потепління клімату в літній період (табл. 3.1).

У теплий період (квітень–вересень) за 1991–2020 рр. середня тривалість хвиль холоду коливалася в межах 3 – 4 днів, із незначними відхиленнями в окремі роки. У холодний період (жовтень–березень) тривалість хвиль холоду варіювалася в ширших межах й часто перевищувала 4 дні, досягаючи максимуму 7.8 дня у 1985 році. Протягом 2011–2020 рр. середня тривалість хвиль холоду переважно становила близько 3–4 днів, що може свідчити про певну зміну кліматичних умов (табл. 3.2).

У холодний період 1961–1990 рр. середня тривалість хвиль холоду в Україні коливалася від 4.0 до 6.2 днів (рис. 3.5 а). Найвищі значення (6 і більше днів) зафіксовано у Хмельницькій, Луганській Одеській, Херсонській та Миколаївській областях. Найкоротші хвилі холоду (4.0–4.8 дні) спостерігалися на півдні АР Крим, півдні Одеської області, Закарпатської, Івано-Франківської, Львівської та Чернівецької областях (регіон Карпат) та півночі Київської області. На решті території країни середня тривалість становила 5.0–5.8 дня. У період 1991–2020 рр. (рис. 3.5 б) середня тривалість хвиль холоду скоротилась до 4.0–5.2 дня. Максимальні значення (5.0–5.2 дня) були характерні для сходу (Донецька, Луганська та Харківська області) та півдня (Керченський півострів АР Крим). На решті території середня тривалість становить 4–4.8 дня зі збільшенням тривалості у східному напрямку.

У теплий період 1961–1990 рр. (рис. 3.6 а) середня тривалість хвиль холоду варіювалась від 3.4 до 4.2 дня. Найдовші хвилі (4.0–4.2 дня) зафіксовано у східних (Луганська, Донецька області) та південних (АР Крим, Одеська та Запорізька області) регіонах, а також у Сумській та Волинській областях. На решті території країни середня тривалість становила 3.4–3.8 дня. За період 1991–2020 рр. (рис. 3.6 б) середня тривалість хвиль холоду в теплий період становила 3.0–4.4 дня. Найвищі значення (4.0–4.4 дня) фіксувалися у АР Крим, тоді як найкоротші (3.0–3.2 дня) – у західних, північних і східних областях (Рівненська, Житомирська, Київська, Луганська, Донецька). Порівняно з 1961–1990 рр., у 1991–2020 рр. середня тривалість хвиль холоду в теплий період зменшилася на більшості території України, особливо на заході, півночі та сході, де вона скоротилася з 3.4 – 3.8 дня (рис. 3.6 а), до 3 – 3.6 дня

(рис. 3.6, б), тоді як у південних регіонах, зокрема в АР Крим, тривалість зросла на 0.2 дня, до 4.4 в окремих районах півострова.

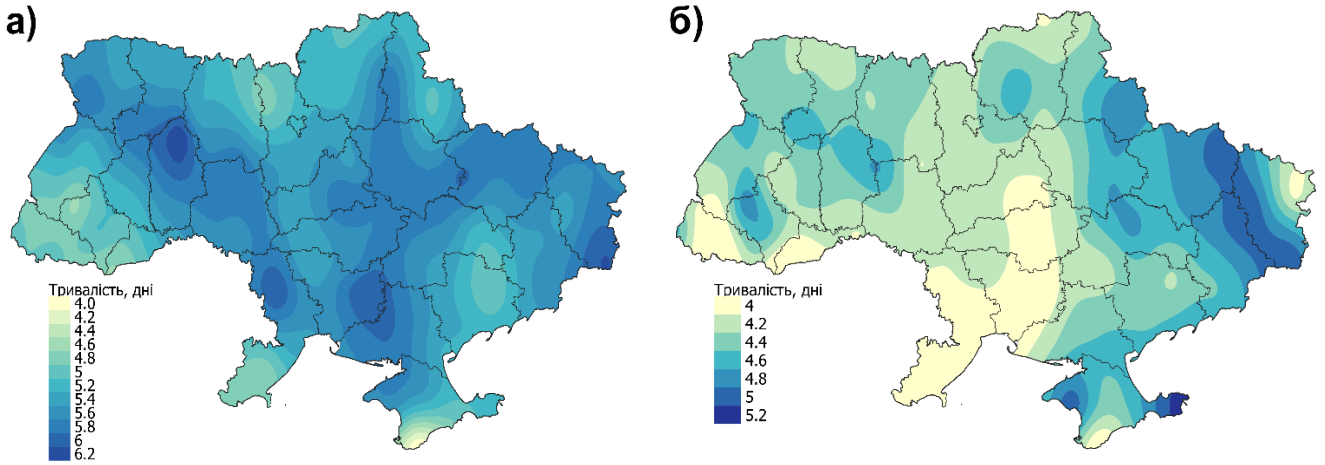


Рис. 3.5 Середня тривалість хвиль холоду у холодний період а) за 1961–1990 рр., б) за 1991–2020 рр.

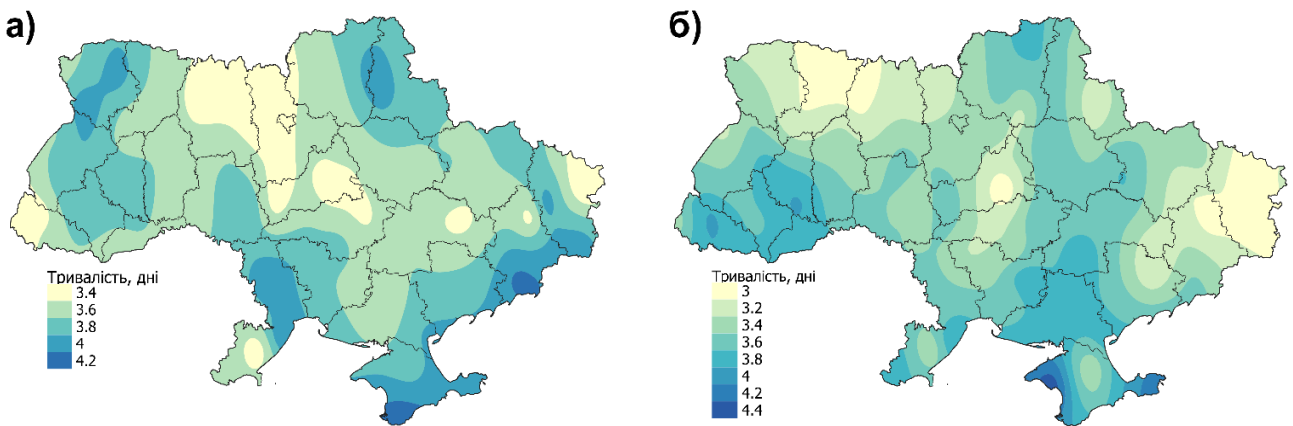


Рис. 3.6 Середня тривалість хвиль холоду у теплий період а) за 1961–1990 рр., б) за 1991–2020 рр.

Серед усіх хвиль холоду (478), що спостерігалися за досліджуваний період, 28.7 % хвиль припадало на короткотривалі, 30.3 % – на хвилі холоду середньої тривалості та 41% – на довготривалі хвилі холоду (рис. 3.7).



Рис. 3.7 Розподіл кількості XX за градаціями тривалості

Аналіз середньої тривалості хвиль холоду в Україні за період 1961–2020 рр. засвідчує наявність як часових, так і просторових змін. Спостерігається виразна сезонна різниця: у теплий період року тривалість хвиль холоду, як правило, менша (3-4 дні), тоді як у холодний період спостерігається більша тривалість (до 7.8 дня в окремі роки). З часом відзначається поступове скорочення тривалості хвиль холоду в обох сезонах, особливо після 1990 року. Просторовий розподіл показує, що в 1961–1990 рр. найбільші значення тривалості спостерігались в окремих східних, південних і частково західних областях, тоді як у 1991–2020 рр. вони були зосереджені переважно на сході та півдні, в окремих регіонах Криму. В поєднанні з виявленими часовими трендами це свідчить про ослаблення тривалості хвиль холоду в Україні, що зумовлено як глобальними кліматичними змінами, так і регіональними особливостями циркуляційних процесів.

### 3.3 Сезонна інтенсивність хвиль холоду (I2)

Сезонна інтенсивність (I2) хвиль холоду є важливим показником для оцінки похолодання. Просторовий розподіл сезонної інтенсивності (I2) свідчить, що найвищі значення (45 °С) спостерігаються у західних (зокрема у Волинській, Рівненській областях та північних частинах Львівської, Хмельницької і Тернопільської областей) та північних (Чернігівська і Сумська області) регіонах (рис. 3.8). Натомість найнижчі значення інтенсивності (19–24 °С) 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 °С) 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 та північно-східні області характеризуються більш континентальним кліматом і вищою ймовірністю сильних морозів.

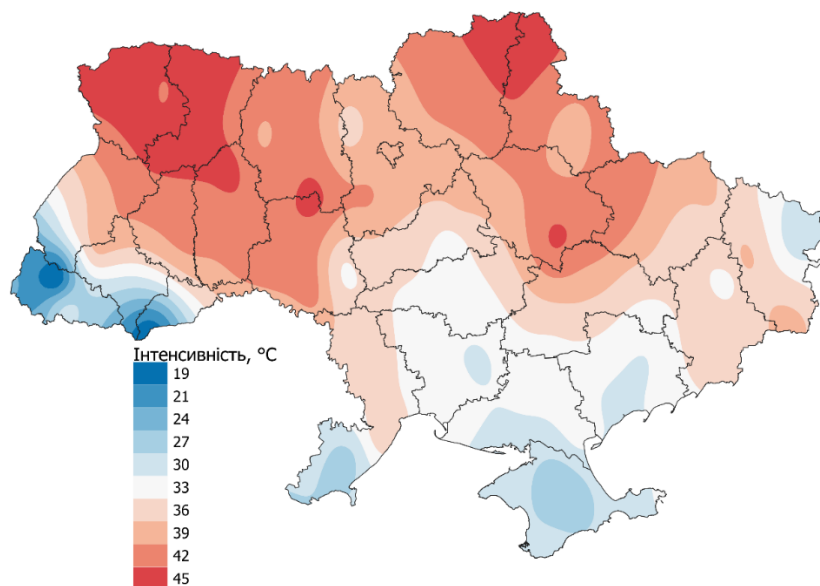


Рис. 3.8 Середня інтенсивність I2 хвиль холоду за 1961–2020 рр.

У холодний період інтенсивність хвиль холоду зазвичай значно вища, ніж у теплий (табл. 3.2): у 1961–1990 рр. середня інтенсивність у холодний період становила 81.2°C, тоді як у теплий – 36.6 °C; у 1991–2020 рр. ці показники знизилися до 46.3 °C у холодний період і 18.3 °C – у теплий. Порівняння двох 30-річних періодів вказує на помітне зменшення середньої річної інтенсивності хвиль холоду з 117.8 °C (1961–1990 рр.) до 64.6 °C (1991–2020 рр.). Проте в окремі роки спостерігалися екстремально високі значення інтенсивності. Наприклад, у 1987 р. – 278.7 °C та у 2012 р. – 108.6 °C, що свідчить про значну мінливість інтенсивності цього явища. Такі коливання можуть бути пов'язані з кліматичними змінами та регіональними особливостями погодних умов.

Таблиця 3.2

Річні значення інтенсивності (I<sub>2</sub>) хвиль холоду (°C)

Рік	Річна	Теплий період	Холодний період	Рік	Річна	Теплий період	Холодний період
1961	60.5	6.9	53.6	1991	76.1	18.9	57.2
1962	131.6	44.7	86.8	1992	73.6	40.4	33.2
1963	269.1	6.9	262.2	1993	99.5	32.0	67.5
1964	139.9	30.1	109.9	1994	80.0	16.5	63.5
1965	152.1	68.2	83.9	1995	78.7	26.3	52.4
1966	47.9	29.3	18.6	1996	131.7	27.1	104.6
1967	137.7	20.0	117.7	1997	131.6	56.8	74.7
1968	118.3	50.1	68.2	1998	90.9	19.1	71.8
1969	187.7	54.7	133.0	1999	49.9	20.1	29.9
1970	56.1	24.6	31.5	2000	40.5	30.2	10.3
1971	106.0	32.9	73.1	2001	55.3	20.5	34.8
1972	124.6	20.8	103.7	2002	61.7	17.5	44.2
1973	127.5	39.4	88.1	2003	86.1	31.6	54.5
1974	57.6	46.1	11.5	2004	54.8	37.4	17.5
1975	17.1	9.5	7.6	2005	61.1	10.8	50.3
1976	164.0	44.9	119.1	2006	117.6	6.5	111.1
1977	102.3	45.6	56.7	2007	25.6	13.7	11.9
1978	154.3	74.0	80.2	2008	37.6	13.0	24.6
1979	82.7	30.1	52.6	2009	58.2	23.3	35.0

1980	134.4	54.6	79.8	2010	55.2	0	55.2
1981	58.9	25.0	33.9	2011	63.0	22.5	40.4
1982	118.4	43.5	74.9	2012	108.6	0	108.6
1983	106.0	26.4	79.6	2013	70.6	3.4	67.2
1984	73.5	37.1	36.5	2014	38.8	0	38.8
1985	230.2	36.7	193.5	2015	38.0	9.1	28.9
1986	96.1	46.6	49.5	2016	19.3	10.5	8.8
1987	278.7	66.7	212.1	2017	40.6	27.2	13.4
1988	96.1	26.3	69.8	2018	62.1	0	62.1
1989	64.0	28.4	35.5	2019	3.4	3.4	0
1990	41.4	27.2	14.2	2020	27.2	10.4	16.8
Серед- -нє	117.8	36.6	81.2	Серед- -нє	64.6	18.3	46.3

Середня інтенсивність хвиль холоду ( $I_2$ ) у холодний період за 1961–1990 рр. варіюється в межах від 20 до 57 °С (рис. 3.9 а). Найвищі значення інтенсивності (52–57 °С) спостерігаються у кількох регіонах: на заході (Волинська, Рівненська, північ Львівської області), на півночі (Чернігівська, Сумська області). Найнижчі значення (20–28 °С) характерні для південного берегу 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 та Тернопільська області) країни. За період 1991–2020 рр. (рис. 3.9 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), у центрі (Вінницька область), на півночі (Житомирська, Чернігівська та Сумська області) та на сході (Харківська, Луганська області). Найнижчі значення (9–14 °С) зафіксовані на півдні (південний берег Криму) та на заході (Закарпатська та 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.

Порівняно з холодним періодом року, значення сезонної інтенсивності у теплий період значно нижчі. Інтенсивність хвиль холоду (I2) у теплий період за 1961–1990 рр. (рис. 3.10 а) коливається від 4 до 18 °С. Найвищі значення (14 °С і вище) спостерігаються на півдні (Одеська область, південь Криму). За період 1991–2020 рр. (рис. 3.10 б) середня інтенсивність хвиль холоду (I2) у теплий період варіювалася від 1.8 °С до 10.2 °С, зниження середнього значення сезонної інтенсивності становить 2–8 °С. Максимальні значення (7 °С і вище) спостерігаються на півдні Криму. 6.3 – 7.2 °С фіксується поблизу межі Полтавської, Дніпропетровської та Харківської областей, також у Криму, Одеській області та Луганській та Донецькій областях. Більшість території країни має низькі значення інтенсивності XX у теплий період (1.8–5.4 °С).

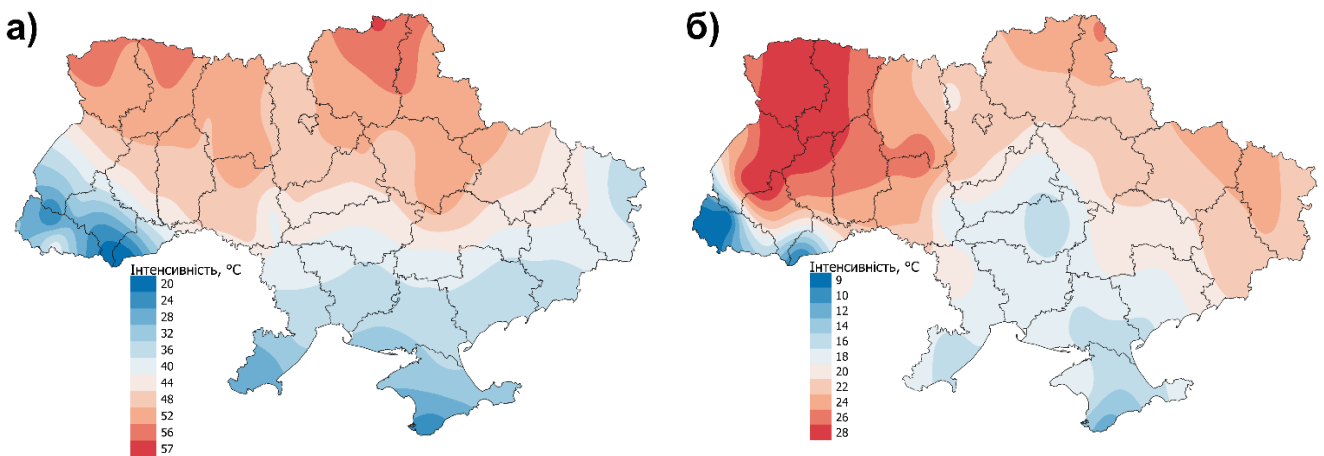


Рис. 3.9 Середня інтенсивність I2 хвиль холоду у холодний період а) в 1961–1990 рр., б) 1991–2020 рр.

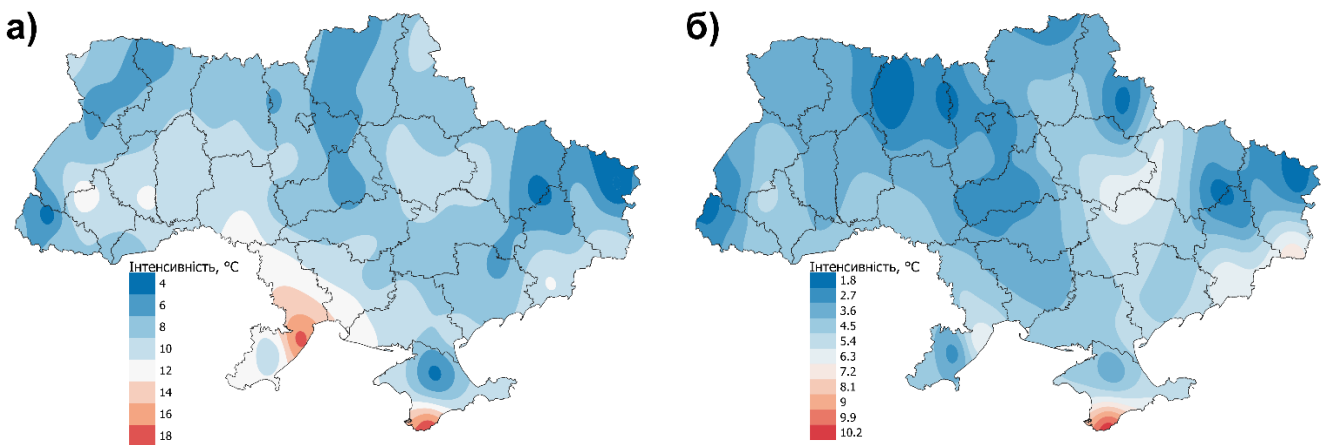


Рис. 3.10 Середня інтенсивність I2 хвиль холоду у теплий період а) 1961 – 1990 рр., б) 1991–2020 рр.

Сезонна інтенсивність хвиль холоду в Україні демонструє чітко виражену просторову диференціацію. У холодний період найвищі значення інтенсивності (I2) за обидва кліматичні періоди (1961–1990 рр. та 1991–2020 рр.) спостерігаються переважно в північних, північно-західних та частково східних регіонах (Чернігівська, Сумська, Волинська, Рівненська, Львівська області), тоді як найнижчі – на південному узбережжі Криму, в Одеській, Закарпатській і Чернівецькій областях. У теплий період значення інтенсивності значно нижчі, а поширення максимальних значень протилежне холодному періоді: найвищі показники фіксуються на півдні, зокрема в Криму, Одеській області, а також у східних і центрально-східних регіонах (Полтавська, Дніпропетровська, Харківська області), тоді як на решті території переважають низькі значення (1.8–5.4 °C).

### 3.4 Річна інтенсивність хвиль холоду (I3)

Річна інтенсивність хвиль холоду (I3) за досліджуваний період також характеризується вираженою просторовою неоднорідністю. Найвищі значення річної

інтенсивності (11 °C і вище) зосереджені в південних регіонах, зокрема в Криму, а також в Одеській області (рис. 3.11). Найнижчі значення інтенсивності (4–6 °C), характерні для західних областей (Закарпатська, Львівська, Івано-Франківська та Чернівецька області), в зоні Карпат та на сході (Луганська, Донецька та Харківська області). На решті території XX характеризуються річною інтенсивністю в межах 7–10 °C зі збільшенням на південь.

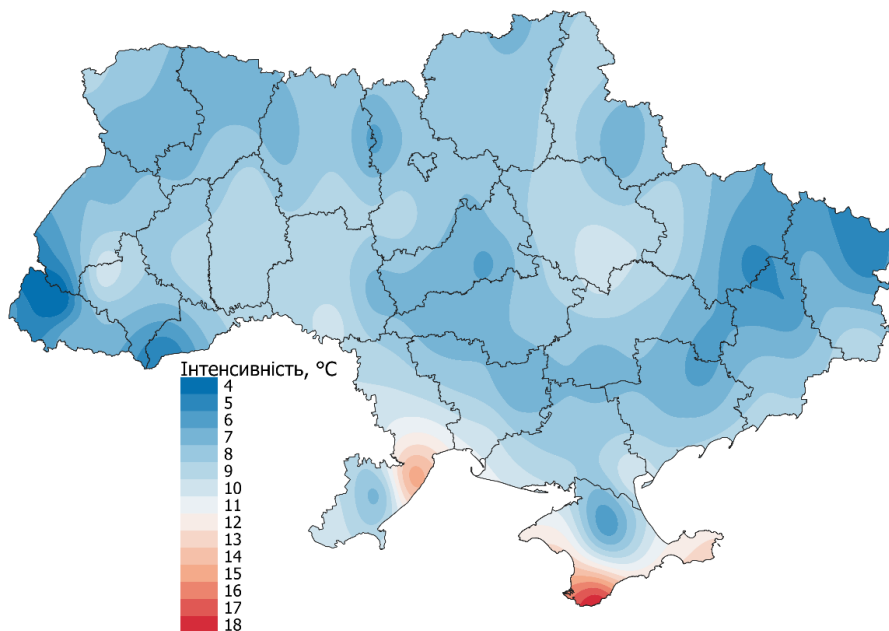


Рис. 3.11 Середня річна інтенсивність І3 хвиль холоду в 1961–2020 рр.

Порівняння сезонної (I2) та річної інтенсивності (I3) хвиль холоду в Україні виявляє контрастний просторовий розподіл. I2, яка відображає сезонні температурні аномалії, досягає найвищих значень (45 °C) у північних (Чернігівська, Сумська області) та західних (Волинська, Рівненська, північні частини Львівської, Хмельницької, Тернопільської областей) регіонах, де континентальний клімат сприяє сильним морозам. Натомість I3, орієнтована на річні абсолютні відхилення, показує максимальні значення (11 °C і вище) у південних регіонах (Крим, Одеська область). Це пояснюється методологічними відмінностями при розрахунку цих двох

показників: І2 акцентує на сезонних відхиленнях, які є більш вираженими в континентальних регіонах, тоді як І3 враховує річний температурний цикл, що робить південні регіони з більш м'яким кліматом, більш «інтенсивними» за цим показником.

У 1960–1980 рр. спостерігались найвищі значення середньої річної інтенсивності ХХ (табл. 3.3). Зокрема, у 1976 р. – 94.8 °С, у 1978 р. – 84.8 °С та у 1987 р. – 85.5 °С. У 1990-х роках показники дещо знизились, хоча інтенсивні епізоди зберігались, наприклад, у 1997 році – 60.5 °С. З початку 2000-х років простежується чітка тенденція до зменшення як середньої річної інтенсивності, так і показників у теплий та холодний періоди, з найнижчими значеннями після 2010 року: 2014 р. – 5.5 °С, 2018 р. – 8.7 °С та 2020 р. – 4.5 °С. У середньому за період 1961–1990 рр. інтенсивність становила 48.4 °С, а за 1991–2020 рр. – лише 23.7 °С, що підтверджує загальне ослаблення інтенсивності хвиль холоду внаслідок кліматичних змін.

Таблиця 3.3

## Сумарні значення річної інтенсивності І3 (°С) хвиль холоду

Рік	Річна	Теплий період	Холодний період	Рік	Річна	Теплий період	Холодний період
1961	19.6	14.8	4.8	1991	23.6	16.7	6.8
1962	56.6	45.5	11.1	1992	43.6	40.7	2.9
1963	37.7	6.9	30.7	1993	37.2	32.0	5.2
1964	49.6	40.8	8.8	1994	19.4	11.9	7.4
1965	50.8	43.8	6.9	1995	37.0	26.8	10.2
1966	25.2	23.2	2.0	1996	43.7	27.7	16.1
1967	32.4	16.7	15.6	1997	60.5	48.5	12.0
1968	64.8	56.8	8.0	1998	31.7	20.3	11.3
1969	69.4	49.9	19.5	1999	14.4	11.8	2.6
1970	38.9	31.5	7.4	2000	28.3	27.0	1.3
1971	46.3	36.0	10.3	2001	31.7	26.3	5.4
1972	34.3	21.3	13.0	2002	20.4	16.6	3.7
1973	60.7	50.6	10.1	2003	29.1	19.0	10.1
1974	49.6	44.7	4.9	2004	36.5	34.6	2.0
1975	18.2	17.0	1.3	2005	32.1	21.0	11.1
1976	94.8	69.3	25.5	2006	19.6	5.7	13.8

1977	51.6	42.9	8.7	2007	11.3	10.3	0.9
1978	84.8	76.8	8.1	2008	15.4	13.1	2.3
1979	48.6	36.5	12.1	2009	30.0	26.7	3.3
1980	44.8	34.2	10.6	2010	6.7	0.0	6.7
1981	22.3	15.4	6.9	2011	28.0	22.6	5.4
1982	68.9	53.4	15.5	2012	11.3	0.0	11.3
1983	37.3	27.2	10.0	2013	21.9	7.6	14.3
1984	49.1	42.5	6.5	2014	5.5	0.0	5.5
1985	64.6	47.6	16.9	2015	17.5	14.0	3.4
1986	52.9	44.5	8.4	2016	15.8	14.5	1.3
1987	85.5	63.1	22.3	2017	17.6	16.4	1.2
1988	25.3	17.1	8.2	2018	8.7	0.0	8.7
1989	39.4	32.8	6.6	2019	9.3	9.3	0.0
1990	28.7	26.8	1.9	2020	4.5	14.9	3.3
Серед- нє	48.4	37.7	10.8	Серед- нє	23.7	17.9	6.3

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. 3.12 а). Найнижчі значення (1.5–3.0 °С) зафіксовані в західних областях, зокрема в Закарпатській, Івано-Франківській і Чернівецькій областях (зона Карпат), Львівська область, 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 найвищих та найнижчих значень (рис. 3.12 б): найнижчі значення збереглися на заході та на півдні, а найвищі значення (3.2–3.6 °С), крім того, що зберігаються на півночі, починають фіксуватися і в інших регіонах – Криму, Луганській та Сумській областях. Найвищі значення фіксуються в Житомирській, Тернопільській, Вінницькій, Львівській та Хмельницькій областях. Значення 2–3 °С на решті території країни. Таким чином, за період 1991–2020 рр. спостерігається загальне зниження інтенсивності хвиль холоду в Україні.

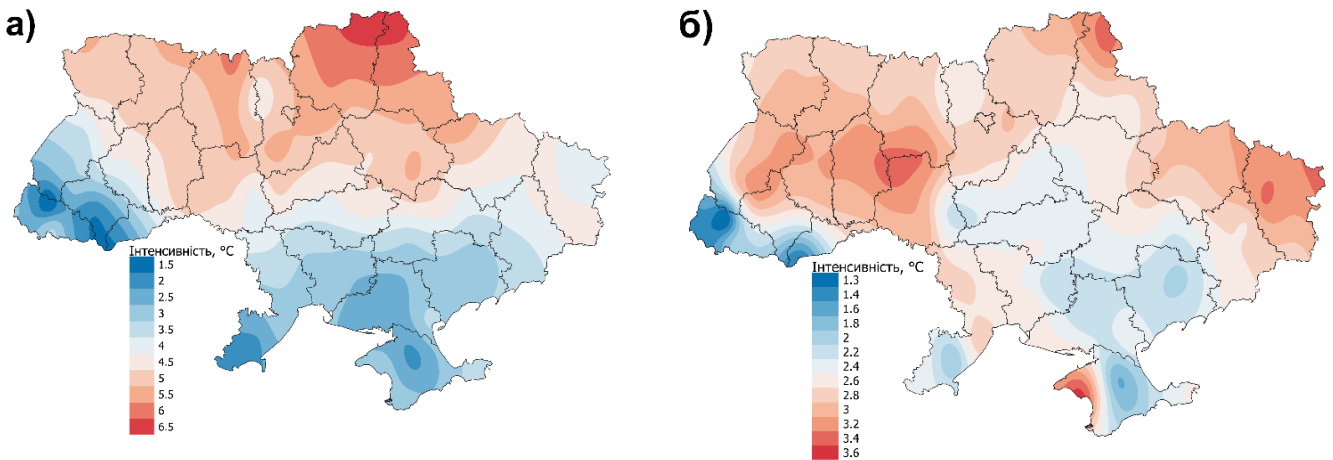


Рис. 3.12 Середня інтенсивність ІЗ хвиль холоду у холодний період а) за 1961 – 1990 рр., б) за 1991–2020 рр.

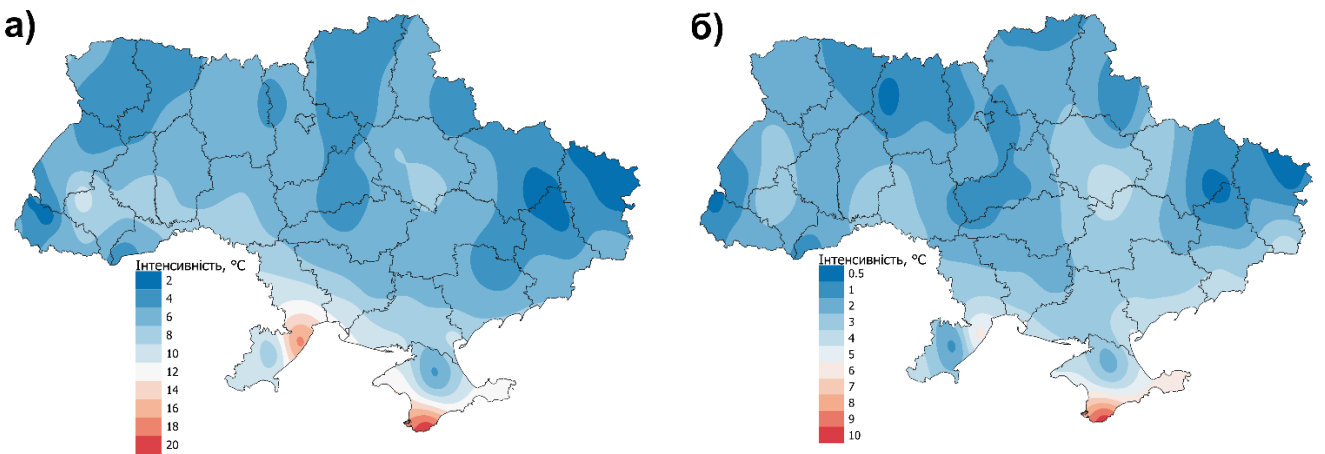


Рис. 3.13 Середня інтенсивність ІЗ хвиль холоду у теплий період а) за 1961 – 1990 рр., б) за 1991–2020 рр.

Значення річної інтенсивності ХХ в теплий період були вищі, ніж у холодний. За кліматичну норму 1961–1990 рр. діапазон значень (рис. 3.13 а) становить від 2 до 20 °С. Найвищі показники інтенсивності (10–20 °С) спостерігаються в південному регіоні – в Криму, в Одеській області та в прибережних частинах Херсонської, Миколаївської та Запорізької області, а також на заході (захід Івано-Франківської області). Найнижча інтенсивність (2 °С) характерна для Луганської та частково

Донецької областей, а також для Закарпатської області. Для решти території країни середні значення становлять 4–8 °С, зі збільшенням ІЗ у південному напрямку. У період 1991–2020 (рис. 3.13 б) значення помітно знизилися – до 0.6–10 °С. Найвища інтенсивність (5–10 °С) спостерігається виключно в Криму та центрі Одеської області (довкола дельти Дністра). Найнижча інтенсивність (0.6–1.0 °С) характерна для східних регіонів, таких як Луганська, Донецька та Харківська області, та в окремих частинах Житомирської та Закарпатської областей. Вся інша територія країни має середні значення 1–4 °С з поступовим зростанням інтенсивності на південь.

Аналіз просторового розподілу та динаміки річної інтенсивності хвиль холоду (ІЗ) в Україні за період 1961–2020 рр. свідчить про наявність чіткої географічної диференціації цього показника, з тенденцією до більш високих значень у південних регіонах, особливо в Криму та прилеглих областях. Порівняння інтенсивності за холодний та теплий періоди свідчить про вищі показники у теплий період і, відповідно, значні температурні контрасти влітку. Водночас, динаміка значень річної інтенсивності свідчить про певне зниження середньої річної інтенсивності ІЗ, що може вказувати на загальну тенденцію до ослаблення хвиль холоду внаслідок потепління клімату. Водночас окремі роки з високими значеннями інтенсивності свідчать про збереження ризику екстремальних подій.

### *Висновки до розділу 3.*

Аналіз хвиль холоду в Україні за період 1961–2020 рр. показав наявність чіткої тенденції до зменшення їхньої кількості, тривалості та інтенсивності, що, ймовірно, пов'язано з глобальними кліматичними змінами. Загальна кількість хвиль холоду скоротилася на 40% – з 298 у 1961–1990 рр. до 180 у 1991–2020 рр. Середня тривалість хвиль холоду в холодний період зменшилася з 3.8 до 3.6 дня, а в теплий період – з 3.5 до 3.1 дня. Суттєво знизились і показники річної та сезонної інтенсивності за останні 30 років: середнє І<sub>2</sub> у холодний період знизилось на 34,9 °С, у теплий на 8 °С, середнє І<sub>3</sub> у ХП на 3 °С, а у ТП на 10 °С.

## РОЗДІЛ 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ОКРЕМИХ ВИПАДКІВ ХВИЛЬ ХОЛОДУ

З метою детального аналізу хвиль холоду, що спостерігалися в Україні протягом 1961–2020 рр., було обрано 6 найтриваліших випадків. При виборі цих епізодів також враховано просторове охоплення хвилі холоду (вона мала фіксуватися не менш, ніж на 65 із 70 точок, які використовувалися в даному дослідженні). У табл. 4.1 представлені всі ХХ які фіксувалися на 65 і більше точках одночасно, з них же відібрано 6 найтриваліших та найінтенсивніших випадків, до яких належать:

- хвиля холоду 09.01.1963 – 03.02.1963;
- хвиля холоду 13.01.1972 – 02.02.1972;
- хвиля холоду 06.02–15.03.1985;
- хвиля холоду 27.02.1987 – 20.03.1987;
- хвиля холоду 18.01 – 28.01.2006;
- хвиля холоду 25.01.2012 – 19.02.2012.

Також для детального аналізу була обрана хвиля холоду, що спостерігалася з 03 по 23 січня 1987 р.. Хоча вона й не належить до ХХ з найбільшим просторовим охопленням, проте була обрана, оскільки під час неї в Україні були зафіксовані найнижчі температури повітря за досліджуваний період (1961–2020 рр.).

Таблиця 4.1

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

Дата початку	Дата завершення	Тривалість, дні	Кількість точок	I <sub>2</sub> , °С	I <sub>3</sub> , °С
09.01.1963	03.02.1963	26	69	90.5	9.9
15.03.1963	26.03.1963	12	66	55.6	4.5
05.03.1964	11.03.1964	7	65	38.6	2.1
13.01.1972	02.02.1972	21	67	69.2	7.5

31.01.1976	18.02.1976	19	68	29.5	2.9
06.02.1985	15.03.1985	38	70	149.5	9.8
27.02.1987	20.03.1987	22	70	92.8	5.0
10.11.1993	07.12.1993	28	66	35.4	2.4
22.12.1996	04.01.1997	14	67	32.8	3.8
18.01.2006	28.01.2006	11	68	51.7	5.6
22.01.2010	28.01.2010	7	65	34.0	3.7
25.01.2012	19.02.2012	26	70	79.7	8.2

Як видно з таблиці, до хвиль холоду з найбільшим просторовим охопленням, належали ХХ холодного сезону. Хвилі холоду у теплий період (квітень–вересень), хоча і фіксуються в Україні, проте характеризуються меншою тривалістю, зазвичай менше 10 днів, малим просторовим охопленням та низькою інтенсивністю, порівняно з холодним періодом (жовтень–березень). Це пов'язано з кліматичними особливостями регіону, де влітку переважають теплі повітряні маси, а різке зниження температур є рідкісним явищем, що часто викликано вторгненням холодних повітряних мас із півночі або заходу. Такі хвилі холоду, як правило, охоплюють меншу територію та характеризуються менш вираженими температурними аномаліями.

*Хвиля холоду 09.01.1963 – 03.02.1963 рр.* Дана хвиля холоду розпочалася 9 січня з заходу (з Волинської області), а 10 січня – з півночі, досягши свого максимального поширення 22 січня. Єдине місце на території України, де дана ХХ не була зафіксована – це західний берег Криму. Після 22 січня хвиля холоду почала відступати. 3 лютого – це останній день, коли вона фіксувалася на території України. Загальна тривалість події становила 26 днів. В період з 22 по 25 січня хвиля холоду частково відступила з заходу країни та повністю зі сходу, але з 26 по 29 січня в західних областях території України температури знову знизилися. ХХ остаточно зруйнувалася після 30 січня, при цьому аномально низькі температури останніми були

зафіксовані у Львівській, Івано-Франківській та Тернопільській областях (рис. 4.1). Причиною таких морозів в Європі став блокуючий антициклон над Ісландією та глибока депресія біля Азорських островів, які змінили струминні течії, спрямувавши арктичне та сибірське повітря вглиб континенту [25].

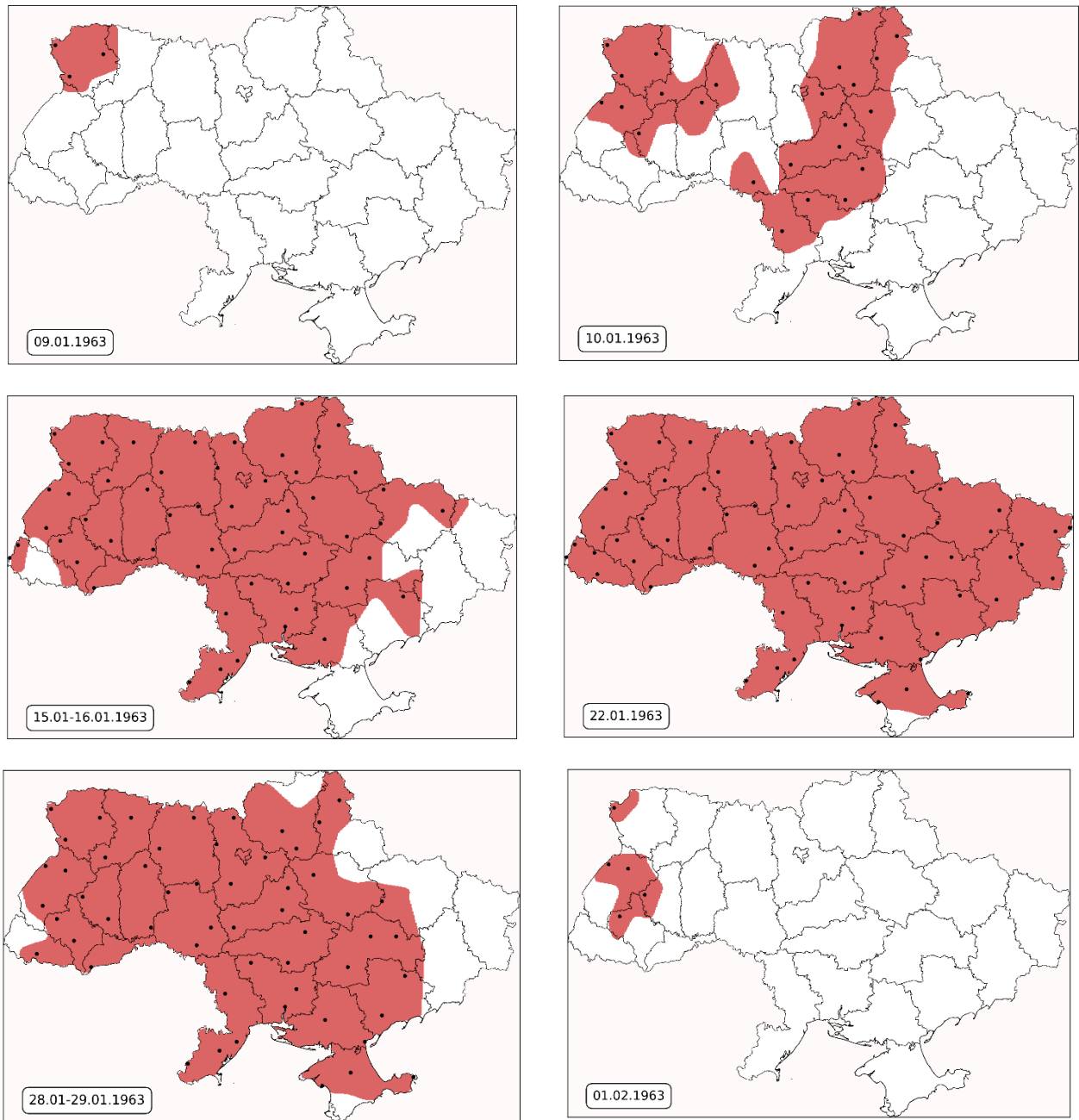


Рис. 4.1 Просторове поширення хвилі холоду 09.01.1963–03.02.1963 рр.

Високі значення загальної інтенсивності I2 (100 °C і більше) та I3 (11 °C і більше) під час даної ХХ зосереджені в 4 із 5 регіонів України (південь, північ, захід, центр) (рис. 4.2 а, б), з них найвищі значення I2 фіксуються у центрі країни (Черкаська, Вінницька та Кіровоградська області), а от I3 лише у Черкаській області . Найнижчі показники сезонної інтенсивності I2 зосереджені на сході країни (переважно Луганська область), найнижчі показники річної інтенсивності I3 зосереджені у Криму, що підтверджує пізній початок ХХ у цій частині території, та аномально низькі температури у іншій частині країни. Середні показники I2 – 90.5 °C I3 – 9.9 °C.

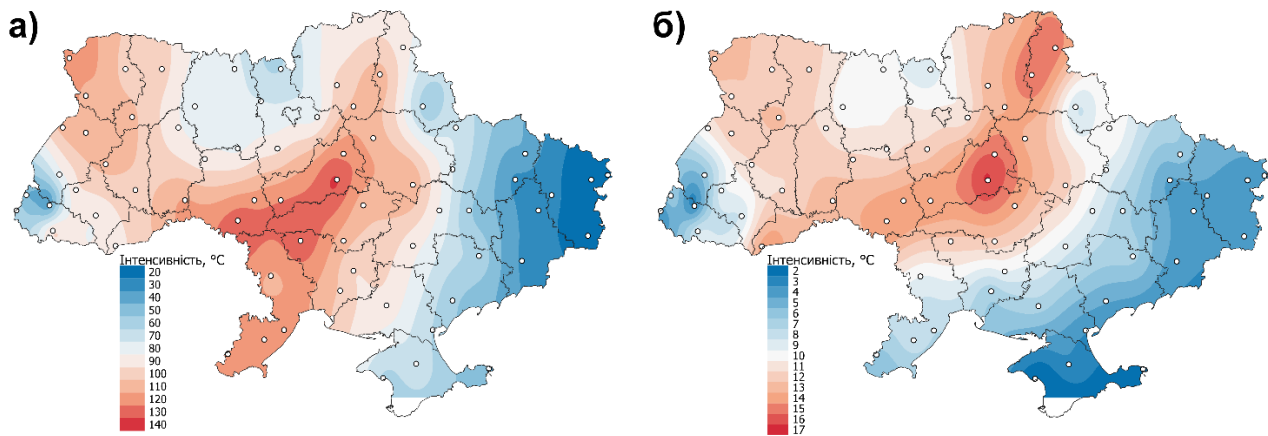


Рис. 4.2 Значення інтенсивності під час хвилі холоду 09.01.1963–03.02.1963 а) сезонної (I2), б) річної (I3)

У дні максимального просторового поширення даної ХХ найнижчі значення температури повітря спостерігались у центральних та північних областях, де температура фіксувалась нижче -30 °C, також подібна температура відмічена у Чернівецькій області (район Карпат) (рис. 4.3 а, б).

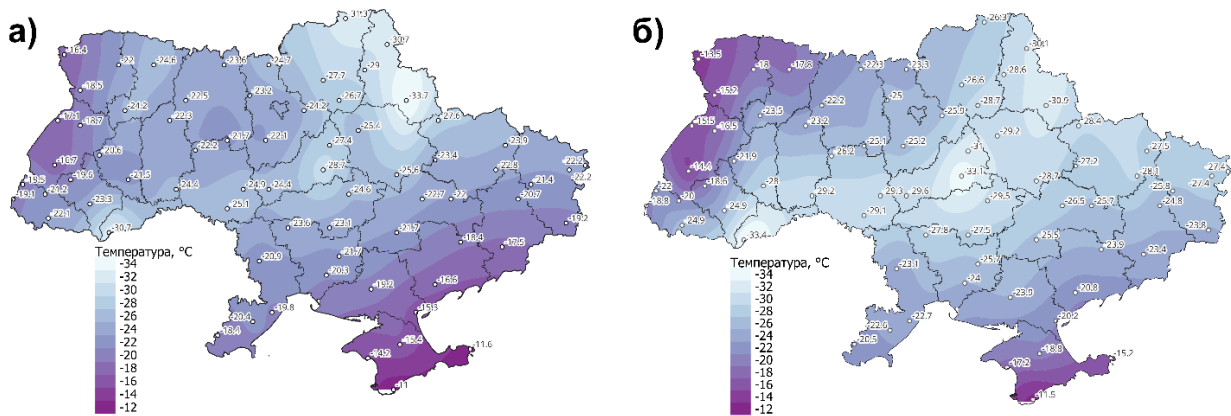


Рис. 4.3 Значення мінімальної добової температури а) за 22 січня, б) за 23 січня 1963 р.

*Хвиля холоду 13.01.1972–02.02.1972 рр.* Дана ХХ тривала 21 день, охопила всю територію країни, окрім частини Закарпаття (рис. 4.4). ХХ розпочалася 13 січня, одразу охопивши практично всю територію країни, досягнувши максимального поширення 14–16 січня, після чого аномально низькі температури почали відступати спочатку з півночі (18.01), а потім – з заходу країни (20.01–22.01). Після 23 січня хвиля холоду знову почала поширюватися у західному та частково північному напрямках. В період 26–27 січня ХХ охопила значну територію країни (окрім Чернігівської, Сумської, Закарпатської та частково Львівської, Чернівецької, Одеської областей та півдня Криму). Після цього температури почали спадати і в період 31 січня–02 лютого ХХ фіксувалась лише на в деяких районах півдня (Керченський півострів та південь Херсонщини).

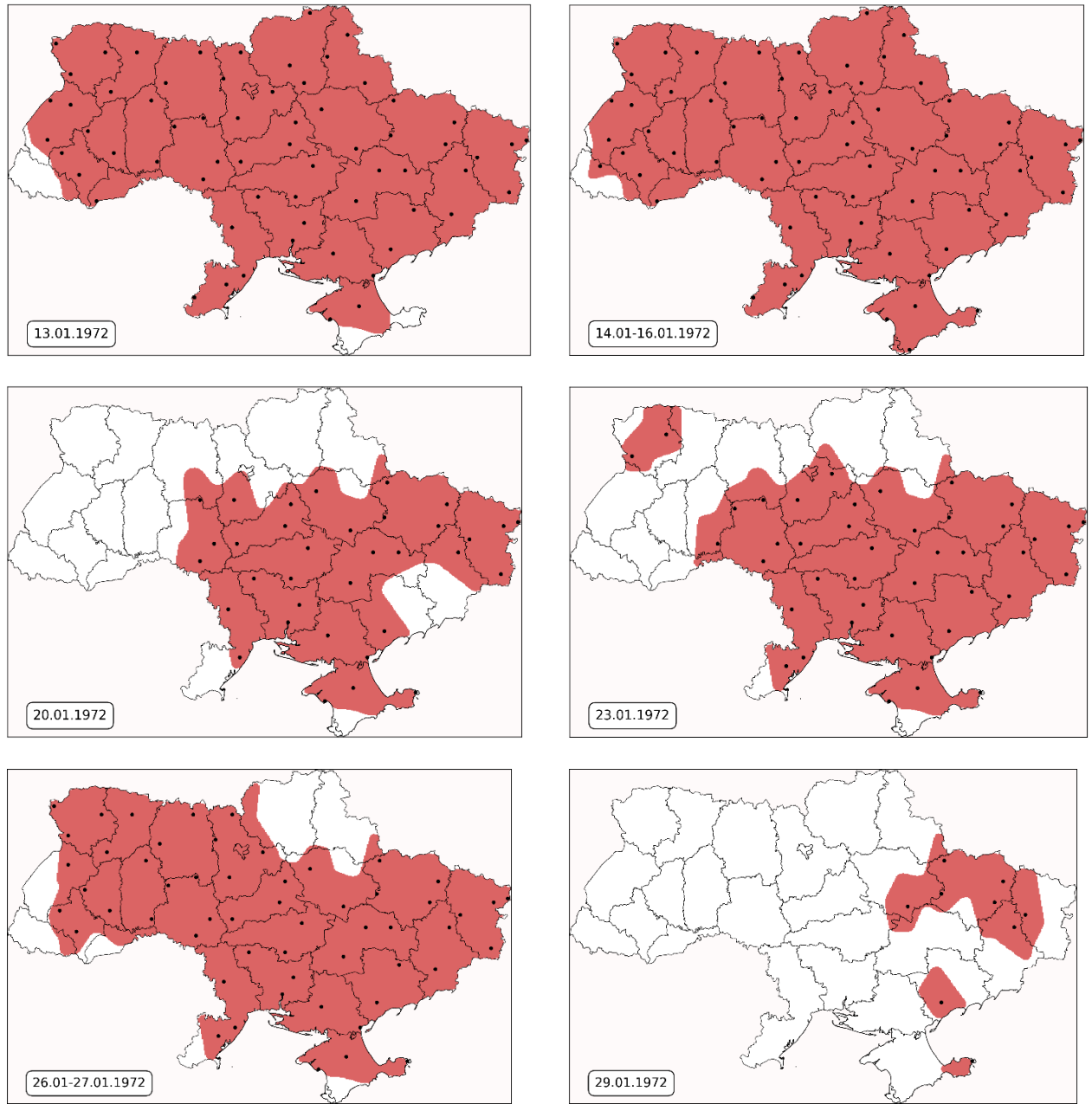


Рис. 4.4 Просторове поширення хвилі холоду 13.01.1972–02.02.1972 рр.

Дана ХХ характеризується високою сезонною інтенсивністю  $I_2$  (100–120 °С) у центральних і східних регіонах, а також річною інтенсивністю  $I_3$  (11–14 °С) у тих самих регіонах, що відображає значні температурні аномалії та значну тривалість ХХ у цій частині території країни (рис. 4.5 а, б). Середні показники  $I_2$  – 69.2 °С  $I_3$  – 7.5 °С.

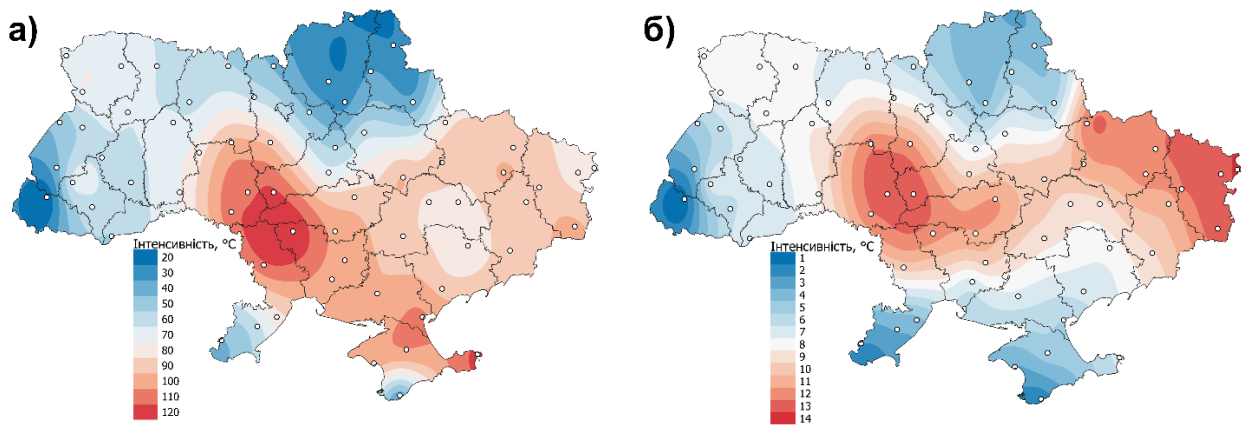


Рис. 4.5 Значення інтенсивності за весь період хвилі холоду 13.01.1972–02.02.1972 а) сезонної (I2), б) річної (I3)

*Хвиля Холоду 06.02–15.03.1985 рр.* Дана ХХ є найтривалішою (38 днів) з усіх, зафіксованих на всіх точках досліджуваної території. Поширення холодного повітря на територію України розпочалося з північного-заходу, за 11 днів – 19 лютого, ХХ поширилась на всю територію України, а після 21 лютого почалось поступове зменшення території поширення із заходу країни на схід. Після 21 лютого хвиля температури поступово почали зростати на заході країни, а після 2 березня ХХ перестала фіксуватися на цій території. У проміжку 12–15 березня територія охоплення ХХ зменшилася і вона спостерігалася лише на півдні країни (рис. 4.6). За даними Twardosz R., аномально низькі температури лютого–березня 1985 року в Європі були пов’язані з потужним антициклоном над північною Європою та Сибіру, який спричинив надходження холодного арктичного повітря [33].

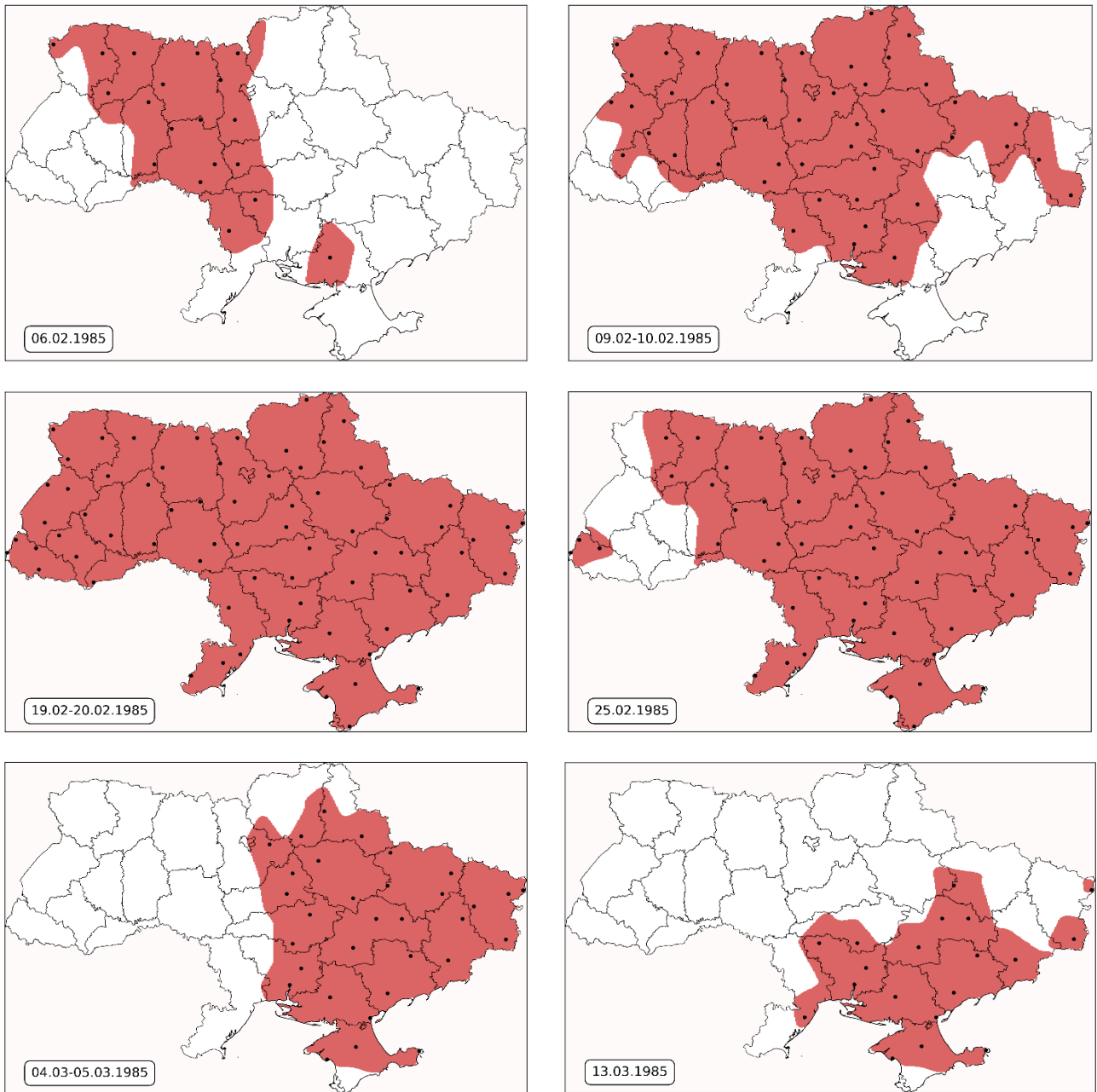


Рис. 4.6 Просторове поширення хвилі холоду 06.02.1985–15.03.1985 рр.

Аналіз інтенсивності свідчить про дуже високі показники сезонної інтенсивності  $I_2$  майже по всій території країни, особливо – на півдні ( $200\text{ }^\circ\text{C}$  і вище) (рис. 4.7 а). Дуже високі значення річної інтенсивності  $I_3$  ( $14\text{ }^\circ\text{C}$  і вище) на півночі пояснюються тривалими низькими температурами у лютому (рис. 4.7 б). Низька

загальна інтенсивність під час ХХ на заході пояснюється відсутністю події на цій території у березні.

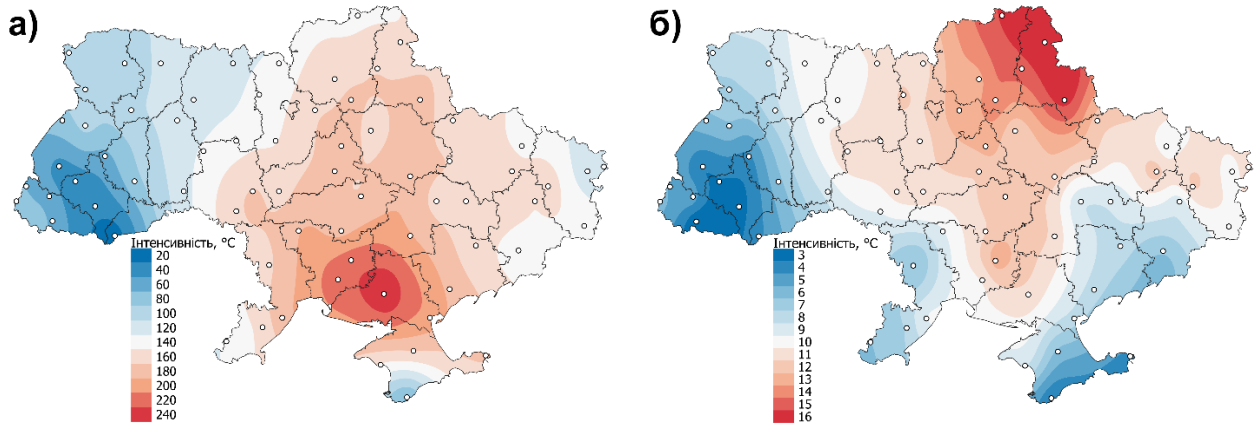


Рис. 4.7 Значення інтенсивності за весь період хвилі холоду 06.02.1985–15.03.1985 а) сезонної (I2), б) річної (I3)

На картах мінімальної температури (рис. 4.8 а, б) помітно, що в у дні максимального поширення, особливо 19 лютого найнижчі значення температури повітря спостерігались на півночі та центрі країни і досягали  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , також подібна температура зафіксована у Чернівецькій області (Карпати). ХХ лютого–березня 1985р., є найінтенсивнішою за весь досліджуваний період за значенням сезонної інтенсивності I2 ( $149.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), та другою за інтенсивністю за річною інтенсивністю I3 ( $9.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) серед ХХ з найбільшим просторовим охопленням.

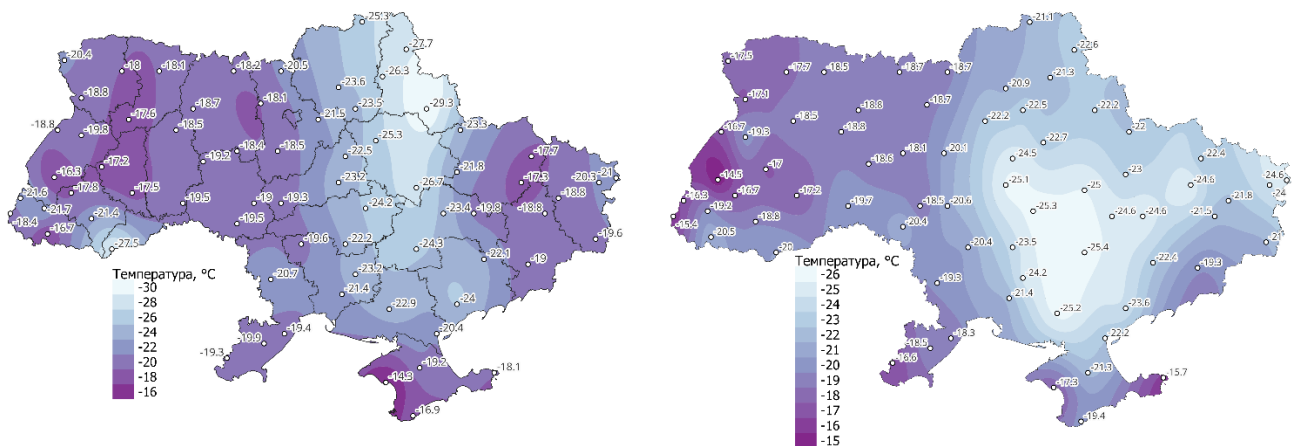


Рис. 4.8 Значення мінімальної добової температури а) за 19 лютого, б) за 20 лютого 1985 р.

Найхолоднішим днем за весь період хвилі холоду стало 10 лютого, коли температура на півночі та сході країни, зокрема в Сумській та Харківській областях, опустилася до  $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що є найнижчим показником зафіксованим у цей період (рис. 4.9 та 4.10).

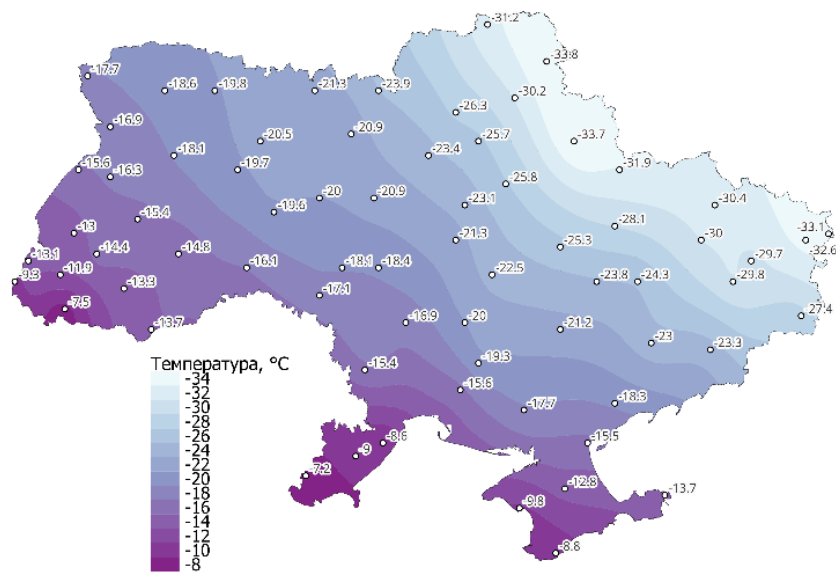


Рис. 4.9 Значення мінімальної добової температури за 10 лютого 1985 р.

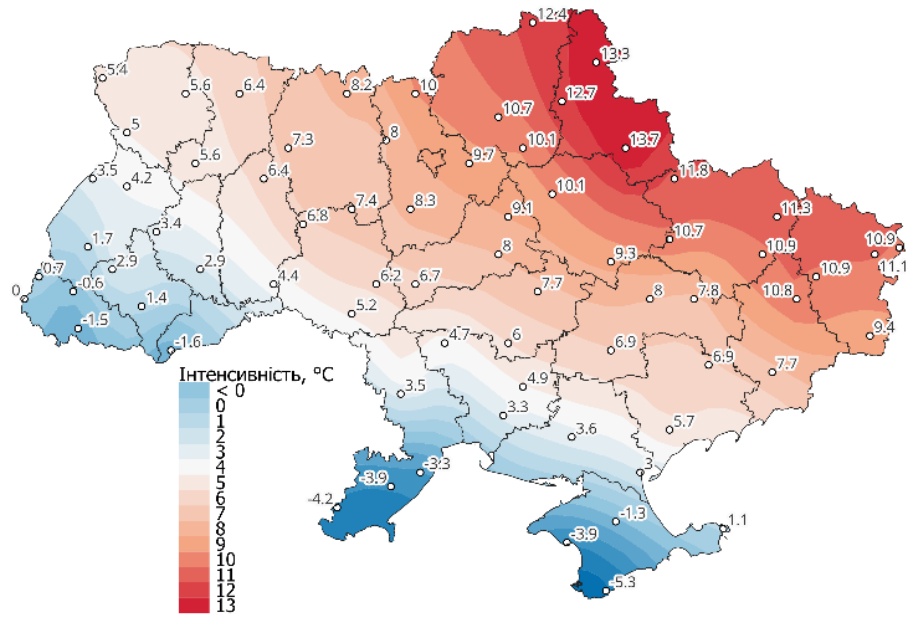


Рис. 4.10 Значення добової інтенсивності І2 за 10 лютого 1985 р.

*Хвиля Холоду 03.01–23.01.1987 рр.* Дана ХХ тривала з 03.01 по 23.01 (рис. 4.11) (21 день). За даними [33] цей місяць належить до найхолодніших місяців у Європі з 1951р. Під час цієї ХХ найнижчі значення температури для території України становили  $-35^{\circ}\text{C}$  –  $-36^{\circ}\text{C}$  (рис. 4.14). Початок хвилі холоду фіксується 3 січня, з різким охопленням значної території у перший день: півночі, центру, а також частково Харківської та Миколаївської областей (рис. 4.12). Максимального поширення ХХ досягла 09.01–11.01, охопивши значну територію країни, окрім Криму, Херсонської, Миколаївської та Закарпатської областей. 9 січня фіксується найнижчі значення мінімальної температури за весь період дослідження. Між 11 та 15 січня ХХ перестає фіксуватись на сході, півдні та в Дніпропетровській області. Протягом 15–22 січня основна територія впливу залишалась на півночі, заході та центрі (окрім Дніпропетровській області), на заході країни явище вже не спостерігалось.

Незважаючи на додатні показники І2 (рис.. 4.13) у цей день (9 січня) в Криму, Херсонській та частково Миколаївській областях, такий день був лише один для цієї

частини країни, чого не вистачало для включення їх у просторове поширення ХХ згідно методології НСВІ.

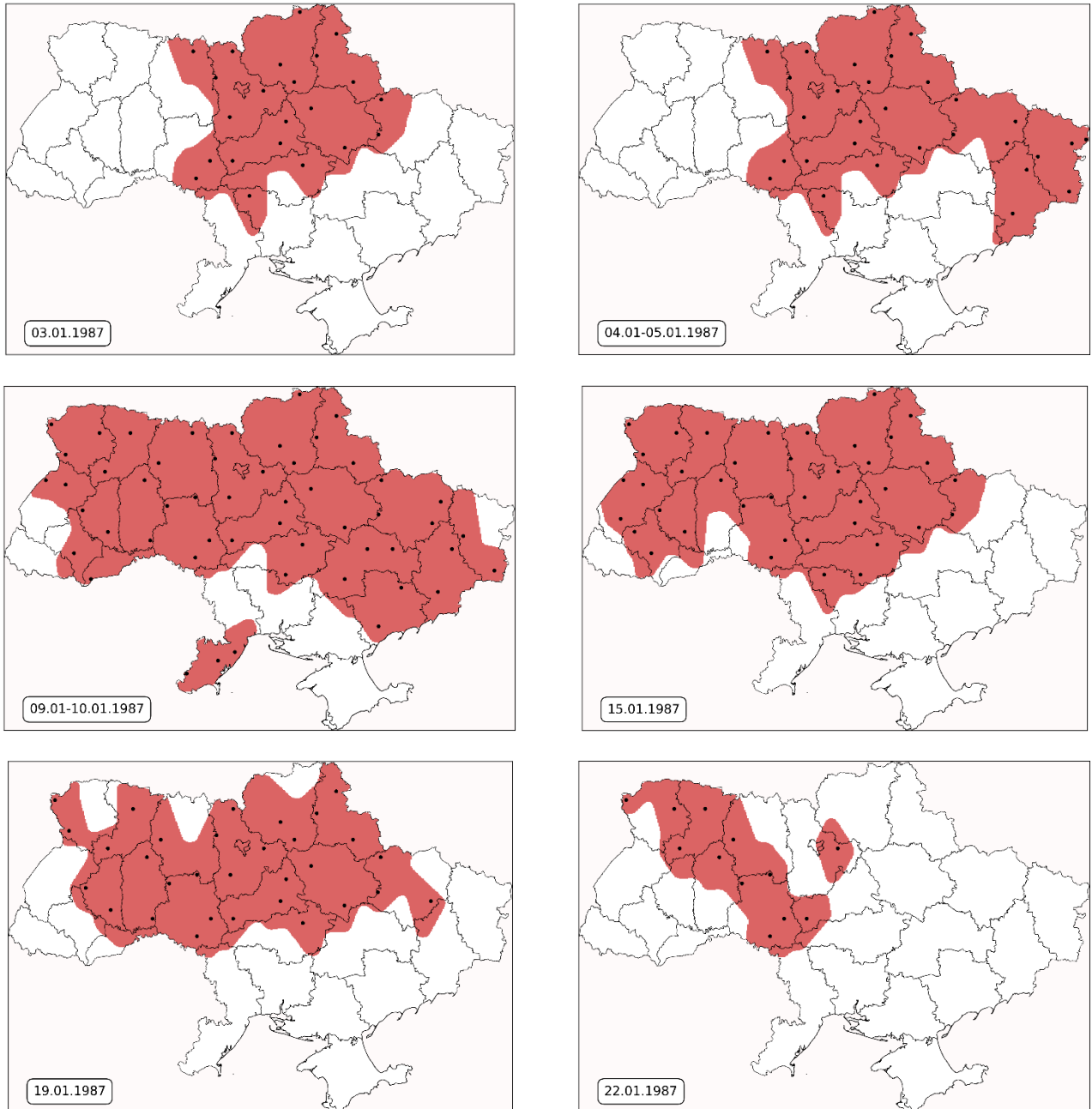


Рис. 4.11 Просторове поширення хвилі холоду 03.01 – 23.01.1987 рр.

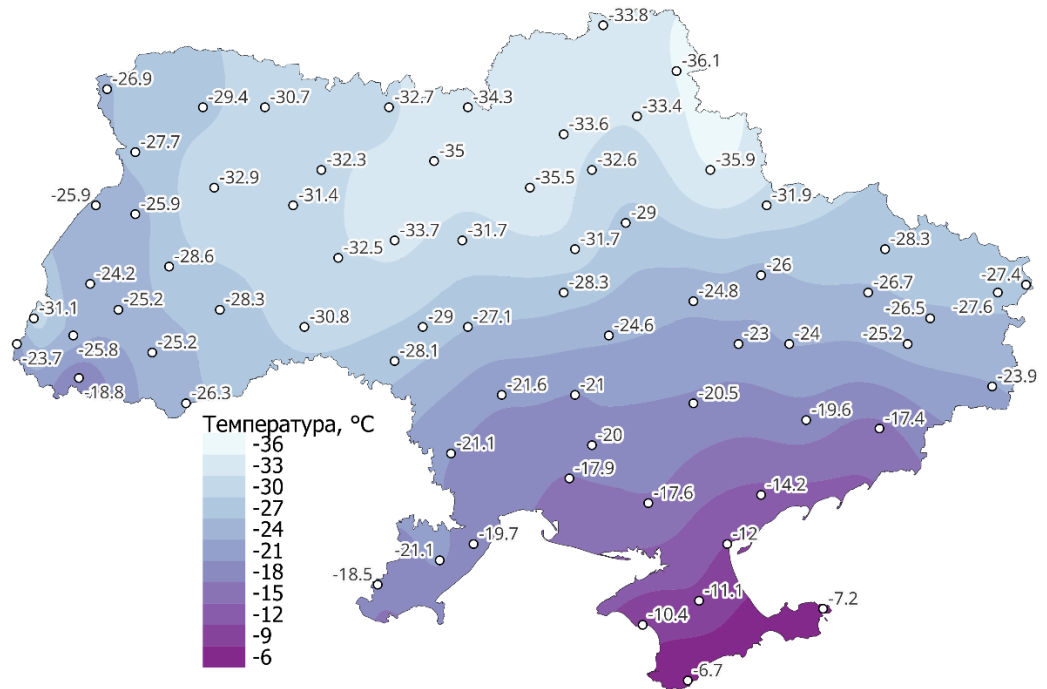


Рис. 4.12 Значення мінімальної добової температури за 09.01.1987 р.

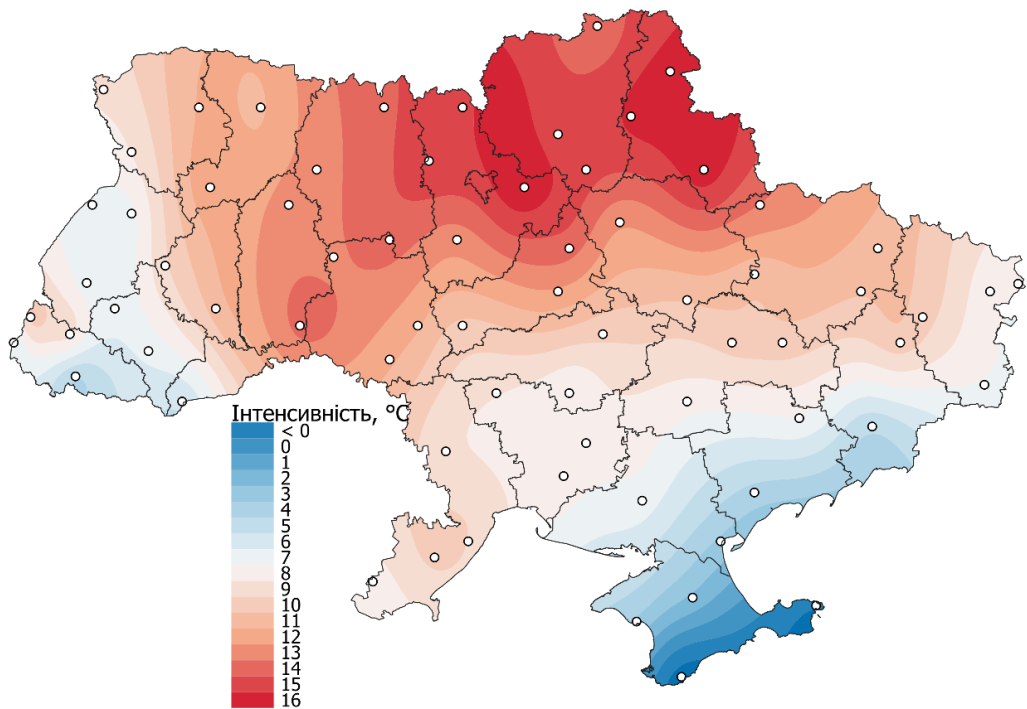


Рис. 4.13 Значення добової інтенсивності I2 за 09.01.1987 р.

Під час ХХ найвищі значення загальної інтенсивності І2 (90+ °С) та І3 (12+ °С) зафіксовані на півночі (Чернігівська, Сумська, Київська області) та заході (Волинська, Рівненська області) (рис. 4.14 а, б). Найнижчі показники інтенсивності зосереджені на півдні, сході та заході (Закарпатська, Львівська, Івано-Франківська області), обумовлено це меншою тривалістю ХХ у цій частині країни. Середня інтенсивність ХХ за весь період І2 (60.3 °С) та І3 (7.1 °С).

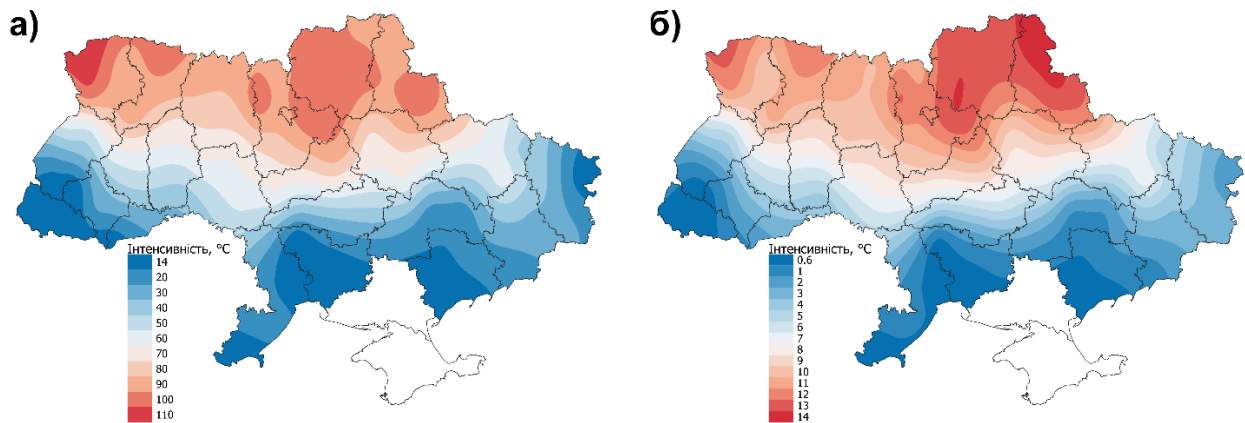


Рис. 4.14 Значення інтенсивності за весь період хвилі холоду 03.01.1987 – 23.01.1987 а) сезонної (І2), б) річної (І3)

*Хвиля холоду 27.02.1987–20.03.1987 рр.* В кінці лютого розпочалась, ще одна тривала ХХ (22 дні), що охоплювала всю територію країни у березні. Її поширення почалось 27 лютого з півночі, перед цим 25 лютого було зафіксовано перевищення порогу холоду на півдні Криму. Максимальне поширення даної хвилі холоду тривало з 10 по 13 березня, після чого почалось поступове зменшення площі поширення (рис. 4.15).

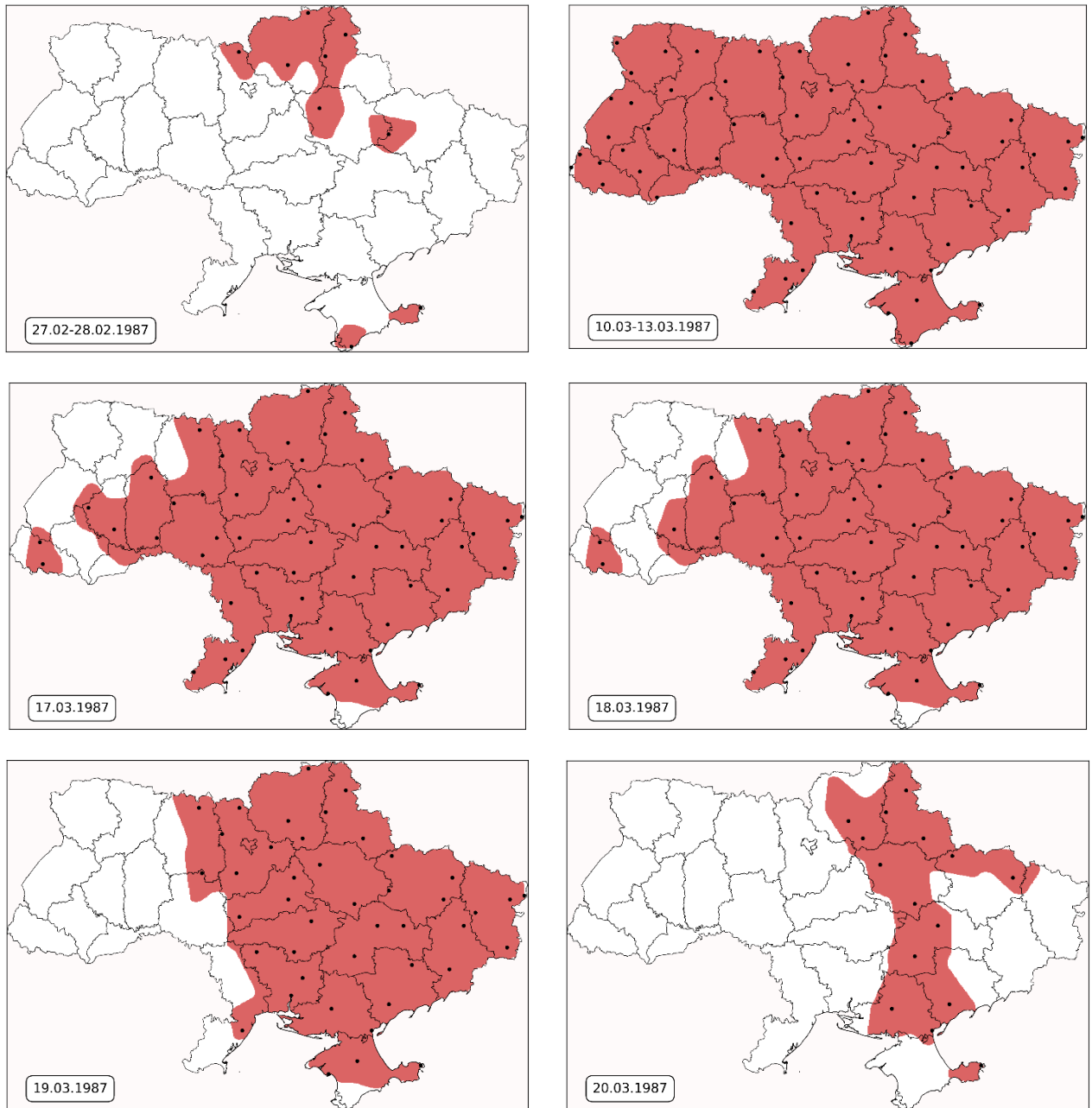


Рис. 4.15 Просторове поширення хвилі холоду 25.02–20.03.1987 рр.

Найвищі значення загальної сезонної інтенсивності  $I_2$  ( $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  і вище) та річної інтенсивності  $I_3$  ( $9\text{ }^{\circ}\text{C}$  і вище) зафіксовані у Волинській, Рівненській, Житомирській та Київській областях (рис. 4.16 а, б). Найнижчі показники інтенсивності – на півдні країни (північ Миколаївської області). За весь період ХХ загальна інтенсивність  $I_2$  становила  $92.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а  $I_3$  –  $5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

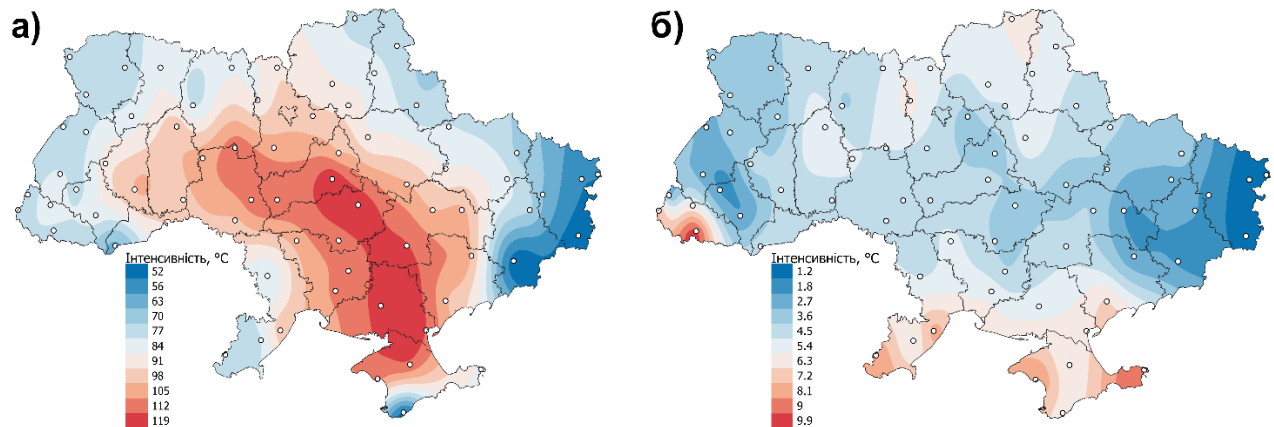


Рис. 4.16 Значення інтенсивності за весь період хвилі холоду 25.02.1987–20.03.1987 а) сезонної (I2), б) річної (I3)

*Хвиля холоду 18.01–28.01.2006 рр.* Друга найінтенсивніша ХХ у сучасному кліматичному періоді. Вона характеризувалась дуже низькими температурами протягом 11 днів. Початок зафіксований 18 січня внаслідок вторгнення холодного повітря з північного-сходу та сходу (Сумська, Харківська, Луганська області). Всього за 3 дні хвиля холоду поширилась майже на всю територію країни, окрім півдня Українських Карпат (цілком імовірно, що методологія HCWI є недостатньо чутливою, щоб дати змогу ідентифікувати ХХ в гірських регіонах або щільність точок, використаних в даній роботі, була замалою). Починаючи з 25 січня територія поширення ХХ почала зменшуватися – температури почали зростати на північному-сході. В останній день (28 січня) ХХ фіксувалась лише на Закарпатті (4.17).

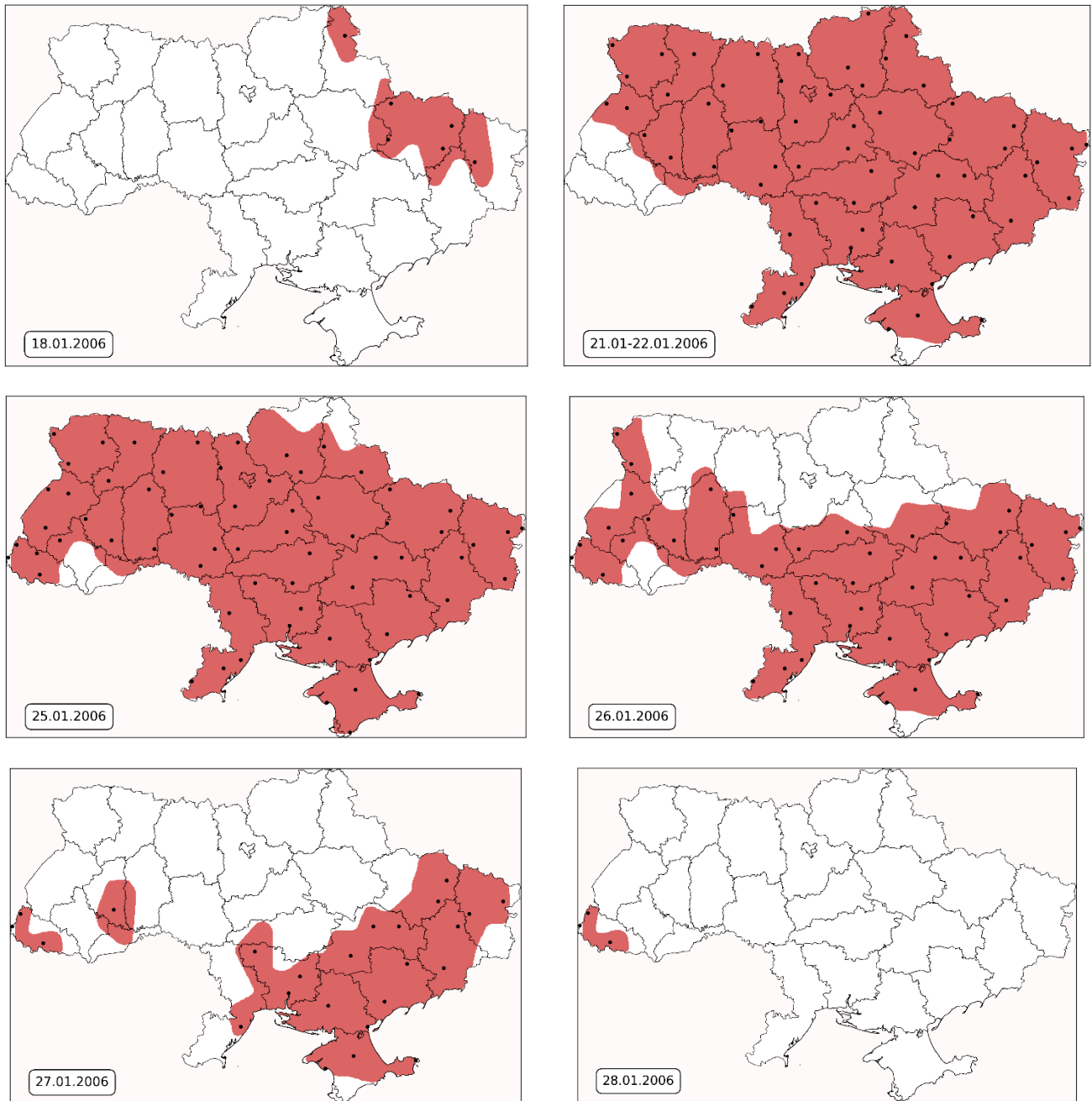


Рис. 4.17 Просторове поширення хвилі холоду 18.01–28.01.2006 рр.

Під час ХХ зафіксовані високі значення сезонної інтенсивності І2 (63 °С і вище) та річної інтенсивності І3 (7 °С і вище) на сході країни (рис. 4.18 а, б). Найнижчі показники інтенсивності зосереджені на заході (переважно Закарпатська область) та на півдні Криму. За весь період ХХ середня інтенсивність становила: І2 – 57.7 °С, І3 –

5.6 °C. Низькі температури під час піку ХХ (23–24 січня) зосереджені на сході та заході країни, що додатково підтверджує високу інтенсивність в цьому регіоні (рис. 4.19 а, б).

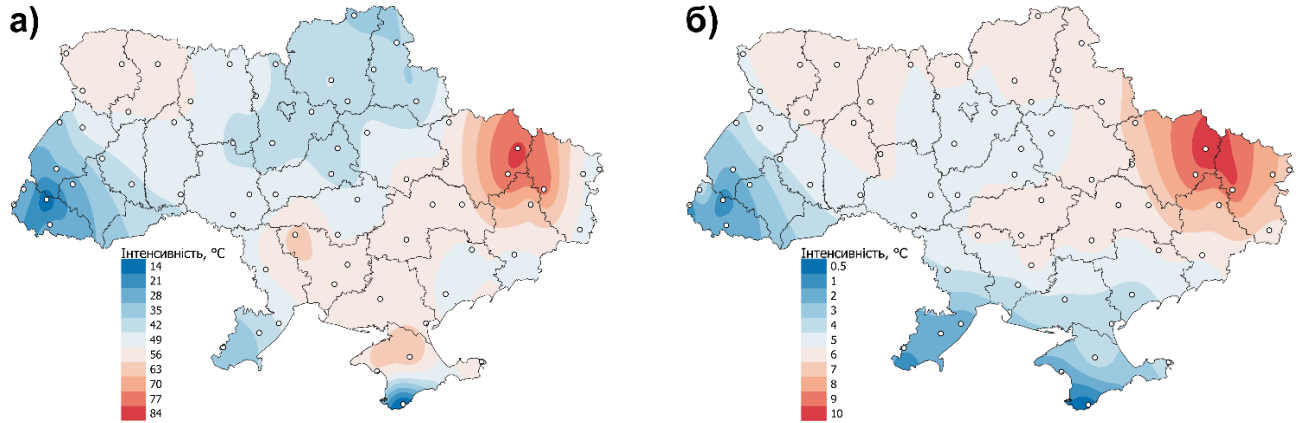


Рис. 4.18 Значення інтенсивності за весь період хвилі холоду 18.01–28.01.2006

а) сезонної (I2), б) річної (I3)

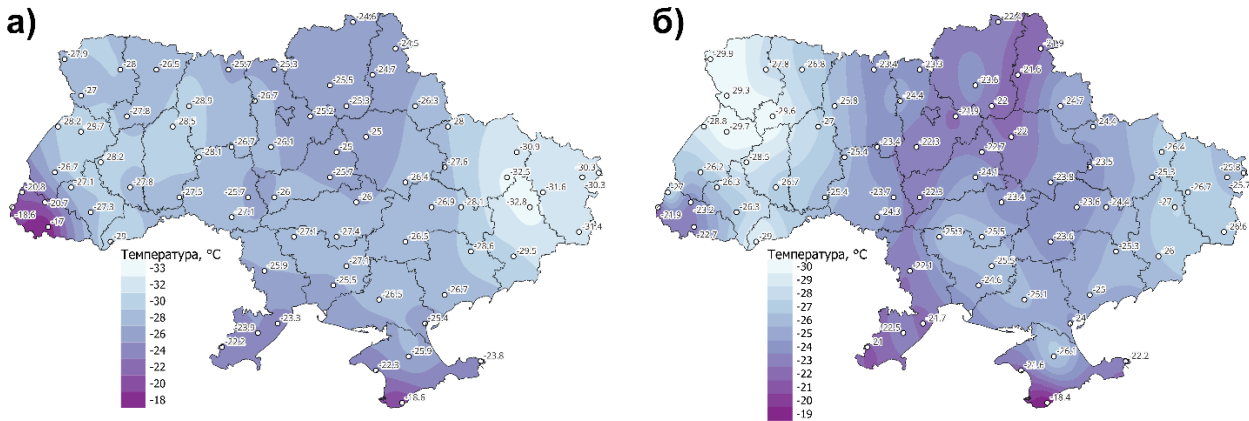
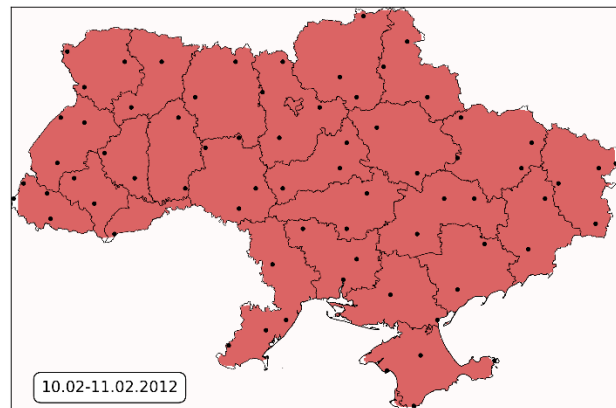
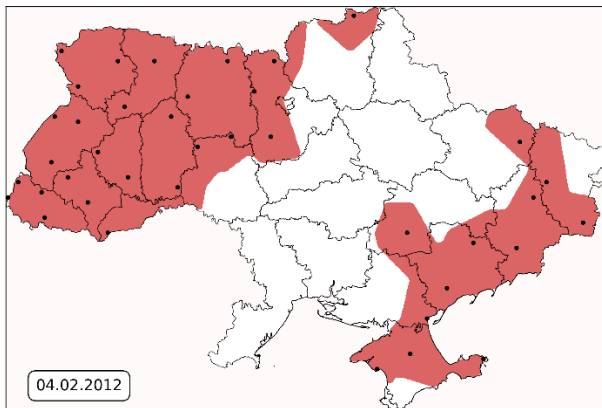
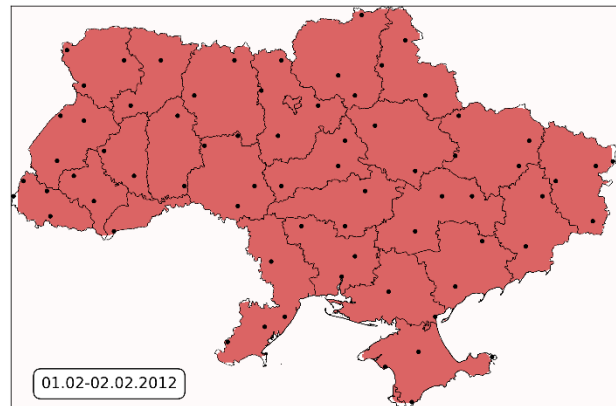
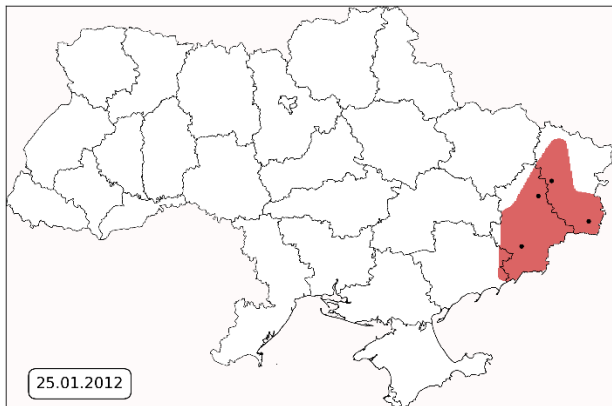


Рис. 4.19 Значення мінімальної добової температури а) за 23 січня, б) за 24 січня 2006р.

*Хвиля холоду 25.01.2012–19.02.2012 рр.* Тривалість даної ХХ становить 26 днів, інтенсивність за показником сезонної інтенсивності I2 – 79.7 °C. Ця подія є найінтенсивнішою за даним показником за сучасний кліматичний період. ХХ

спостерігалася на всій території України 01–02 лютого та 10–11 лютого, на ці ж дні припали найнижчі температури. Між 04 та 06 лютого було короткочасне підвищення температури по всій території України. ХХ в цей період фіксувалась на заході, півдні (Запоріжжя та Крим) та сході. Але вже 07 лютого холодне повітря з півночі та сходу знову поширилось на всю територію країни. Після 13 лютого хвиля холоду вже остаточно почала руйнуватися, а з 17 по 19 лютого фіксувалась в основному у Київській, Житомирській та Чернігівській областях (рис. 4.20). Протягом всього періоду за поширення цієї аномалії відповідали Сибірський антициклон та антициклон над Скандинавією [3].



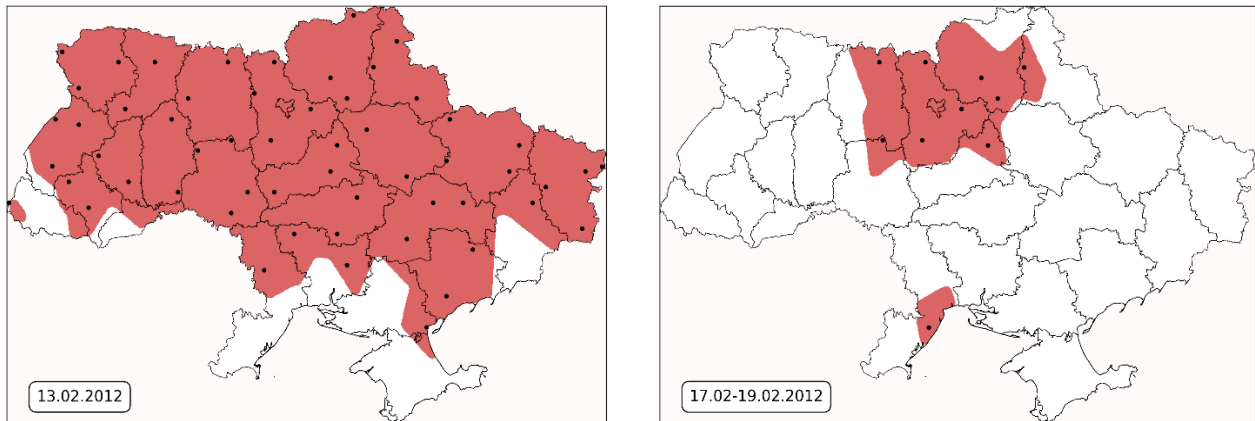


Рис. 4.20 Просторове поширення хвилі холоду 25.01–19.02.2012 рр.

Просторовий розподіл сезонної інтенсивності  $I_2$  вказує на високу концентрацію температурних аномалій у західних регіонах України, зокрема на території Львівської, Тернопільської та Івано-Франківської областей (за винятком Закарпатської області), а також у Житомирській, Київській і Вінницькій областях (рис. 4.21 а). Це вказує на значні відхилення від сезонного циклу в цих регіонах, де хвиля холоду була інтенсивною. Водночас просторовий розподіл значень річної інтенсивності  $I_3$  вказує, що окрім західних, центральних та північних регіонах, низькі температури спостерігалися також у східних областях України (рис. 4.21 б), зокрема в Донецькій і Луганській областях. Це пояснюється початком хвилі холоду саме з цієї частини території України, а також більш тривалим і стійким впливом температурної аномалії в цій зоні, особливо під часу другого поширення ХХ у період з 10 лютого по 12 лютого, коли в країні повторно фіксуються  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  і нижче (рис. 4.22 та рис 4.23).

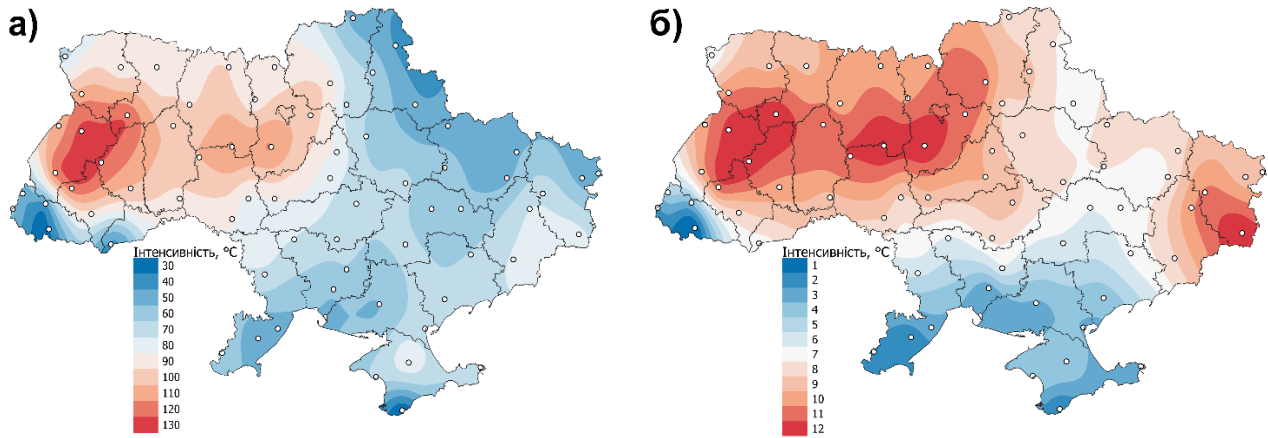


Рис. 4.21 Значення інтенсивності за весь період хвилі холоду 25.01.2012–19.02.2012 а) сезонної (I2), б) річної (I3)

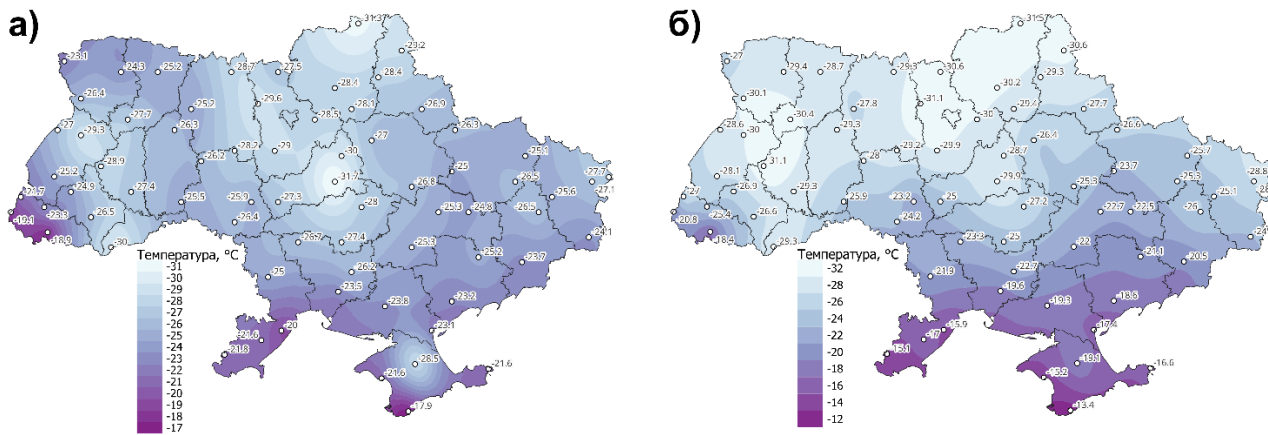


Рис. 4.22 Значення мінімальної добової температури а) за 02 лютого, б) за 03 лютого 2012р.

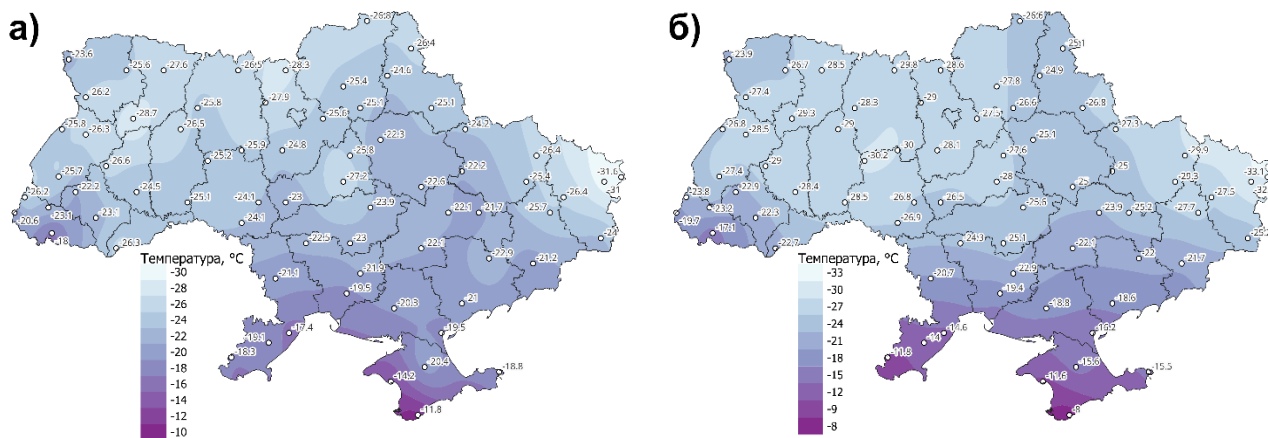


Рис. 4.23 Значення мінімальної добової температури а) за 11 лютого, б) за 12 лютого 2012р.

*Висновки до розділу 4.*

Отже, результати аналізу обраних випадків хвиль холоду, які спостерігалися на території України в 1961–2020 рр., свідчать про наявність як спільних закономірностей, так і індивідуальних особливостей кожної події. До спільних рис належать: значне просторове поширення хвиль холоду, висока інтенсивність температурних аномалій у центральних і північних регіонах, а також переважне поширення холодного повітря з півночі, північного сходу або заходу.

Відмінності, перш за все, представлені різною тривалістю та інтенсивністю випадків ХХ. Наприклад, ХХ 1985 р. була найтривалішою (38 днів) із найвищою сезонною інтенсивністю (149.5 °С), тоді як ХХ 2006 року була коротшою (11 днів), але інтенсивною ( $I_2 = 57.7$  °С). Хвиля холоду січня 1987 р. виділяється екстремально низькими температурами (-35...-36 °С), але має менше просторове поширення.

## ВИСНОВКИ

Просторово-часовий аналіз хвиль холоду в Україні за період 1961–2020 років дозволив виявити ключові тенденції, регіональні особливості та зміни в частоті, тривалості й інтенсивності цих атмосферних явищ. Серед яких основними є наступні:

1. За 1961–2020 роки в Україні зафіксовано 479 хвиль холоду. У 1991–2020 рр. кількість випадків скоротилася на 40%, порівняно з 1961–1990 рр. – з 298 випадків до 180. Найвища частота хвиль холоду зафіксована в 1976 році (17 випадків: 8 у теплий період, 9 у холодний), тоді як найнижча – у 2019 році (1 випадок у теплий період, жодного – в холодний), що є рекордно низьким показником. У 2010, 2012, 2014 і 2018 рр. хвилі холоду в теплий період були відсутні.

2. Середня тривалість хвиль холоду по території України за 1961–2020 роки становить 4.5 дня. Максимальні значення тривалості (понад 5 днів) характерні для східних (Харківська, Луганська області) та західних (Львівська, Волинська, Рівненська, Хмельницька, Тернопільська області) регіонів, а мінімальні (4.1–4.3 дні) – для південних районів (південь Одеської області, південний берег Криму) та Закарпаття. У холодний період (1961–1990: 3.8 дня; 1991–2020: 3.6 дня) тривалість хвиль холоду була вищою, ніж у теплий період (1961–1990: 3.5 дня; 1991–2020: 3.4 дня). Найтриваліші хвилі холоду спостерігалися в 1963 році (середня тривалість 5.7 дня, 6.0 дня в холодний період), 1985 році (5.4 дня, 7.4 дня в холодний період) і 1987 році (4.5 дня, 6.4 дня в холодний період).

3. За період 1961–2020 років сезонна інтенсивність хвиль холоду ( $I_2$ ) досягала максимуму в північних (Чернігівська, Сумська області) і західних (Волинська, Рівненська, північ Львівської, Хмельницької, Тернопільської областей) регіонах із значеннями до  $45^{\circ}\text{C}$ , тоді як річна інтенсивність ( $I_3$ ) була найвищою в південних регіонах (Крим, Одеська область, до  $11^{\circ}\text{C}$  і вище). Найнижчі значення сезонної інтенсивності характерні для південного берегу Криму та Закарпаття ( $19\text{--}24^{\circ}\text{C}$ ), а річної інтенсивності – для західних (Закарпатська, Львівська) і східних (Луганська, Донецька) областей ( $4\text{--}6^{\circ}\text{C}$ ).

4. У холодний період 1991–2020 рр. сезонна інтенсивність (I2) зменшилася на 34.9 °С порівняно з 1961–1990рр, у ТП за аналогічний період на 18.3 °С. Річна інтенсивність (I3) у теплий період (37.7°С у 1961–1990; 17.9°С у 1991–2020) була вищою, ніж у холодний період (10.8°С у 1961–1990; 6.3°С у 1991–2020).

5. Найтривалішою (38 днів) і найінтенсивнішою (сезонна інтенсивність I2 – 149.5°С, річна I3 – 9.8°С) за період 1961–2020 рр. була хвиля холоду лютого–березня 1985 року. Вона поширилася по всій території України з температурами, які в окремі дні опускалися до –34°С у Сумській і Харківській областях.

6. Хвилі холоду на територію України переважно поширюються з півночі, північного сходу або заходу під впливом стійких синоптичних утворень, таких як Сибірський чи Скандинавський антициклони, або арктичного повітря, із найнижчими температурами (до –30°С і нижче) у центральних (Черкаська) і північних (Київська, Сумська, Чернігівська) областях.

7. У теплий період хвилі холоду спостерігаються рідше (у холодний період за 1961–2020 рр. зафіксовано 252 випадків, у теплий – 226 випадків), проте за показником річної інтенсивності вони є більш інтенсивними – 7.4°С , ніж у холодний – 2.0°С). Проте під час ХХ 2000 року середня інтенсивність I3 становила 9.5°С, тривалість – 8 днів, що підтверджує можливість значних похолодань навіть влітку.

8. Тенденція до зменшення частоти, тривалості та інтенсивності хвиль холоду, особливо після 1980-х років, підтверджує вплив глобального потепління, що проявляється в скороченні кількості подій (наприклад, відсутність хвиль у теплий період у 2010, 2012, 2014, 2018 роках) і послабленні їх інтенсивності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abhinav W., Yadav B. Cold Waves and its Management in India. Senior Consultant, NDMA. <https://ndma.gov.in/sites/default/files/NL-Dec23/images/article1.pdf> (дата звернення: 18.11.2024).
2. Adolphus I., Akinbobola A., Balogun A. Evaluation of Heat and Cold wave events over West Africa. *Scientific Research Journal*. 2021. Vol. 9. P. 22-37. DOI: 10.31364/SCIRJ/v9.i09.2021.P0921879.
3. Assessment of the Observed Extreme Conditions during Late Boreal Winter 2011/2012. *World Meteorological Organization (WMO)*. Geneva: WMO, 2012. 30 p. URL: [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=14504](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=14504) (дата звернення: 18.11.2024).
4. Athira K. S., Attada R., Rao V. B. Synoptic Dynamics of cold waves over North India: Underlying mechanisms of distinct cold wave conditions. *Weather and Climate Extremes*. 2024. Vol. 43. 100641. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2024.100641>.
5. Barnett A. G., Hajat S., Gasparrini A., Rocklöv J. Cold and heat waves in the United States. *Environ Res*. 2012. Vol. 112. P. 218-224. DOI: 10.1016/j.envres.2011.12.010.
6. Beck H., Zimmermann N., McVicar T., Vergopolan N., Berg A., Wood E. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*. 2018. Vol. 5. 180214. DOI: 10.1038/sdata.2018.214.
7. Belarus, Russia, Ukraine and Moldova: Severe Weather : Final Report for DREF Bulletin no. MDR67001 / International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. Geneva : IFRC, 2006. 9 p. URL: <https://www.ifrc.org/docs/appeals/06/MDR67001final.pdf> (дата звернення: 18.11.2024).
8. Bitencourt D., Fuentes M., Franke A., Silveira R., Alves M. The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. *International Journal of Climatology*. 2019. Vol. 40. DOI: 10.1002/joc.6345.

9. Ceccherini G., Russo S., Ameztoy I., Hernandez C., Carmona-Moreno C. Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South Dunn ica. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*. 2015. Vol. 3. DOI: 10.5194/nhessd-3-7379-2015.
10. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); eds. s. Solomon S., Qin D., Manning M. et al. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2007. — 996 с. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/> (дата звернення: 19.11.2024).
11. Cold Wave. *American Meteorological Society. Glossary of Meteorology*. URL: [https://glossary.ametsoc.org/wiki/Cold\\_wave](https://glossary.ametsoc.org/wiki/Cold_wave) (дата звернення: 19.11.2024).
12. Cold Waves. *International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies*. URL: <https://www.ifrc.org/our-work/disasters-climate-and-crises/what-disaster/cold-waves> (дата звернення: 19.11.2024).
13. Díaz-Poso A., Lorenzo N., Ezpeleta A., Royé D. Cold wave intensity on the Iberian Peninsula: Future climate projections. *Atmospheric Research*. 2023. Vol. 295. 107011. DOI: 10.1016/j.atmosres.2023.107011.
14. Dizerens C., Lenggenhager S., Schwander M., Buck A., Foffa S. The 1956 Cold Wave in Western Europe. In: Brönnimann, S. (Ed.) *Historical Weather Extremes in Reanalyses*. *Geographica Bernensia*. 2017. G92. P. 101-111. DOI: 10.4480/GB2017.G92.09.
15. Dunn R. J. H. et al. 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). e2019JD032263. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JD032263>.
16. Eurowinter Group. Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions

- of Europe. *Lancet*. 1997. Vol. 349. P. 1341-1346. PMID: 9149695. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9149695/> (дата звернення: 19.11.2024).
17. 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. Cold spells linked with respiratory disease hospitalization, length of hospital stay, and hospital expenses: Exploring cumulative and harvesting effects. *Sci Total Environ*. 2023. Vol. 863. 160726. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.160726.
18. Gasparrini A., Guo Y., Hashizume M., Lavigne E., Zanobetti A., Schwartz J., Tobias A., Tong S., Rocklöv J., Forsberg B., Leone M., De Sario M., Bell M. L., Guo Y. L., Wu C. F., Kan H., Yi S. M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho M., Saldiva P. H., Honda Y., Kim H., Armstrong B. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet*. 2015. Vol. 386, No. 9991. P. 369-375. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)62114-0.
19. Gupta A. K., Sood A., Chondol T., Sethi S., Barwal A., Kishore J. Temperature Related Disasters: Heat & Cold Wave. Implications for Health Adaptation & Resilience. New Delhi: National Institute of Disaster Management, 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.11732.53121.
20. Heat and Cold Wave Index (HCWI). Copernicus European Drought Observatory (EDO). URL: [https://drought.emergency.copernicus.eu/data/factsheets/factsheet\\_heatColdWaveIndex\\_gdo.pdf](https://drought.emergency.copernicus.eu/data/factsheets/factsheet_heatColdWaveIndex_gdo.pdf) (дата звернення: 18.11.2024).
21. Hüdaverdi G., Osman E., Başak Y., Serhat Ş., Ali Ümran K., Yusuf Ç. Projected trends in heat and cold waves under effect of climate change. 8th Atmospheric Sciences Symposium - ATMOS 2017. Istanbul, 2017. URL: <https://mgm.gov.tr/FILES/iklim/yayinlar/2017/14.pdf> (дата звернення: 18.11.2024).

22. India Meteorological Department. Dos and Don'ts for Cold Wave. URL: [https://www.imdagrimet.gov.in/Files/Dos\\_Donts/Cold%20wave\\_Dos\\_and\\_Donts.pdf](https://www.imdagrimet.gov.in/Files/Dos_Donts/Cold%20wave_Dos_and_Donts.pdf) (дата звернення: 18.11.2024).
23. Lavaysse C., Cammalleri C., Dosio A., van der Schrier G., Toreti A., Vogt J. Towards a monitoring system of temperature extremes in Europe. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2018. Vol. 18. P. 91-104. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-91-2018>.
24. Nguyen C., Nguyen M.-H., Nguyen T. The impact of cold waves and heat waves on mortality: Evidence from a lower middle-income country. *Health Economics.* 2023. Vol. 32. DOI: [10.1002/hec.4663](https://doi.org/10.1002/hec.4663).
25. O'Connor J. F. The weather and circulation of January 1963: One of the most severe months on record in the United States and Europe. *Monthly Weather Review.* 1963. Vol. 91(4). P. 209-218. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1963\)091<0209:TWAC0J>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1963)091<0209:TWAC0J>2.3.CO;2).
26. Osadchyi V., Skrynyk O., Sidenko V., Aguilar E., Guijarro J., Szentimrey T., Skrynyk O., Bihari Z., Palamarchuk L., Oshurok D., Kravchenko I., Pinchuk D. Climuad: Observation-based gridded daily climate data for Ukraine, 1946-2020. *Geoscience Data Journal.* 2025. Vol. 12(2). DOI: <https://doi.org/10.1002/gdj3.70000>.
27. Pinchuk D. B., Zatula V. I. Cold waves in Ukraine in 2001-2020. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2023. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520198>.
28. Serrano-Notivol R., Lemus-Canovas M. Heat and cold waves in mainland Spain: origins, characteristics, and trends. *Weather and Climate Extremes.* 2022. DOI: [10.1016/j.wace.2022.100471](https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100471).
29. Smid M., Russo S., Costa A. C., Granell C., Pebesma E. Ranking European capitals by exposure to heat waves and cold waves. *Urban Climate.* 2019. Vol. 27. P. 388-402. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.12.010>.

30. Tomczyk A. M., Bednorz E., Półrolniczak M. et al. Strong heat and cold waves in Poland in relation with the large-scale atmospheric circulation. *Theor Appl Climatol*. 2019. Vol. 137. P. 1909-1923. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2715-y>.
31. Tomczyk A. M., Bednorz E. Thermal stress during heat waves and cold spells in Poland. *Weather and Climate Extremes*. 2023. Vol. 42. 100612. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100612>.
32. Tomczyk A. M., Shevchenko O., Matzarakis A. Biometeorological conditions during cold spells in south-east Poland and west Ukraine. *Int J Biometeorol*. 2023. Vol. 67. P. 2025-2036. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02559-4>.
33. Twardosz R., Kossowska-Cezak U., Pełech S. Extremely Cold Winter Months in Europe (1951-2010). *Acta Geophysica*. 2016. Vol. 64. DOI: 10.1515/acgeo-2016-0083.
34. UK Government. Cold weather plan for England. 2020. p. 71 URL: [https://www.gloshospitals.nhs.uk/media/documents/UKHSA\\_Cold\\_Weather\\_Plan\\_for\\_England.pdf](https://www.gloshospitals.nhs.uk/media/documents/UKHSA_Cold_Weather_Plan_for_England.pdf) (дата звернення: 18.11.2024).
35. Van Oldenborgh G. J., Mitchell-Larson E., Vecchi G. A., de Vries H., Vautard R., Otto F. Cold waves are getting milder in the northern midlatitudes. *Environmental Research Letters*. 2019. Vol. 14, No. 11. 114004. DOI: 10.1088/1748-9326/ab4867.
36. Weather Warnings: Cold Wave. China Meteorological Administration. URL: [https://www.cma.gov.cn/en/DisasterMitigation/HazardsAndPrevention/201203/t20120320\\_166805.html](https://www.cma.gov.cn/en/DisasterMitigation/HazardsAndPrevention/201203/t20120320_166805.html) (дата звернення: 18.11.2024).
37. Wibig J., Podstawczyńska A., Rzepa M., Piotrowski P. Cold waves in Poland - frequency, trends and relationships with atmospheric circulation. *Geographia Polonica*. 2009. Vol. 82(1). P. 47-59. DOI: <https://doi.org/10.7163/gpol.2009.1.4>.
38. WMO. Guidelines on the Definition and Monitoring of Extreme Weather and Climate Events. World Meteorological Organization (WMO). 2023. WMO-No. 1310. URL: <https://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/documentsGUIDELINESONTHEDEFINT>

[IONANDMONITORINGOFEXTREMEWEATHERANDCLIMATEEVENTS\\_09032018.pdf](#) (дата звернення: 18.11.2024).

39. Zuzak C., Goodenough E., Stanton C. National Risk Index Technical Documentation. Federal Emergency Management Agency, Washington DC. 2023. URL: [https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema\\_national-risk-index\\_technical-documentation.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_national-risk-index_technical-documentation.pdf) (дата звернення: 18.11.2024).

## ДОДАТКИ

Додаток А.

## Кількість хвиль холоду по роках.

Рік	Загальна кількість	Теплий період	Холодний період	Рік	Загальна кількість	Теплий період	Холодний період
1961	6	2	4	1991	7	2	5
1962	11	5	6	1992	9	6	3
1963	9	1	8	1993	8	4	4
1964	10	5	5	1994	6	2	4
1965	12	6	6	1995	10	4	6
1966	5	3	2	1996	11	4	7
1967	10	2	8	1997	13	7	6
1968	12	7	5	1998	9	3	6
1969	13	6	7	1999	4	2	2
1970	8	5	3	2000	5	4	1
1971	11	5	6	2001	6	3	3
1972	8	3	5	2002	7	3	4
1973	12	6	6	2003	9	4	5
1974	9	7	2	2004	7	5	2
1975	3	2	1	2005	8	3	5
1976	17	8	9	2006	7	1	6
1977	11	5	6	2007	3	2	1
1978	16	10	6	2008	4	2	2
1979	10	5	5	2009	6	4	2
1980	11	5	6	2010	3	0	3
1981	7	3	4	2011	6	3	3
1982	14	6	8	2012	4	0	4
1983	11	3	8	2013	5	1	4

1984	9	5	4	2014	3	0	3
1985	9	5	4	2015	4	2	2
1986	10	6	4	2016	3	2	1
1987	13	9	4	2017	4	3	1
1988	7	3	4	2018	4	0	4
1989	9	5	4	2019	1	1	0
1990	5	4	1	2020	4	2	2
1961- 1990	298	147	151	1991- 2020	180	79	101
Загальна кількість				478			
Холодний період				252			
Теплий період				226			