

**ПРОЄКЦІЇ ХВИЛЬ ТЕПЛА У ПІВНІЧНИХ ОБЛАСТЯХ УКРАЇНИ ДО
КІНЦЯ 21 СТОЛІТТЯ**

ЗМІСТ

ВСТУП.....	2
РОЗДІЛ 1. ХВИЛЯ ТЕПЛА – ЯК АТМОСФЕРНЕ ЯВИЩЕ.....	4
1.1 Основні критерії визначення хвиль тепла та їх характеристики.....	4
1.2 Хвилі тепла – як прояв глобальних кліматичних змін.....	6
1.3 Проекції хвиль тепла на основі RCP-сценаріїв.....	7
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКЦІЇ ХВИЛЬ ТЕПЛА У ПІВНІЧНИХ ОБЛАСТЯХ УКРАЇНИ.....	12
3.1 Загальна характеристика ХТ у референтний період (1991–2020 рр.).	12
3.2 Проекції ХТ на найближчу перспективу (2011–2040 рр.).....	15
3.3 Проекції ХТ на середньострокову перспективу (2041–2070 рр.).....	19
3.4 Проекції хвиль тепла на віддалену перспективу (2071–2099 рр.).....	24
ВИСНОВКИ.....	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31

ВСТУП

Актуальність роботи. За результатами останніх досліджень [2, 16, 20], хвилі тепла (ХТ) є одними з основних індикаторів глобальних кліматичних змін.

Зважаючи на нерівномірне потепління клімату України в сучасний період [29], північні області України, де спостерігається інтенсивне зростання температури повітря та повторюваності атмосферних явищ, які з ним пов'язані, є одними з найбільш вразливих. Розташовані переважно у зоні Мішаних лісів, області є домівкою для багатьох представників Червоної книги України і важливим аграрним центром. Оскільки дослідження свідчать про зростання частоти хвиль тепла в північних областях, вивчення їх очікуваної повторюваності та характеристик до кінця століття набуває високої актуальності. Інформація щодо проявів хвиль тепла у місяці року, в які можуть спостерігатися високі температури повітря, є необхідною для адаптації екосистем та галузей економіки північних областей до зміни клімату, а також допоможе мінімізувати негативний вплив спеки на мешканців, допомогти уникнути додаткових смертей, спричинених мега-хвилями тепла у майбутньому.

Метою роботи є встановлення тенденцій зміни характеристик хвиль тепла у північних областях України до кінця XXI століття.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні **завдання даного дослідження**:

1. Проаналізувати вітчизняні та зарубіжні наукові публікації, присвячені тематиці хвиль тепла: вивчити основні підходи до визначення ХТ, методології створення проєкцій ХТ;
2. Створити базу даних максимальної добової температури повітря для Півночі України на основі симуляцій за проєктом EURO-CORDEX за двома траєкторіями концентрацій парникових газів – RCP 2.6 та RCP 8.5;
3. Ідентифікувати випадки ХТ та розрахувати їх характеристики для трьох прогностичних періодів: 2011–2040 рр., 2041–2070 рр. та 2071–2099 рр.;

4. Проаналізувати та представити графічно очікувані зміни повторюваності ХТ та їх характеристик до кінця XXI століття за двома RCP-сценаріями.

Об'єктом дослідження є хвилі тепла північних областей України.

Предметом дослідження динаміка змін характеристик хвиль тепла до кінця XXI століття для двох кліматичних сценаріїв (RCP 2.6 та 8.5) на території північних областей України.

Методи дослідження і вихідна інформація. Для дослідження проєкцій ХТ та їх характеристик на території України були використані дані, отримані за допомогою симуляції МОНС-HadGEM2-ES, що належить до проєкту EURO-CORDEX [4]. Роздільна здатність сітки використаної симуляції становить 0,22 градуси. Дане дослідження базувалося на двох сценаріях траєкторій концентрації парникових газів – RCP 2.6 та RCP 8.5. Була використана інформація щодо максимальної добової температури за травень–вересень 1991–2099 рр. На основі максимальної добової температури були ідентифіковані випадки хвиль тепла та розраховані їхні характеристики: середня та максимальна тривалість ХТ (у днях) і середня та максимальна інтенсивність (з використанням індексу HWMId) для трьох прогностичних періодів: 2011–2040 рр., 2041–2070 рр. та 2071–2099 рр. В якості референтного періоду обрано 1991–2020 рр.

Розрахунки виконано на персональному комп'ютері за допомогою програми «Microsoft Excel». Візуалізація отриманих результатів здійснена з використанням програмного забезпечення «Surfer».

Структура роботи. Дослідницька робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (44 найменування). Загальний обсяг роботи становить 46 сторінок. Робота проілюстрована 21 рисунком.

РОЗДІЛ 1. Хвиля тепла – як атмосферне явище

1.1. Основні критерії визначення хвиль тепла та їх характеристики

Хвиля тепла (ХТ) — це атмосферне явище синоптичного масштабу, яке триває протягом певного часу, проявляється у вигляді аномально спекотної, сухої погоди на великій території [41]. На сьогоднішній день існує багато підходів для визначення ХТ. Існують визначення з абсолютними і відносними температурними порогами, а також визначення, що відрізняються тривалістю періоду з температурами, що перевищують граничні значення, після яких спекотний період вважається хвилею тепла.

Визначення з фіксованими абсолютними температури використовують нідерландські учені [44] – хвилею тепла називається спекотна погода, що триває мінімум 5 днів, з максимальною температурою понад $+25^{\circ}\text{C}$, до яких належать як мінімум 3 «тропічних» дні з максимальною температурою повітря вище $+30^{\circ}\text{C}$.

Я. Киселі [13], для дослідження ХТ у Чехії використовує визначення, що ґрунтується на аналізі двох граничних температур – T_1 та T_2 ($T_1 = +30,0^{\circ}\text{C}$ і $T_2 = +25,0^{\circ}\text{C}$). У своїй роботі [13], хвилею тепла автор називає період, який характеризується максимальною добовою температурою повітря, яка є вищою ніж T_1 мінімум 3 послідовні дні; середньою максимальною температурою повітря, яка за весь період є вищою ніж T_1 ; максимальною температурою повітря, що не опускається нижче T_2 .

Група європейських вчених на чолі з С. Руссо [24] використовують метод відносних температурних порогів, базуючись на розрахунках 90-відсоткової ймовірності добового максимуму у центрі 31-денного проміжку. У своїх роботах [24, 25] учені пропонують ідентифікувати хвилі тепла спеціально розробленими метеорологічними індексами – HWMІ (Heat Wave Magnitude Index, з англ. – індекс магнітуди (величини) хвилі тепла) та більш досконалого HWMId (Heat

Wave Magnitude Index Daily, з англ. – денний індекс магнітуди хвилі тепла). Обчислення такого індексу як HWWMI – багатоетапний процес [25], при якому кожна ХТ розкладається на кратну кількість підхвиль. Магнітуда кожної хвилі тепла визначається сумою магнітуд відповідних підхвиль, які її формують. Індекс HWWMI є більш точним та досконалим, а також, як зазначають автори [25], пристосований для використання в умовах глобальних змін клімату.

Згідно визначення, рекомендованого Всесвітньою Метеорологічною організацією (ВМО) – хвилею тепла вважається період, протягом якого максимальна добова температура повітря понад 5 послідовних днів перевищує середню максимальну температуру повітря на 5 °C (або на 9° F), цього дня по станції за період 1961–1990 рр. [34].

Шевченко О.Г. та Сніжко С.І., досліджуючи проблематику методологічних підходів для ідентифікації ХТ [44], зазначають, що відмінність у практичному використанні абсолютних або граничних температурних меж полягає у тому, що перші можуть використовуватися лише у випадку досліджень на незначних територіях, де спостерігаються подібні або ж ідентичні метеорологічні умови. Температурний режим різних регіонів України суттєво відрізняється тому при проведенні дослідження хвиль тепла в межах всієї території України використовувати визначення з фіксованими граничними температурами буде не зовсім правильно.

При дослідженні ХТ, їх проявів та наслідків, важливим завданням є аналіз їх характеристик, основними з яких є тривалість ХТ (у днях) та інтенсивність.

З метою характеристики тривалості ХТ досить поширеним є використання Індексу тривалості хвилі тепла (ІТХТ) (Heat Wave Duration Index (HWDI), у днях), вперше представлений П. Фрічем та ін. [7]. Під час використання ІТХТ, як правило, розраховують його значення для кожного року, а потім аналізують зміни тривалості ХТ за певний часовий проміжок. Проте такий метод є результативним за наявності значної вибірки – кількості випадків ХТ. В окремих дослідженнях (якщо кількість ХТ є незначною), розраховують лише середню та

максимальну тривалість хвиль тепла за весь період спостережень по кожній станції [42].

Для представлення інтенсивності ХТ використовуються різні методи: значення кумулятивних T_{max} та T_{min} [44], а також індекси HWWI (Heat Wave Magnitude Index) та HWMId (Heat Wave Magnitude Index daily).

1.2. Хвилі тепла – як прояв глобальних кліматичних змін

Наприкінці ХХ – на початку ХХІ ст. світове наукове співтовариство дійшло висновку, що на Землі відбуваються значні кліматичні зміни, які відчутно впливають на сучасне суспільство [41]. За даними Національного управління океанічних і атмосферних досліджень США (NOAA), середня температура повітря на Землі у 2020 році була на 1,02 градуса вищою за середнє значення періоду з 20-х років до початку 21 століття [1]. Для України за даними В.О. Балабух [36] середня річна температура повітря за 1991–2010 рр. зросла на 0,8°C відносно кліматичної норми, при цьому окремо для літнього сезону середня температура літнього сезону зросла на 1,1°C, а максимальна на 1,3°C.

Зростання температури на планеті супроводжується зростанням частоти прояву явищ, пов'язаних з високими температурами, включно з ХТ. Екстремальні ХТ спостерігалися в Центральній Європі влітку 1994 року [32], в червні та серпні 2003 року [18, 19, 23], в червні та липні 2006 року [13], влітку 2010 року [24], влітку 2015 року [10].

Дослідження хвиль тепла за багаторічний період, свідчить про зростання частоти прояву цього атмосферного явища в різних частинах території України за останні десятиліття [41–43, 27]. Найпотужнішою хвилею тепла для території України з 1961 року вважається ХТ 2010 року [27]. Тривалість ХТ дуже відрізнялася в різних регіонах – для Луганська вона становила 24 дні, для Генічеська – 7 днів, а на території західних областей ХТ взагалі не була зафіксована. Значення кумулятивної T_{max} коливалися від 12,5°C у Вінниці до 127,5°C у Луганську. Досить високі значення інтенсивності спостерігалися

також у Києві – 108,6°C та Харкові – 117°C. Шевченко О. Г. [42] зазначає, що аномальна спека була спричинена так званим «блокуючим антициклоном», який сприяв збереженню стійкого характеру погоди не тільки на території України, а й у сусідніх державах.

Хвиля тепла літа 2015 р. була тривалою та дуже інтенсивною в Європі і спричинила велику кількість смертей, пов'язаних зі спекою, в країнах, де вона спостерігалася. За різними джерелами, кількість людських жертв від потужної ХТ 2003 р. оцінюється від 20 до 70 тис. осіб, коли максимальне значення $HWMId$, за методикою Руссо [24], становило 44,7. У Швейцарії, Італії, Німеччині та частково Іспанії її прояв почався у червні, тривалість у багатьох містах становила близько 30 днів, а завершилась ХТ у кінці липня [24]. В Австрії, Словаччині, Хорватії, Румунії та в західній частині території України, ХТ почалася в кінці липня, триваючи до кінця першої декади серпня.

1.3. Проекції хвиль на основі RCP-сценаріїв

Прогностичні моделі є важливим інструментом для передбачення майбутніх проявів хвиль тепла. Створення проєкцій хвиль тепла на віддалену перспективу ґрунтується на тих же підходах [26, 31, 38], які використовують для проєкцій полів приземної температури повітря, а саме – на різних кліматичних сценаріях. Такі сценарії створюються різноманітними підходами: від простих ідеалізованих експериментів до інтегральних оціночних моделей. Вони імітують майбутні кліматичні умови, беручи до уваги різні фактори, такі як викиди парникових газів, моделі атмосферної циркуляції та характеристики поверхні землі.

Стандартний набір сценаріїв, що використовуються в П'ятому оціночному звіті Міжнародної групи експертів зі змін клімату (AR5), мають назву Репрезентативних Траєкторій Концентрацій – RCP (Representative Concentration Pathways). RCPs – це чотири траєкторії концентрації парникових газів, прийняті у 2014 році: RCP2.6, RCP4.5, RCP6, та RCP8.5, які названі за можливою величиною радіаційного форсингу у 2100 р. у порівнянні із значеннями в

доіндустріальний період (+2.6, +4.5, +6.0 та +8.5 Вт/м²) [11]. За їх допомогою, маючи початкові дані, можна оцінити модель прогнозованої кліматичної зміни, на основі припущень щодо економічної діяльності, джерел енергії, зростання населення та інших соціально-економічних факторів [33]. Основними чинниками, які визначають зміни антропогенних викидів парникових газів, є економічний і демографічний розвиток, спосіб життя та зміни у поведінці; пов'язані зі змінами в споживанні енергії та землекористуванні, технологіями та кліматичною політикою, які досі невизначені.

Слово «репрезентативний» означає, що кожна траєкторія (RCP) представляє лише один з багатьох можливих сценаріїв, які можуть призвести до конкретних характеристик радіаційного впливу. Термін "шлях" у даній аббревіатурі підкреслює, що інтерес представляють не тільки довгострокові рівні концентрації, але й траєкторія з конкретним часом для досягнення цього результату [17].

RCP-сценарії активно використовуються для побудови проєкцій клімату, а також ХТ для різних регіонів світу. Гайтан та ін. [8] виявили, що за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 протягом 21-го століття середня інтенсивність хвиль тепла зросте майже на 2°C, а тривалість хвиль тепла та холоду збільшиться на 7 днів наприкінці століття для Арагону (Іспанія). Проєкції ХТ для території Франції, які ґрунтуються на RCP сценаріях, для двох прогнозних тридцятирічних періодів (2021–2050 рр. та 2071–2100 рр.) показали, що очікується значне збільшення кількості ХТ, їх тривалості інтенсивності для цієї країни у ХХІ ст. [20].

П. Кішоре з колегами [12], ґрунтуючись на даних кліматичних проєкцій, встановили, що площа суші, яка постраждає від хвиль тепла в Індії у ХХІ ст. буде суттєво зростати з кожним роком, а порівняння даних прогнозного періоду 2045–2099 рр. та історичного 1961–2005 рр. свідчить, що ймовірність виникнення екстремальних ХТ збільшиться у 5–20 разів згідно сценарію RCP4.5 і значно суттєвіше згідно сценарію RCP8.5.

Прогнози ХТ для Франції у 21 столітті [20], що базуються на RCP сценаріях, для двох прогнозних тридцятирічних періодів (2021–2050 рр. та 2071–2100 рр.)

показали, що на території країни очікується чітке збільшення кількості ХТ, а також їх тривалості та інтенсивності.

Результати проєкцій ХТ можуть бути основою для більш глибоких досліджень теплового навантаження на людей у майбутньому, можуть бути використані для створення Системи оповіщення про спеку, що може завдати шкоди здоров'ю (англ. – Heat Health Warning System (HHWS)) окремих територій та плану адаптації до зміни клімату, планування заходів з адаптації до теплового стресу під час ХТ тощо.

РОЗДІЛ 2. Характеристика вихідних даних та методика дослідження

Грунтуючись на огляді існуючих методів для ідентифікації випадків ХТ, в даному дослідженні для визначення хвиль тепла нами використані наступні критерії: хвиля тепла – це період з шести і більше спекотних днів, де спекотний день – це день з максимальною температурою повітря вище 90-го перцентиля (отриманий на основі добових максимальних значень температури для кожної точки за референтний період 1991–2020 рр. [34]).

Для дослідження хвиль тепла на півночі України в даному дослідженні була використана територія Житомирської, Київської, Чернігівської та Сумської областей, що згідно розпорядження Державного комітету України з гідрометеорології від 20.03.1997 № 14 «Про термінологію територіального поділу України в прогнозах і попередженнях», позначається терміном «північні області».

Для дослідження проєкцій ХТ та їх характеристик на території України були використані дані, отримані за допомогою симуляції МОНС-HadGEM2-ES, що належить до проєкту EURO-CORDEX [4]. Роздільна здатність сітки використаної симуляції становить 0,22 градуси. Для створення проєкцій хвиль тепла північних областей України було обрано 213 точок регулярної сітки (рис. 2.1).

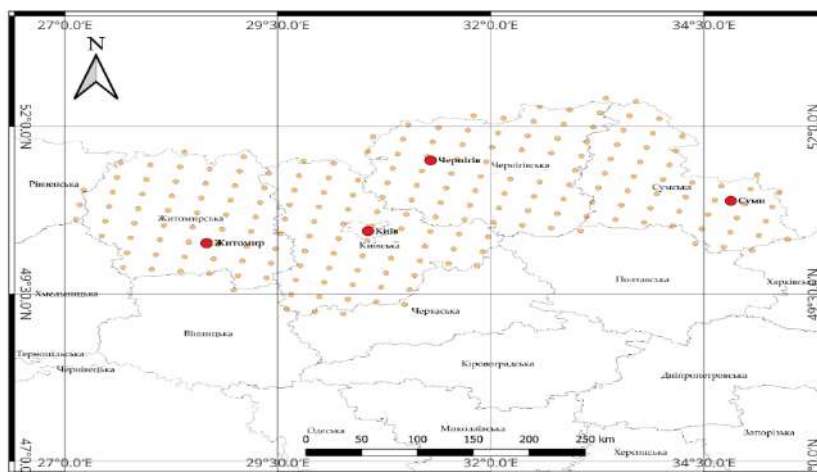


Рис. 2.1 Розташування вузлів регулярної сітки по території північних областей України

Проекції ХТ у даній роботі ґрунтується на двох сценаріях траєкторій концентрації парникових газів – RCP 2.6 та RCP 8.5. Сценарій RCP 2.6 передбачає обмеження викидів парникових газів шляхом впровадження суворої політики з енергоефективності та використання альтернативних джерел енергії. Він спрямований на запобігання глобального потепління на рівні менше 2°C по відношенню до доіндустріального періоду. Цей сценарій [4] закликає до скорочення викидів вуглекислого газу до 2020 року та їх повної відсутності до 2100 року.

Сценарій RCP 8.5 є «найгіршим» сценарієм зміни клімату та передбачає траєкторію високих викидів парникових газів [4], насамперед від спалювання викопного палива та вирубки лісів, що призведе до значного збільшення концентрації вуглекислого газу (CO₂) та інших парникових газів в атмосфері.

Для розрахунків інтенсивності хвиль тепла було обрано індекс HWMId, розроблений європейськими вченими на чолі з С. Руссо [24, 25]. Математично, HWMId є сумою величин послідовних днів, що формують ХТ, з добовою періодичністю і є більш точним, оскільки його розрахунок враховує інтенсивність екстремальних температур, адаптований для використання в умовах глобальної зміни клімату.

Для кожної точки регулярної сітки були розраховані наступні параметри: кількість випадків ХТ, середня та максимальна тривалість ХТ (у днях), середня та максимальна інтенсивність (з використанням індексу HWMId).

Результати проєкцій ХТ представлені у вигляді серії карт для трьох прогностичних періодів за сценаріями RCP 2.6 та 8.5: найближчої перспективи – 2011–2040 рр.; середньострокової перспективи – 2041–2070 рр.; віддаленої перспективи – 2071–2099 рр.

В якості референтного періоду обрано 1991–2020 рр. Варто зазначити, що проєкції хвиль тепла були розраховані для періоду травень–вересень, оскільки саме в ці місяці хвилі тепла становлять найбільшу небезпеку для здоров'я людей, окремих видів економічної діяльності та екосистем.

Візуалізація отриманих результатів здійснена з використанням програмного забезпечення «Surfer». Розрахунки виконано на персональному комп'ютері за допомогою програми «Microsoft Excel».

РОЗДІЛ 3. Проекції ХТ у Північних областях України

3.1. Загальна характеристика ХТ у референтний період (1991–2020 рр.)

Для референтного періоду 1991–2020 рр. кількість ХТ по території північних областей змінювалася з діапазоні від 52 до 74 випадків (рис. 3.1). Максимальні значення спостерігалися на території Житомирської області, особливо у її північно-західній частині. Окрім цього, дещо вища, порівняно з іншими частинами досліджуваної території, кількість ХТ спостерігалася у південній частині Київської області – 65–68 випадків. Найменша кількість ХТ у референтний період спостерігалася у Чернігівській та Сумській областях. На більшій частині території цих областей кількість ХТ становила 52–58 випадків.

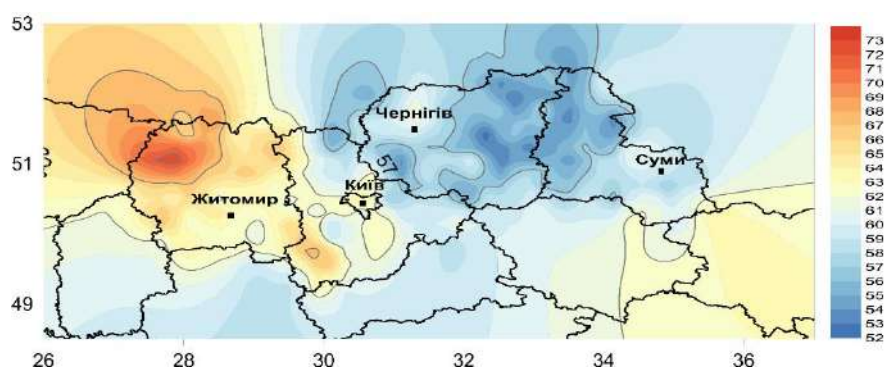


Рис. 3.1 Кількість випадків ХТ по території Північних областей України за 1991–2020 рр.

Середня тривалість ХТ за референтний період становить 8,7–10,3 днів (рис. 3.2). Максимальні значення середньої тривалості ХТ спостерігалися на сході Чернігівської області, де становили від 9,7 до 10,1 днів, та у центральній частині Сумської області – 9,7–10 днів. Не зважаючи на максимальну кількість випадків ХТ у Житомирській та Київській областях, середня тривалість ХТ тут загалом менша, ніж у східній частині північних областей. Найменші значення, а саме 8,7 днів спостерігалися у центральній частині Житомирської області, а також у м. Києві.

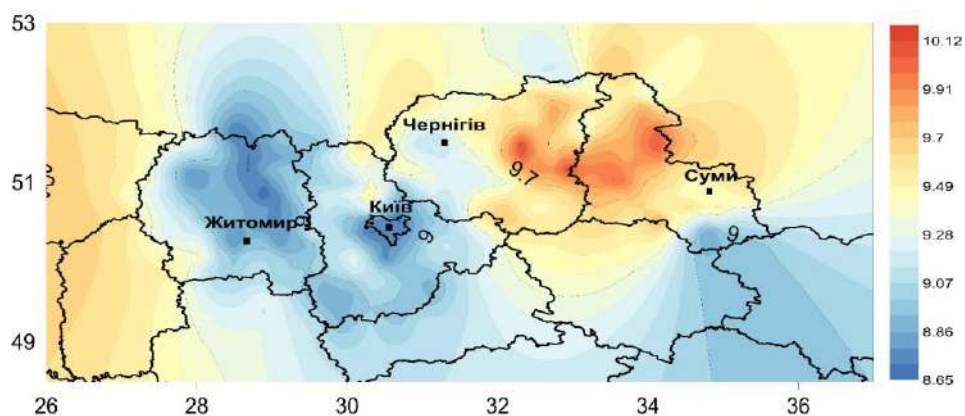


Рис. 3.2 Середня тривалість ХТ по території північних областей України за 1991–2020 рр.

Максимальна тривалість ХТ для північних областей України у референтний період становила від 16 до 60 днів (рис. 3.3). Найвищі значення цього показника спостерігалися на території Житомирської області – 52–60 днів. Достатньо високими були значення даної характеристики для західної частини території Київської області – 46–50 днів. Найнижча максимальна тривалість ХТ спостерігалася у м. Києві, а також у зоні міської агломерації (16–20 днів).

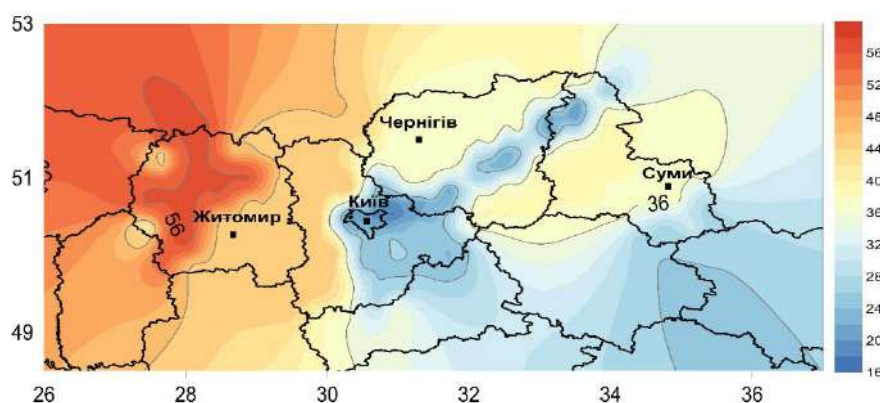


Рис. 3.3 Максимальна тривалість ХТ по території північних областей за 1991–2020 рр.

Територія Чернігівської та Сумської областей у референтний період характеризувалися значеннями максимальної тривалості близькими до середніх по досліджуваній території – 24–36 днів.

Інтенсивність ХТ за базовий період у середньому становила від 20,8 до 26,4 одиниць індексу НWMId (рис. 3.4).

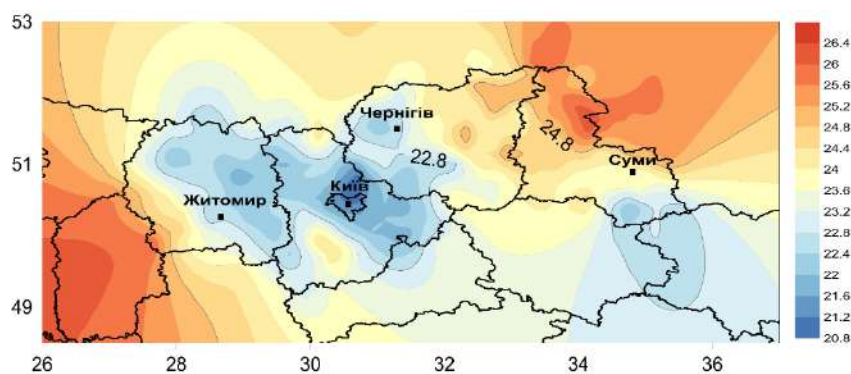


Рис. 3.4 Середня інтенсивність ХТ по території північних областей у 1991–2020 рр.

Найвищі значення спостерігалися на південному заході Житомирської (25,2) та на північному сході Сумської (24,8–26,4) областей. Підвищені значення інтенсивності ХТ спостерігалися на більшій частині Чернігівської області, з максимальним значенням індексу 24,8 одиниці. Найменшою середня інтенсивність була у межах Київської та частині Житомирської областей – 20,8–22,8 одиниці, з найменшим показником 20,8 у м. Києві.

Розподіл значень максимальної інтенсивності ХТ є досить сильно схожим до розподілу значень максимальної тривалості ХТ за референтний період (рис. 3.5). Для більшої частини території північних областей діапазон значень максимальної інтенсивності становив від 85 до 155 одиниць. Найвищі значення були характерні для західної частини території північних областей, а саме для Житомирської області, де коливалися від 185 до 225 одиниць. Найнижчі максимальні значення індексу спостерігалися у західній частині Київської області – від 55 до 95 одиниць.

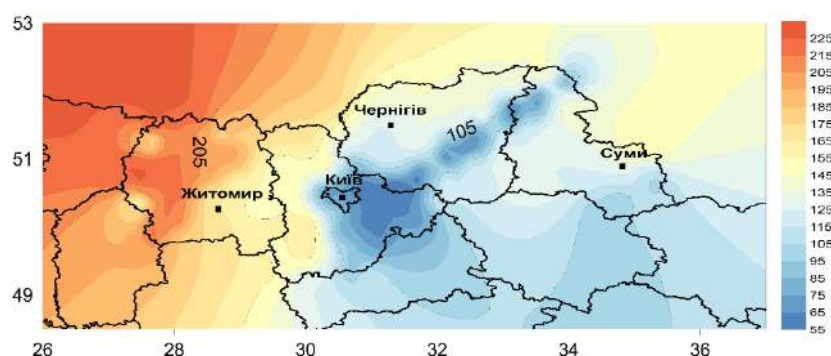


Рис. 3.5 Максимальна інтенсивність ХТ по території північних областей у 1991–2020 рр.

Отже, за референтний період (1991–2020 рр.) найбільша кількість ХТ спостерігалася у Житомирській області, де найвищими були також значення максимальної тривалості та інтенсивності. Для західної та центральної частини території північних областей були характерними мінімальні значення середньої і максимальної тривалості та інтенсивності ХТ, при цьому значною була повторюваність ХТ. Для північно-східної та східної частини території північних областей переважна більшість характеристик була близькою до середніх значень, з рідкісними винятками у вигляді локальних максимумів у кількох точках.

3.2. Прогнози ХТ на найближчу перспективу (2011–2040 рр.)

Вже починаючи з 2011–2040 рр. очікується зростання повторюваності випадків ХТ (рис 3.6). За сприятливого сценарію (RCP 2.6), найбільше зростання очікується в південній частині Київської та у центральній частині Чернігівської областей, з максимальним збільшенням кількості ХТ до 18 випадків, порівняно з референтним періодом (рис 3.6, а). Кількість випадків ХТ по території північних областей в середньому становитиме майже 67 випадків за тридцятирічний період, що на 7 випадків більше, порівняно з референтним, проте зростання буде нерівномірним по території. У Сумській області також очікується незначне зростання кількості ХТ – в середньому на 5–7 випадків. На північ від Житомира очікується деяке зменшення повторюваності ХТ – приблизно до 5 випадків за тридцятирічний період.

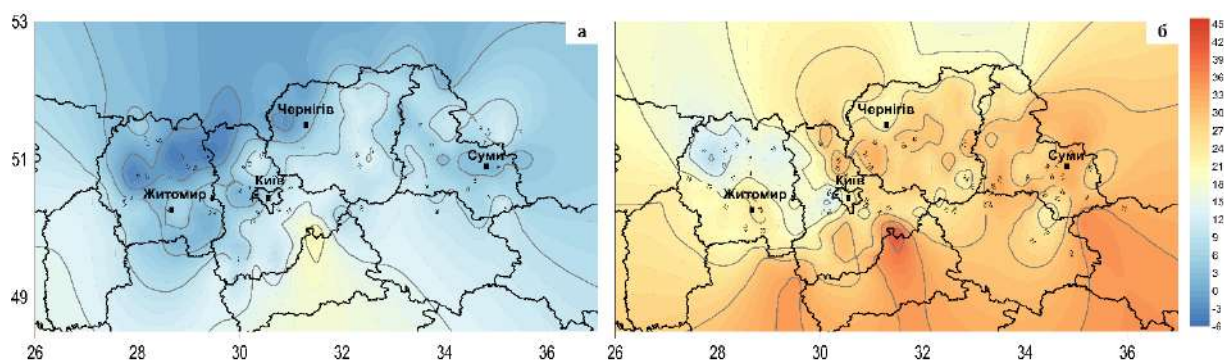


Рис. 3.6 Аномалії кількості випадків ХТ на найближчу перспективу (2011–2040 рр.) порівняно з базовим періодом для сценаріїв RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

За несприятливого сценарію (RCP 8.5) очікується зростання повторюваності ХТ в середньому приблизно на 25 випадків для північних областей (рис. 3.6, б). Найсуттєвіше зростання очікується на території Київської та Сумської областей (рис. 3.6, б), з максимальним відхиленням від референтного періоду у південній частині Київської області, де значення зростуть на 45 випадків. Найменші зміни очікуються у Житомирській області, особливо у її північній частині (очікується зростання на 11–16 випадків).

Очікується, що середня тривалість ХТ в 2011–2040 рр. суттєво не зміниться. За сприятливим сценарієм цей показник максимально збільшиться на 0,9 дня (рис. 3.7, а), а діапазон змін по досліджуваній території становитиме від -1,2 до +0,9 днів. Територія на якій очікується збільшення середньої тривалості включає Житомирську, Київську та північну частину Чернігівської областей. Значення середньої тривалості ХТ зменшиться (відносно референтного періоду) в центральній та східній частині Чернігівської області на -0,4 та -1,2 дні, відповідно.

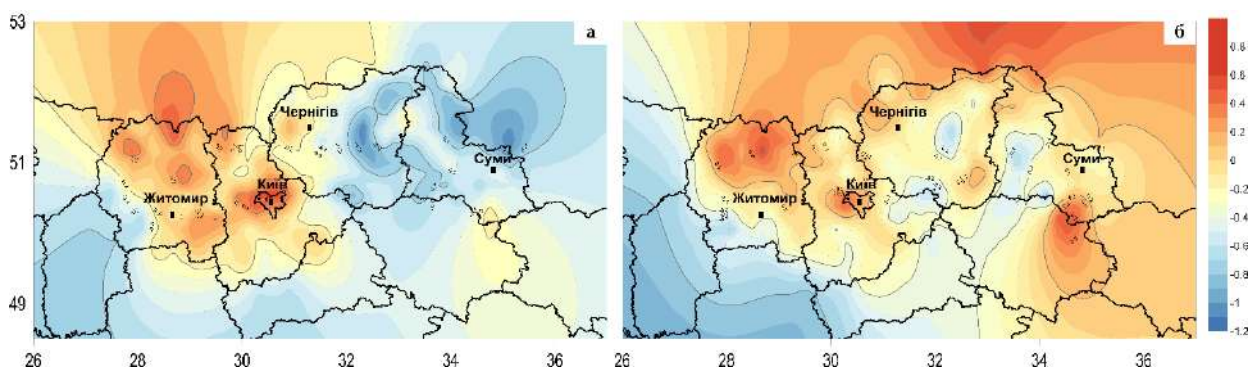


Рис. 3.7 Аномалії середньої тривалості ХТ на найближчу перспективу (2011–2040 рр.) порівняно з базовим періодом для сценаріїв RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

За сценарію RCP 8.5 ситуація дещо відрізнятиметься. Зменшення середньої тривалості ХТ очікується лише локально в певних точках сітки (відхилення від референтного періоду становитиме -0,6 дня) (рис. 3.7, б). На решті території північних областей значення середньої тривалості ХТ буде зростати. Для Житомирської області значення середньої тривалості ХТ зросте на 0,5–0,9 дня,

для Київської – на 0,1–0,6 дня, для Чернігівської – 0,2–0,4 дня (локально), для Сумської – 0,3–0,7 дня.

В період 2011–2040 рр. за сценарієм RCP 2.6 очікується зменшення максимальної тривалості ХТ майже по всій досліджуваній території. Виключенням є центральна частина території Київської області та території на північний схід від м. Києва, де збільшення характеристики відносно референтного періоду сягають 10–12 днів; окремі території в Чернігівській та Сумській області, де очікуються збільшення, що не перевищують 10 днів (рис. 3.8, а). Найбільше зниження максимальної тривалості ХТ очікується в Житомирській області – до 40–42 дні. Загалом максимальна тривалість ХТ в північних областях знизиться в середньому на 13.7 днів та очікується на рівні 25 днів.

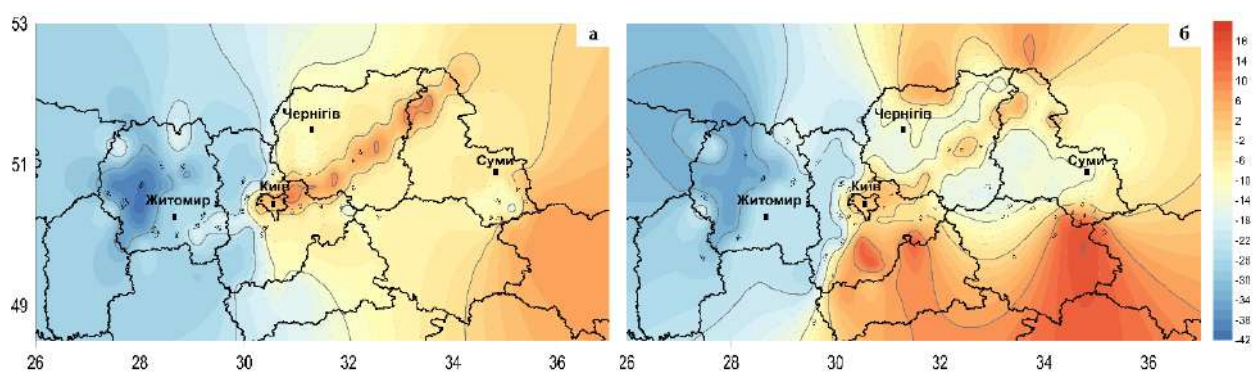


Рис. 3.8 Аномалії максимальної тривалості ХТ на найближчу перспективу (2011–2040 рр.) порівняно з базовим періодом для сценаріїв RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

За сценарію RCP 8.5 зростання максимальної тривалості ХТ охоплює більші території, ніж за сценарію RCP 2.6 (рис. 3.8, б). Область зменшення значень даної характеристики співпадає з аналогічною областю за сценарієм RCP 2.6. Очікуване зменшення максимальної тривалості ХТ тут не перевищує 35 днів і в середньому для Північних областей зменшиться на 13.3 дня (і становитиме 25.5 дні).

За сприятливого сценарію (RCP 2.6) в 2011–2040 рр. очікуються ХТ різної інтенсивності (рис. 3.9, а). Для більшої частини території північних областей

України характерним буде зменшення інтенсивності ХТ, порівняно з референтним періодом. Найкраще це буде виражено на заході Житомирської області. При порівнянні індексу HWMId, його значення будуть меншими від референтного періоду на 1,1–3,1 одиниці для Чернігівської, на 1,7–2,7 для Сумської та 0,3–0,7 для Київської областей.

За несприятливого сценарію (RCP 8.5) вже починаючи з 2011–2040 рр. очікується зростання середньої інтенсивності ХТ (рис. 3.9, б) для більшої частини території північних областей. Найбільші аномалії очікуються в окремих частинах території, в межах кожної з областей, з максимумом – на Сумщині – (3,5 одиниці за індексом HWMId). На заході Житомирської області очікується зниження середньої інтенсивності (на 2 одиниці), порівняно з референтним періодом.

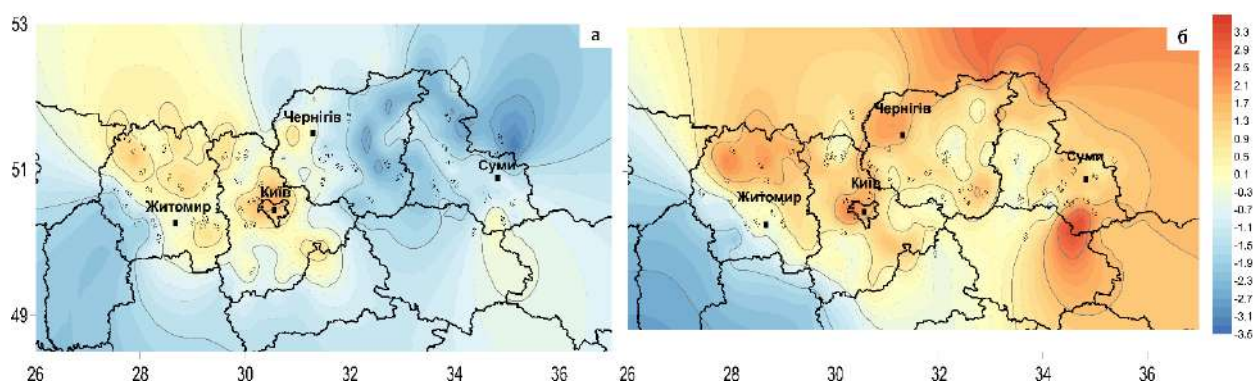


Рис. 3.9 Аномалії середньої інтенсивності ХТ на найближчу перспективу (2011–2040 рр.) порівняно з базовим періодом для сценаріїв RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

Очікувані значення максимальної інтенсивності ХТ на досліджуваній території збільшуються з заходу на схід. У період 2011–2040 рр. очікується деяке зменшення інтенсивності ХТ на більшій частині території північних областей (рис. 3.10, а). За сприятливим сценарієм (RCP 2.6) зниження спостерігатиметься в межах більшої частини території, окрім декількох локальних зон (м. Київ та окремі райони Чернігівської області (рис. 3.10, а). Найбільший спад очікується на заході Житомирської області, де відхилення від референтного періоду становить від -110 до -180 одиниць. Загалом за сценарієм RCP2.6 в період 2011–

2040 рр. для північних областей очікується зниження максимальної інтенсивності ХТ.

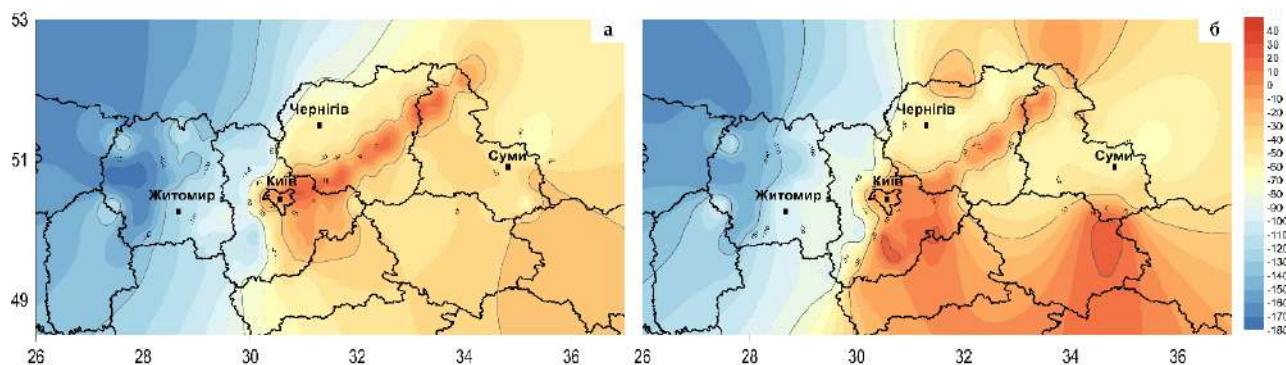


Рис. 3.10 Аномалії максимальної інтенсивності ХТ на найближчу перспективу (2011–2040 рр.) порівняно з базовим періодом для сценаріїв RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

За сценарієм RCP 8.5 зростання максимальної інтенсивності в період 2011–2040 рр. будуть помітно більшими, ніж за сценарієм RCP 2.6 (рис. 3.10, б). Найменші значення даного показника, які будуть спостерігатися на заході досліджуваної території, будуть меншими від значень у референтний період на 140 одиниць. Найбільші зміни інтенсивності ХТ очікуються у Київській області (як і за сценарієм RCP 2.6), зі збільшенням до +40 одиниць за індексом HWMId.

3.3. Прогнози ХТ на середньострокову перспективу (2041–2070 рр.)

В період 2041–2070 рр. очікується подальше зростання повторюваності ХТ. За сценарієм RCP 2.6 в північних областях України повторюваність ХТ зросте майже на 19 випадків, порівняно з референтним періодом. Виняток становить лише незначна територія на півночі Житомирської області, де приріст повторюваності ХТ буде нижчим і не перевищить 10 випадків (рис. 3.11, а). Період 2041–2070 рр. за сприятливого сценарію характеризується підвищенням кількості ХТ на майже на 40% на території північних областей.

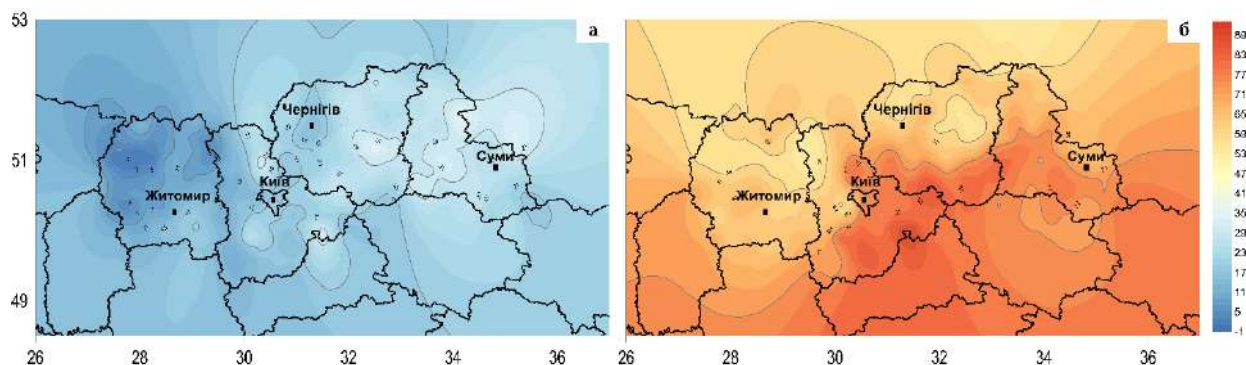


Рис. 3.11 Аномалії кількості ХТ на середньострокову перспективу (2041–2070 рр.) порівняно з базовим періодом для сценаріїв RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

За сценарієм RCP 8.5 очікується значне зростання кількості ХТ у 2041–2070 рр. Значення приросту випадків ХТ зростають з півночі на південь–південний схід досліджуваної території (рис. 3.11, б). Крім цього, найбільші значення кількості ХТ очікуються на південних околицях м. Києва, де очікується зростання повторюваності до 128,7 випадків за тридцятирічний період. За несприятливого сценарію в період 2041–2070 рр. кількість ХТ на території України зростає більше ніж в 2 рази, порівняно з референтним періодом. Очікувані зміни середньої тривалості ХТ за період 2041–2070 рр. за сприятливим сценарієм більш однорідні, порівняно з проєкціями на найближчу перспективу. В північних областях України в середньостроковій перспективі очікується зменшення середньої тривалості ХТ (рис. 3.12, а).

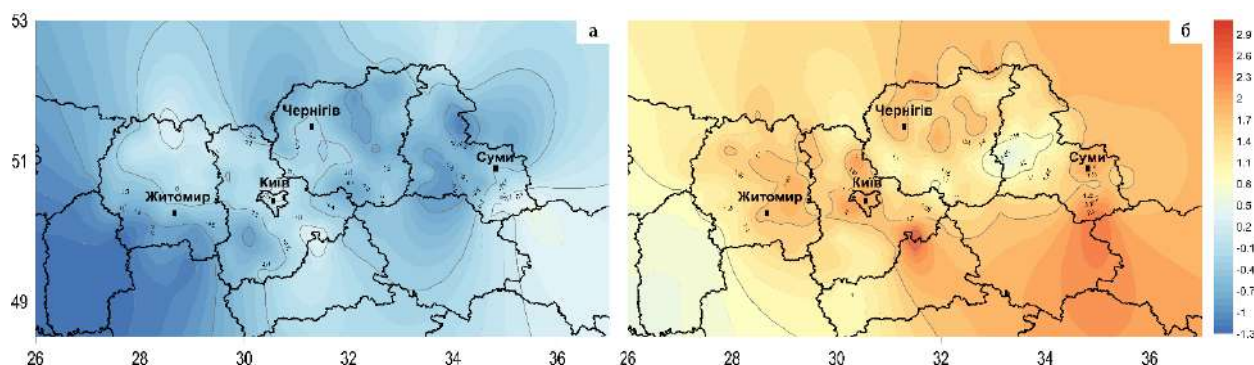


Рис. 3.12 Аномалії середньої тривалості ХТ на середньострокову перспективу (2041–2070 рр.) порівняно з базовим періодом для сценаріїв RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

Очікувані значення у середньому становитимуть 9 днів, що на 0,4 дня менше, ніж у референтний період. Найбільші відхилення у +0,1–0,3 дні будуть характерними для невеликої території на півночі Житомирської області, а також для окремих частин території в районі Києва та на північні Сумщини.

За сценарію RCP 8.5 в період 2041–2070 рр. очікується зростання середньої тривалості ХТ по всій території північних областей (рис. 3.12, б). Найбільше зростання очікується на Київщині та на півдні Сумщини, де зростання очікується в межах +2–2,6 дні. Очікуваний ріст в Житомирській області становитиме + 1,3 на заході, +1,6 у центральній частині та + 1,9 на сході. А для Чернігівської області складе до +2 для трьох локальних екстремумів на півночі, а для решти території не більше + 1,6 дні.

В період 2041–2070 рр. за сценарієм RCP 2.6 на більшій частині території північних областей України очікується зниження максимальної тривалості ХТ, відносно референтного періоду (рис. 3.13, а). Найсуттєвіше зниження (на рівні 28–36 днів) очікується в Житомирській області та на заході Київської. В районі Києва та на північний схід від нього прогнозується позитивний приріст даної характеристики (на 6–8днів).

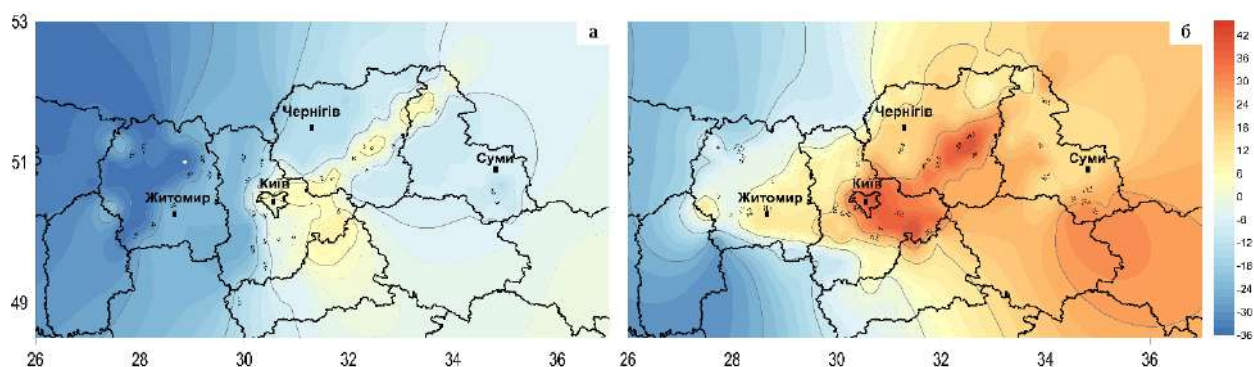


Рис. 3.13 Аномалії максимальної тривалості ХТ на середньострокову перспективу (2041–2070 рр.) порівняно з базовим періодом для сценаріїв RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

В період 2041–2070 рр. за сценарієм RCP 8.5 очікується значний ріст максимальної тривалості ХТ (виключенням є окремі території Житомирської області, де очікується зменшення до 16 днів) (рис. 3.13, б). Найвище зростання

очікується в центральній частині території північних областей, де максимальна тривалість ХТ зростатиме до + 44 днів в окремих точках. В інших областях максимальна тривалість ХТ зросте слабше, а на півночі Київської області – на +15 днів, на півночі та півдні Чернігівської області – на + 16,5–24 дні, в центральному районі Сумської області – на +19 днів. Загалом по території північних областей в середньостроковій перспективі за несприятливим сценарієм максимальна тривалість ХТ зросте приблизно на 35% відносно референтного періоду.

У період 2041–2070 рр., за сценарієм RCP 2.6 очікується рівномірний розподіл інтенсивності ХТ по досліджуваній території, з тенденцією до зменшення. Середнє значення індексу HWMId буде дорівнювати 22,3 одиниці, що на 0,4 одиниці менше ніж за період 2011–2040 рр., і на 1,2 одиниці менше, порівняно з референтним періодом. Найбільший спад очікується на півдні Житомирської та більшій частині Чернігівської та Сумської областей, де інтенсивність зменшиться на -4,5 одиниці за HWMId (рис. 3.14, а). Незважаючи на загальну тенденцію до зменшення інтенсивності ХТ, очікуються також невеликі локальні збільшення цього параметра (не більше + 1,5–2 одиниць): в основному у Київській області –м. Києві та на півдні території, а також на півдні Сумської області.

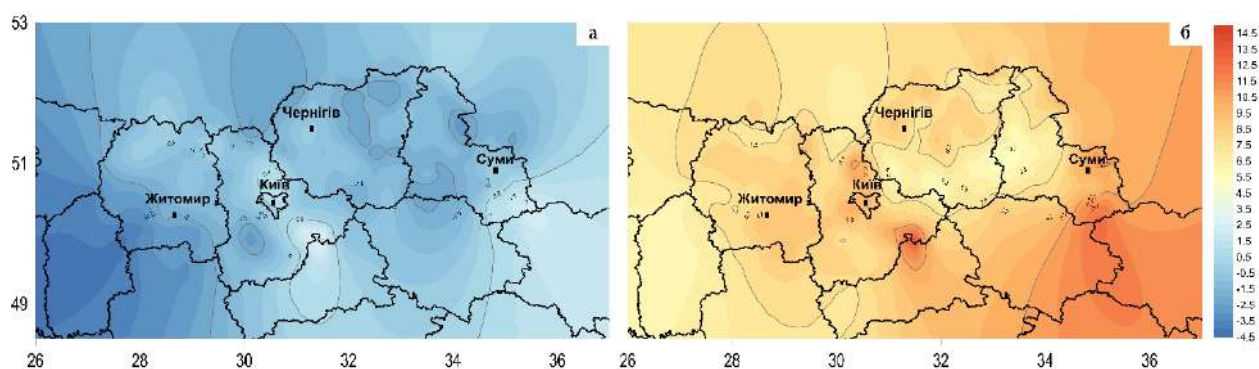


Рис. 3.14 Аномалії середньої інтенсивності ХТ на середньострокову перспективу (2041–2070 рр.) порівняно з базовим періодом для сценаріїв RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

За сценарієм RCP 8.5 середні значення інтенсивності ХТ зростають по всій території північних областей, але нерівномірно (рис. 3.14, б). Найменший приріст очікується в центральних районах Чернігівської та Сумської областей (не перевищує +7,5 одиниць). Найбільші значення середньої інтенсивності ХТ у період 2041–2070 рр. очікуються на півдні Сумської області. Порівнюючи отримані значення з референтним періодом очікуваний приріст становитиме +14 одиниць. Також варто зазначити, що такий же високий приріст спостерігатиметься в деяких районах Київської області, в деяких місцях з очікуваним приростом у +14,7 одиниць.

Зміни максимальної інтенсивності ХТ за сценарієм RCP 2.6 в 2041–2070 рр. характеризуються аналогічними тенденціями, як і в попередній прогностичний період 2011–2040 рр. (рис. 3.15, а). На території Житомирської області очікуються значні зменшення даної характеристики на -90–160 одиниць в порівнянні з референтним періодом. Територіями Київської, Чернігівської на північній частині Сумської області проходять області локальних максимумів, в яких очікується додатній приріст максимальної інтенсивності – до +8–10 одиниць. На інших територіях північних областей очікується зниження значень HWMId на 40–60 одиниць, порівняно з референтним періодом.

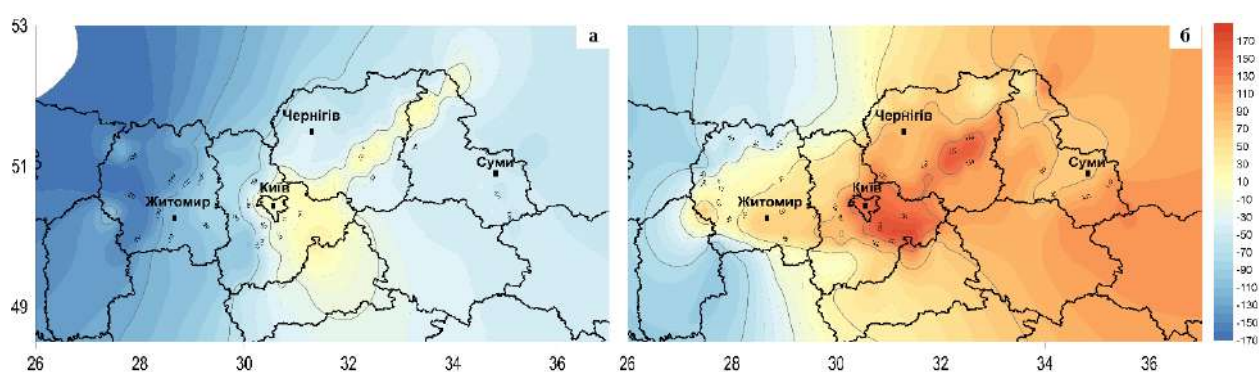


Рис. 3.15 Аномалії максимальної інтенсивності ХТ на середньострокову перспективу (2041–2070 рр.) порівняно з базовим періодом для сценаріїв RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

За сценарієм RCP 8.5 максимальна інтенсивність ХТ може значно збільшитися. Діапазон змін варіюється з -50 одиниць, порівнюючи з референтним, на Житомирщині, та до +170 одиниць у точці з найбільшим значенням у центральній частині території північних областей (рис. 3.15, б). Середнє значення максимальної інтенсивності становитиме близько 203,4 одиниць за HWMId, що в середньому на 126 одиниць перевищує значення за період 2011–2040 рр., та на 65,9 одиниць референтний період. За несприятливого сценарію в період 2041–2070 рр. максимальна інтенсивність ХТ суттєво зростає, більш того подекуди у кілька разів.

3.4. Проекції ХТ на віддалену перспективу (2071–2099 рр.)

За сценарієм RCP 2.6 розподіл повторюваності ХТ в період 2070–2099 рр. схожий до попереднього періоду. Середнє значення кількості ХТ для досліджуваної території становитиме 79,1 випадок за тридцятирічний період, що на 0,6 менше ніж за період 2041–2070 рр., але все ще вище від референтного на 18,8 випадків. Найбільші значення очікуються на півночі Київської області, де приріст становитиме до +30 випадків. Найменшими будуть значення у Житомирській області, що більші референтного періоду на 4–6 випадків (рис. 3.16, а).

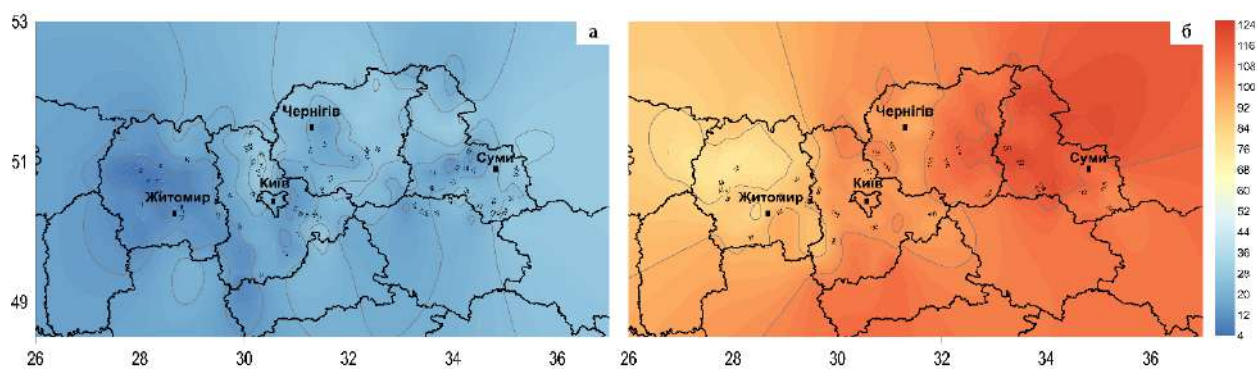


Рис. 3.16 Аномалії кількості ХТ на віддалену перспективу (2071–2099 рр.) порівняно з базовим періодом для сценаріїв RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

За сценарієм RCP8.5 в період 2070–2099 рр. по всій території північних областей очікується значне зростання повторюваності ХТ (рис. 3.16, б). На заході, де за сприятливого сценарію зміни повторюваності мінімальні, повторюваність зросте на 80–95 випадків порівняно з референтним періодом. Очікувана кількість ХТ в північних областях становитиме близько 162 випадків. Найбільший приріст кількості ХТ буде на північному сході та на сході Сумської області (+120–124 випадків), у той час коли в Київській та Чернігівських – +100–115 випадків. Загалом за несприятливого сценарію в період 2070–2099 рр. кількість ХТ на території північних областей зросте більш ніж в 2.5 рази відносно референтного періоду.

За сприятливого сценарію (RCP 2.6) в період 2071–2099 рр. середня тривалість ХТ очікується на рівні 9 днів, що на 0,1 більше ніж за період 2041–2070 рр. та є аналогічним до середнього значення за 2011–2040 рр. На території Житомирської та Київської областей очікується збільшення середньої тривалості, на + 0,3 +0,4 дні відповідно, тоді як на Чернігівщині та Сумщині очікується незначне зменшення характеристики – до -1,2 дні за тридцятирічний період (рис. 3.17, а).

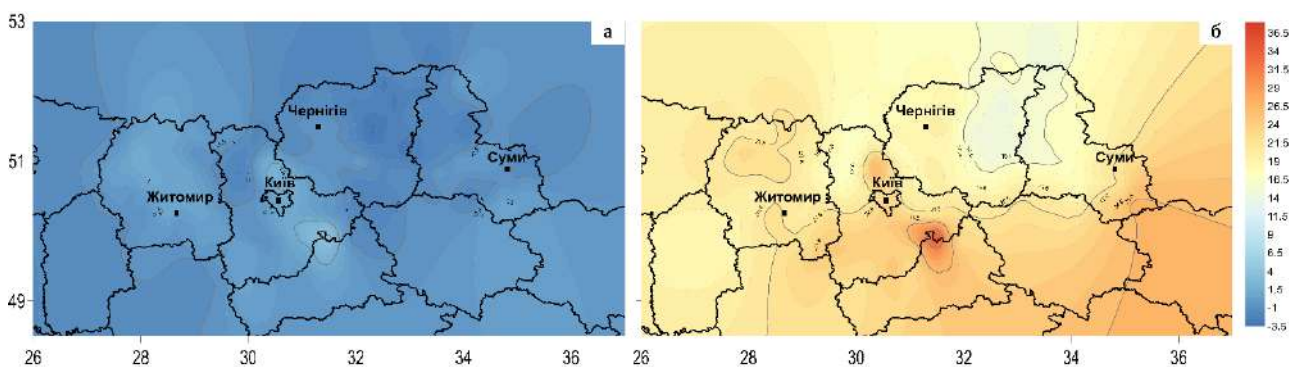


Рис. 3.17 Аномалії середньої тривалості ХТ на віддалену перспективу (2071–2099 рр.) порівняно з базовим періодом для сценарію RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

За сценарію RCP 8.5 зростання середньої тривалості ХТ продовжиться. Найбільше зростання характеристики очікується на півдні Київщини – до +8,6 днів відносно референтного періоду (рис. 3.17, б). В Житомирській області

очікується зростання середньої тривалості ХТ на 4,4–6,8 дні. Загалом, для північних областей у віддаленій перспективі за сценарію RCP 2.6 очікувані зміни середньої тривалості ХТ відносно референтного періоду будуть менше 1%, за сценарію RCP 8.5 – очікується зростання на даної характеристики майже на 50%.

В період 2070–2099 рр. просторовий розподіл максимальної тривалості ХТ за сприятливого сценарію схожий на розподіл в період 2011–2040 рр. Майже по всій території північних областей значення максимальної тривалості будуть меншими ніж значення цієї характеристики у референтний період. Для кожної області ці зниження очікуються різними (рис. 3.18, а): у Житомирській області відрізняться від референтного періоду на -22–34 дні; на заході Київської області – на -14–20 днів, на південному сході Київської області – на -2-6 днів; у Чернігівській області середнє відхилення від референтного періоду становитиме -14 днів, а для деяких окремих точок -4 дні; у Сумській області значення відрізнялися на -6–14 дні. Загалом по всій території у віддаленій перспективі за сприятливим сценарієм максимальна тривалість ХТ знизиться приблизно на 40% відносно референтного періоду.

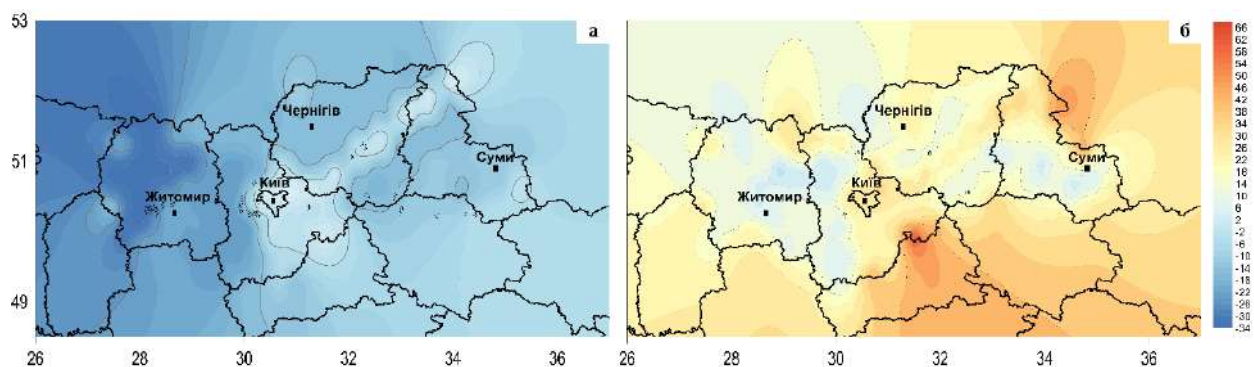


Рис. 3.18 Аномалії максимальної тривалості ХТ на віддалену перспективу (2071–2099 рр.) порівняно з базовим періодом для сценарію RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

За сценарію RCP 8.5 в період 2071–2099 рр. тренди до зростання максимальної тривалості ХТ зберігатимуться (рис. 3.18, б). Найбільші аномалії очікуються у південній частині Київської області: тут максимальна тривалість ХТ зростатиме на 66 дні в деяких точках. Порівнюючи значення максимальної

тривалості ХТ у віддаленій перспективі з референтним періодом отримаємо, що в Житомирській області зросте на 10–18 днів, в більшій частині Київської області – на 18–30 днів, в Чернігівській – на 16–26 днів, в Сумській області – на 16–24 дні, зі значним зростанням на сході цієї області – на 46–54 дні (рис. 3.18, б). На території північних областей за несприятливого сценарію у віддаленій перспективі максимальна тривалість ХТ зросте приблизно на 50% порівняно з референтним періодом.

У період 2071–2099 рр., за сценарієм RCP 2.6 для більшої частини території північних областей очікується зниження середньої інтенсивності ХТ. Виняток становлять лише окремі точки, де ця характеристика незначно зростатиме (+0,5–1,5 одиниці за тридцятирічний період). Середнє значення для всієї території становитиме 22,8 одиниць за HWMId, що більше від попередніх періодів, але все ж таки менше від референтного на -0,6 одиниць (рис. 3.19, а).

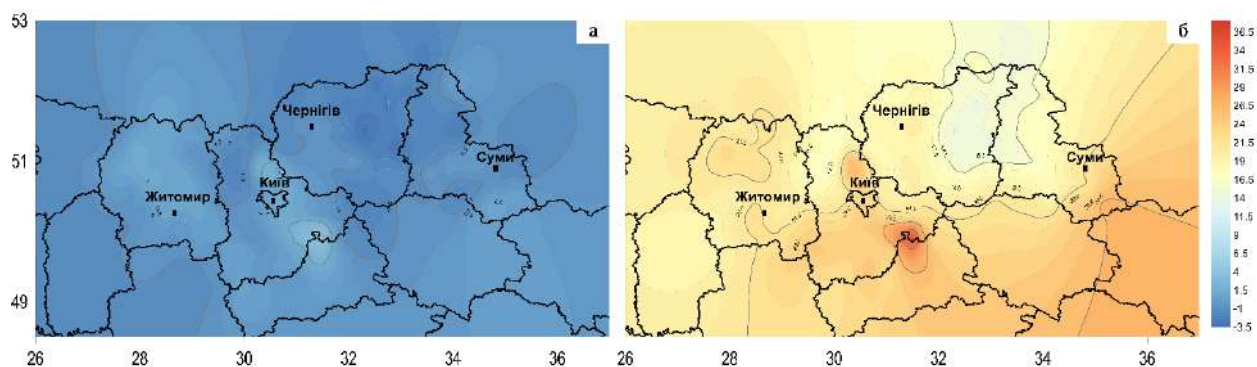


Рис. 3.19 Аномалії середньої інтенсивності ХТ на віддалену перспективу (2071–2099 рр.) порівняно з базовим періодом для сценаріїв RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

За сценарієм RCP8.5 в період 2071–2099 рр. по всій території України очікується зростання потужності ХТ (рис. 3.19, б). На північному заході, де за сприятливого сценарію зміни інтенсивності мінімальні, за сценарієм RCP 8.5 інтенсивність зросте на 21–23 одиниці за HWMId, порівняно з референтним періодом. Очікуване середнє значення індексу в північних областях становитиме 43,6, що майже удвічі перевищує середню інтенсивність за референтний період. У центральній частині Київської області очікується значне збільшення інтенсивності +34–37,5, так само, як і у Житомирській і Сумській областях.

Загалом за несприятливого сценарію в період 2070–2099 рр. середня інтенсивність ХТ на території України зросте більш ніж на 40% відносно референтного періоду.

Період 2071–2099 рр. характеризується такими ж трендами, як і попередній тридцятирічний період. За сценарієм RCP 2.6 розподіл максимальної інтенсивності ХТ продовжує зменшуватися (рис. 3.20, а). Середнє значення цієї характеристики по досліджуваній території становитиме 66,4 одиниці, що майже на половину менше, ніж у референтний період. На заході очікується найбільше зменшення максимальної інтенсивності ХТ – на -140 одиниць, порівняно з референтним періодом. У центральному районі Київської області подекуди очікуються аналогічні до референтного періоду значення ХТ за HWMId. У Чернігівській та Сумській областях, максимальна інтенсивність буде приблизно однакова, а відхилення від періоду 1991–2020 рр. становитиме -60–90 одиниць.

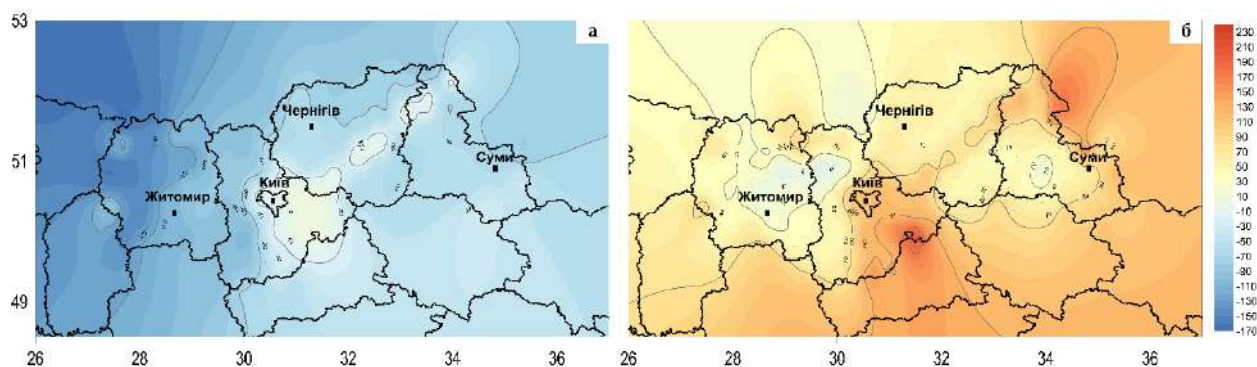


Рис. 3.20 Аномалії максимальної інтенсивності ХТ на віддалену перспективу (2071–2099 рр.) порівняно з базовим періодом для сценарію RCP 2.6 (а) та RCP 8.5 (б)

За сценарієм RCP8.5 в період 2071–2099 рр. по всій території північних областей України продовжує зростати максимальна інтенсивність ХТ (рис. 3.20, б). Усереднене значення даної характеристики становитиме 202,6 одиниць за HWMId. Найбільші значення очікуються на півдні Київської та на північному-сході Сумської областей, де зростання значень становитиме +210–220 одиниць. Загалом за несприятливого сценарію в період 2071–2099 рр. максимальна інтенсивність ХТ по всій території очікується в середньому у 1.5 рази вища, відносно референтного періоду.

ВИСНОВКИ

1. Хвиля тепла – це атмосферне явище, яке характеризується підвищеними температурами, які зберігаються на певній території протягом певного періоду. На сьогоднішній день не існує єдиних критеріїв, які б використовувалися для ідентифікації ХТ, а також – єдиних підходів до оцінки інтенсивності ХТ.

2. На основі двох прогнозних сценаріїв – RCP 2.6 та RCP 8.5, отримано проєкції та створено базу даних максимальної добової температури для травня–вересня до 2099 р. для північних областей України, ідентифіковано випадки ХТ та розраховано їх характеристики для трьох прогнозних періодів.

3. Аналіз проєкцій ХТ свідчить, що протягом ХХІ століття у північних областях України очікується зміна частоти прояву хвиль тепла, їх інтенсивності та тривалості. Зміна цих характеристик буде помітно відрізнятися як в межах досліджуваної території, так і в різні прогнозні періоди та згідно різних RCP-сценаріїв.

4. Згідно зі сценарієм RCP 2.6 у 2011–2040 рр. очікується зростання повторюваності ХТ. Середня тривалість ХТ суттєво не зміниться, в той час як максимальна – навіть почне зменшуватися майже по всій досліджуваній території. Також в цей період очікуються незначні зміни середньої інтенсивності ХТ – значення HWMId індексу варіюються в межах 20,9–24,5 одиниць. Аномалії максимальної інтенсивності знизяться майже вдвічі в середньому по території, проте в межах окремих частин території очікується зростання (до 40 одиниць індексу HWMId на сході). За сценарієм RCP 8.5, починаючи з 2011–2040 рр. очікується зростання повторюваності ХТ (в середньому на 25 для досліджуваної території), середньої тривалості та середньої інтенсивності ХТ. Зміна максимальної тривалості характеризується різнонаправленими тенденціями по досліджуваній території. Значення індексу HWMId зменшаться більше ніж на 100 одиниць, порівняно з періодом 1991–2020 рр., у західній частині досліджуваної території та збільшаться на 40 одиниць на окремих територіях Київської та Чернігівської області.

5. У середньостроковій перспективі (2041–2070 рр.) за сценарієм RCP 2.6 тенденції зміни значень параметрів хвиль тепла будуть характеризуватися зростанням їх повторюваності (майже на 19 випадків в середньому по території) та рівномірним зменшенням значень середньої та максимальної тривалості, а також – середньої та максимальної інтенсивності. За сценарієм RCP 8.5 в цьому періоді, очікується значне зростання кількості, тривалості та інтенсивності хвиль тепла. Повторюваність ХТ зросте удвічі в середньому по території, а найвищі значення очікуються в районі Києва (зростання повторюваності до 128,7 випадків за тридцятирічний період), а максимальні значення інтенсивності у деяких точках північних областей зростуть у кілька разів. Середня тривалість зросте на 1.5 дня, порівняно з референтним періодом, по досліджуваній території, а максимальна – більш ніж на 13 днів.

6. У віддаленій перспективі за сценарієм RCP 2.6 кількість хвиль тепла суттєво не зміниться, порівняно з попереднім періодом. Середня тривалість залишиться практично без змін, а максимальна знизиться приблизно на 40% відносно референтного періоду. Середня інтенсивність ХТ також дещо знизиться, а от максимальні значення очікуються на рівні майже вдвічі нижчому, ніж у референтний період ($HWMId = 66.4$ одиниць). За сценарієм RCP 8.5 по всій території північних областей очікується значне зростання повторюваності ХТ та усіх характеристик цього явища. Середня кількість ХТ у північних областях зросте більш ніж до 160 випадків за тридцятиріччя, на окремих територіях може сягнути 180 випадків, що у кілька разів перевищує значення референтного періоду. Середня тривалість ХТ по досліджуваній території підвищиться на 4.7 дня, а максимальні значення – майже на 19. Крім цього, хвилі тепла стануть більш інтенсивними, а максимальні значення можуть збільшитися майже у 1,5 відносно референтних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Buis A. The Climate Connections of a Record Fire Year in the U.S. West. URL: <https://climate.nasa.gov/ask-nasa-climate/3066/the-climate-connections-of-a-record-fire-year-in-the-us-west/>
2. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Summary for Policymakers. *Cambridge and New York: Cambridge University Press*. P. 236. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/spm-a/>
3. Climate Change Indices - Definitions of the 27 core indices. URL: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml
4. Core Writing Team, Pachauri R., Meyer L.(eds.). Climate Change 2014: Synthesis Report. *IPCC*. 2014. 151 pp. URL: https://epic.awi.de/id/eprint/37530/1/IPCC_AR5_SYR_Final.pdf
5. De Boeck H., Dreesen F., *et al.* Climatic characteristics of heat waves and their simulation in plant experiments. *Global Change Biology*. 2010. No 16. P. 1992–2000. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02049.x>
6. Ding T. Changes in hot days and heat waves in China during 1961–2007. *International Journal of Climatology*. 2010. No. 30. P. 1452– 1462. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1989>
7. Frich P., Alexander L., *et al.* Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. DOI: 10.3354/cr019193
8. Gaitana E., Monjo R., *et al.* Projection of temperatures and heat and cold waves for Aragon (Spain) using a two-step statistical downscaling of CMIP5 model outputs. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 650, Part 2. P. 2778-2795. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.352>
9. Heat Wave in the Western United States. *NASA*. 2007. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/7875/heat-wave-in-the-western-united-states>

10. Hoy A., Hansel S., *et al.* The extreme European summer of 2015 in a longterm perspective. *International Journal of Climatology*. 2016. Vol. 37. P. 943–962. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4751>
11. IPCC: Scenario process for AR5. URL: https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_r.html
12. Kishore P., Ghose B., *et al.* Anthropogenic influence on the changing risk of heat waves over India. *Scientific Report*. 2022. Vol. 12. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07373-3>
13. Kysely J. Recent severe heat waves in central Europe: how to view them in a long-term prospect? *International Journal of Climatology*. 2010. Vol. 30. P. 89–109. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1874>
14. Liu Z., Kim T., *et al.* Evaluating the climate forecast system version 2 for subseasonal-to-seasonal prediction over China. *Climate Dynamics*. 2021. No. 56. P. 2255–2273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127058>
15. Meehl G., Goddard L., *et al.* Decadal climate prediction: an update from the trenches. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2014. No. 95, Part 2. P. 243–267. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00241.1>
16. Mora C., Dousset B., *et al.* Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*. 2017. Vol. 7. P. 501–506. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate3322>
17. Moss R., Edmonds J., *et al.* The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature volume*. 2010. No. 463. P. 747–756. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature08823>
18. Nogueira P., Falcao J., *et al.* Mortality in Portugal associated with the heat wave of August 2003: Early estimation of effect, using a rapid method. *Eurosurveillance*. 2005. No. 10. P. 150–153. DOI: <https://doi.org/10.2807/esm.10.07.00553-en>
19. Ogg J. Heatwave: implications of the 2003 French heat wave for the social care of older people/ Young Foundation Working Paper No 2 October 2005 ISSN 1749 – 4311. URL: <https://youngfoundation.org/wp-content/uploads/2013/04/Heatwave-October-2005.pdf>

- 20.Ouzeau G., Soubeyroux J.-M., *et al.* Heat waves analysis over France in present and future climate: Application of a new method on the EURO-CORDEX ensemble. *Climate Services*. 2016. Vol. 4. P. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2016.09.002>.
- 21.Perkins S. A review of the methodologies used in Australian heat wave forecasting. *Meteorological Applications*. 2012. Vol. 19, No. 3. P. 313-323. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.05.014>
- 22.Perkins S., Alexander L., Nairn J. Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells. *Geophysical Research Letter*. 2012. Vol. 39. DOI: <https://doi.org/10.1029/2012GL053361>
- 23.Rebetez M., Mayer H., *et al.* Heat and drought 2003 in Europe: A climate synthesis. *Annals of Forest Science*. 2006. Vol. 63. P. 569–577. DOI: [10.1051/forest:2006043](https://doi.org/10.1051/forest:2006043)
- 24.Russo S., Fischer E., Sillmann J. Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environmental Research Letters*. 2015. Vol. 10, No. 12. P. 1-15. DOI: [10.1088/1748-9326/10/12/124003](https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/124003)
- 25.Russo S., Sillmann J., *et al.* Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 2014. Vol. 19, No. 22. P. 12500–12512. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014JD022098>
- 26.Saha S., Moorthi S., *et al.* The NCEP climate forecast system version 2. *American Meteorological Society*. 2014. Vol. 27, No. 6. P. 2185-2208. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>
- 27.Shevchenko O., Lee H., *et al.* Long term analysis of heatwaves in Ukraine. *International Journal of Climatology*. 2013. P. 3792. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3792>
- 28.Shevchenko O., Snizhko S., *et al.* Long-term analysis of thermal comfort conditions during heat waves in Ukraine. *Geographia Polonica*. 2022. Vol. 95. P. 53-70. DOI: <http://dx.doi.org/10.7163/GPol.0226>
- 29.Snizhko S., Shevchenko O., *et al.* Assessment of changes in the main climatic parameters over the territory of Ukraine during the XXI century according to scenarios based on representative concentration pathways (RCP). *XVI International Scientific Conference*

“Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”
15–18 November 2020, Kyiv, Ukraine. P. 5.

30. Taylor K., Stouffer R., Meehl G. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *American meteorological society*. 2012. P. 485 – 498. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
31. The official page for the ERFs can be found on the ECMWF website: <https://www.ecmwf.int/en/research/projects/extended-range-forecasting-system-erfs>.
32. Tomczyk A., Bednorz E. Heatwaves in Central Europe and their circulation conditions. *International Journal of Climatology*. 2016 Vol. 36. P. 770–782. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4381>
33. Wayne G.P. The Beginner`s Guide to Representative Concentration Pathways. Version 1.0. 2013. P. 25. URL: <http://climate.calcommons.org/bib/beginner%E2%80%99s-guide-representative-concentration-pathways>
34. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. *Publications Board World Meteorological Organization (WMO)*. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?expl-num_id=4166
35. Zengchao H., AghaKouchak A., Phillips T. Changes in concurrent monthly precipitation and temperature extremes. *Environmental Research Letters*. 2013. Vol. 8. P.1-7. DOI: [10.1088/1748-9326/8/3/034014](https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034014)
36. Балабух В.О. Тенденції зміни частоти та інтенсивності екстремальних гідрометеорологічних явищ на території Донецької області. URL: <http://eco.com.ua/content/tendenciyi-zmini-chastoti-taintensivnostiektremalnihgidrometeorologichnih-yavishch-na>
37. Врублевська О.О., Катеруша Г. П. Клімат України та прикладні аспекти його використання. Одеса: ОДЕКУ, 2012. 182 с.
38. Інструкція до використання моделі CESM. URL: <https://escomp.github.io/CESM/versions/cesm2.1/html/introduction.html>
39. Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. *Український географічний журнал*. 2013. №4. С. 32-29 DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.04.032>

- 40.Свінціцька Г.І, Шевченко О.Г. Дослідження хвиль тепла літнього сезону в східних областях України. *Фізична географія та геоморфологія*. 2017. № 4. С. 91-98.
- 41.Сніжко С.І., Шевченко О.Г., Свінціцька Г.І. Хвилі тепла в центральних областях України за умов сучасних змін клімату. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2018. С. 58-61. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2018.39.58-62>
- 42.Шевченко О.Г. Характеристика хвилі тепла літнього сезону 2010 р. на території України. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2012. № 262. С. 59-70.
- 43.Шевченко О. Г., Сніжко С. І. Біокліматичні умови на території України під час екстремальної хвилі тепла влітку 2010 року URL:https://www.researchgate.net/publication/355984001_Thermal_comfort_conditions_during_extreme_heat_wave_of_the_summer_2010_in_Ukraine
- 44.Шевченко О. Г., Сніжко С.І. Хвилі тепла та основні методологічні проблеми, що виникають при їх дослідженні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. №10. С. 57–63.