

С.В. Краковська¹

ORCID: 0000-0001-9972-0937
krasvit@ua.fm,

Т.М. Шпиталь¹

ORCID: 0009-0001-7731-4521
tetianashpytal@gmail.com,

А.Ю. Чигарева^{1,2}

ORCID: 0000-0003-0195-751X
achyhareva@gmail.com,

Л.А. Писаренко^{1,2}

ORCID: 0000-0002-2885-0213
lolinal@ukr.net,

Л.Ю. Криштоп^{1,3}

ORCID: 0009-0003-8863-9422
lidiia.kryshstop@gmail.com

¹ Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України

² Національний антарктичний науковий центр МОН України

³ UNIGIS, Vrije Universiteit Amsterdam, Netherlands

КЛІМАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМІЧНИХ ПЕРІОДІВ В УКРАЇНІ ДО КІНЦЯ ХХІ СТ. Частина I: ТЕПЛІЙ ПЕРІОД

Представлена стаття перша із циклу аналізу змін термічних періодів в Україні до кінця ХХІ сторіччя і присвячена аналізу характеристик теплового періоду, що визначається стійким переходом середньої добової приземної температури повітря вище за 0°C і відділяє зимовий сезон. З покращенням роздільної здатності регіональних кліматичних моделей (РКМ) та оновленням кліматичних сценаріїв виникла необхідність уточнити раніше отримані авторами характеристики теплового періоду, які є важливими передусім для сільського та лісового господарств. На основі даних бази E-OBS проаналізовано дати початку, закінчення та тривалості теплового періоду в Україні у стандартний кліматичний період 1961-1990 і зміни цих характеристик у 1991-2010. Також проводилася оцінка зміни величин у поточний 2021-2040 і майбутні періоди 2041-2060, 2081-2100 з використанням сценаріїв репрезентативних помірних (RCP 4.5) та високих (RCP 8.5) концентрацій за ансамблем 34 РКМ проекту Euro-CORDEX з просторовим кроком сітки близько 12×12 км. У цілому відповідно до кліматичних сценаріїв, тривалість теплового сезону у ХХІ ст. зростатиме на всій території України, причому ці зміни будуть більш відчутними на півночі та сході. За сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 очікується зростання тривалості теплового періоду у 2021-2040 відносно 1991-2010: від 7-14 днів на півдні до 20-23 на півночі та сході України. У період 2041-2060 за RCP 4.5 зміни будуть від 7 днів на півдні, Закарпатті та Прикарпатті, до 20-25 днів на північному сході, а за RCP 8.5 від 7-14 до 30-35 днів, відповідно. На кінець сторіччя ці зміни продовжаться, у Криму дуже ймовірно не відбудуватиметься зниження температури нижче за 0°C, тобто не буде зимового сезону. Аналіз інших термічних періодів буде представлено у наступних частинах дослідження.

Ключові слова: термічний режим, зміна клімату, репрезентативні шляхи концентрацій, проєкції кліматичних характеристик, регіональна кліматична модель (РКМ), дата стійкого переходу температури повітря.

ВСТУП

За даними спостережень за погодою, вимірів метеорологічних величин, досліджень науковців та звітів Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) клімат в останні десятиріччя зазнає стрімких змін через інтенсифікацію антропогенного впливу, який спричинив зростання концентрацій парникових газів (CO₂, CH₄, N₂O тощо), які можуть довгий час залишатися в атмосфері і спричинити все більше накопичення тепла (IPCC, 2022a, 2022b, 2023). Зокрема, в IPCC (2023) зазначено, що за останні двадцять років (2001–2020) середня глобальна приземна температура повітря була приблизно на 1,1°C вища у порівнянні з періодом 1850–1900, який вважається доіндустріальним або з відносно мінімальним антропогенним впливом. У майбутньому очікується подальше зростання температури з різними темпами залежно від сценарію соціально-

економічного розвитку (SSP) або репрезентативних шляхів концентрацій (RCP) (Kebede et al., 2018). Таке зростання середньої глобальної температури повітря вплинуло і на характеристики термічних періодів в регіонах, які визначаються за перевищенням певного порогового значення і відповідно мають початок, тривалість і закінчення, а також можна визначити суму накопичених температур за цей проміжок часу, яка визначатиме теплові ресурси території. Такі показники є спеціалізованими і мають прикладне застосування в різних галузях як економіки, зокрема сільському та лісовому господарствах, енергетиці тощо, так і в напрямках метеорології та кліматології (Клімат України, 2003; Дати переходу..., 2010; Основи агрометеорології, 2012; Краковська та ін., 2016a, 2016b; Швиденко та ін., 2018; Кліматичні ризики..., 2018; Економічна метеорологія, 2018; КМУ, 2019).

Приблизно 70% території України знаходяться під сільськогосподарськими землями (КМУ, 2022), що зумовлює значну увагу науковців та необхідність узагальнення статистичної інформації щодо дат переходу і тривалості термічних періодів із середньою добовою температурою повітря вище за 0, 5, 10 і 15°C, що відповідає тепловому періоду, періоду вегетації, активної вегетації та кліматичному літу. В Україні досить тривала історія наукових досліджень, присвячених зміні клімату як у минулому, так і в теперішньому та майбутньому, зокрема щодо дат переходу, тривалості теплого й вегетаційного періодів, а також періодів активної вегетації та літнього сезону (Сніжко та ін., 2007, 2008; Заболоцька & Скриник, 2009; Польовий & Божко, 2015; Хохлов & Єрмоленко, 2015; Польовий та ін., 2017; Краковська & Шпиталь, 2018). Методичні підходи визначення дат стійкого переходу температури повітря через певні межі було систематизовано і оцінено в Скриник & Скриник (2006), де зокрема було доведено, що кліматологічний метод із застосуванням усередненого річного ходу температури повітря має переваги для визначення усереднених значень дат у кліматичні періоди.

Проведені наукові дослідження в Україні стали основою для створення узагальнюючих робіт та довідників для агрокліматичної інформації (Клімат України, 2003; Дати переходу..., 2010; Агрокліматичний довідник..., 2011; Атлас "Агрокліматичні ресурси України, 2016). У подальшому на основі порівняльного аналізу агрокліматичних показників здійснено агрокліматичне районування за першою кліматичною нормою 1961–1990 та у період 1991–2013 (Адаменко, 2014). Більша кількість показників була включена у Атлас "Агрокліматичні ресурси України" (2016) для території України за стандартний кліматичний період 1961–1990 рр. В умовах швидкої зміни клімату в Україні (Балабух, 2018) така інформація має постійно оновлюватися, щоб мати змогу агросектору та іншим галузям економіки вчасно реагувати на ці зміни. За рекомендацією Всесвітньої метеорологічної організації уточнення стандартної кліматичної норми показників має здійснюватися кожні 10 років (WMO, 2017). Зауважимо, що в іноземній літературі для позначення періодів з температурами вище певних значень більше використовується поняття *Growing season length* (Lalic et al., 2018), а кліматичні періоди, які аналізуються в майбутньому, зменшено до 20 років очевидно через нелінійність і прискорення процесів потепління (IPCC, 2022a, 2022b, 2023).

Адаптація агросектору до зміни клімату передбачає не тільки вчасне реагування, але й розроблення стратегічних планів дій на майбутнє. Важливо при

цьому врахувати наукові дослідження щодо сценаріїв зміни клімату для території України. У дослідженні Польовий & Божко (2015) здійснено аналіз зміни характеристик теплових ресурсів для порогових значень 0, 5, 10°C за сценаріями A1B та A2, які відповідають сімейству сценаріїв CMIP3. В роботі отримано зміни між базовим періодом 1986–2005 та у найближчому майбутньому 2011–2030 і на середину сторіччя 2031–2050, де отримано підвищення теплових ресурсів як і тривалості відповідних періодів. У той же час в роботі Польовий та ін. (2017) здійснено порівняльний аналіз цих сценаріїв A1B і A2 з сімейства CMIP3 з наступним поколінням сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5 сімейства CMIP5 на період 2021–2050 у порівнянні з 1986–2005 і виявлено, що більш різкі зміни саме у вегетаційному сезоні слід очікувати за сценаріями A1B та A2.

У попередніх дослідженнях авторів (Дослідження..., 2013, Краковська & Шпиталь, 2018) використано також сценарій A1B з просторовим розділенням сітки 25×25 км для визначення дат переходу 0, 5, 10, 15°C та відповідно їхньої тривалості на основі ансамблю 6 РКМ на майбутній період 2021–2050, де також встановлено подовження періодів відносно 1981–2010 і, зокрема те, що на крайньому півдні, у Криму, до середини сторіччя може зовсім зникнути кліматична зима. Як зауважено вище, з розвитком кліматичних моделей і появою детальніших даних та сценаріїв, також виникає необхідність і є доцільним уточнити чи доповнити раніше отримані результати.

Метою представленої роботи є встановлення та аналіз зміни характеристик теплого періоду за детальними даними ансамблю РКМ Міжнародної ініціативи Euro-CORDEX на найближче майбутнє 2021–2040, середину сторіччя 2041–2060 і кінець сторіччя 2081–2100 відносно базового періоду 1991–2010. У наступних частинах дослідження будуть представлені результати аналізу проєкцій термічних режимів вегетаційного періоду, періоду активної вегетації рослин і кліматичного літа, а також інших спеціалізованих кліматичних показників, зокрема континентальності клімату.

ДАНИ ТА МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ

Для оцінок зміни показників термічних періодів впродовж XXI сторіччя використовувалися добові дані приземної температури повітря з Міжнародного Координованого експерименту з масштабування для Європи Euro-CORDEX (Jacob et al., 2014) в межах проєкту глобального моделювання CMIP5 (Taylor et al., 2012, WCRP, 2011), які були розраховані за двома сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 до 2100 року з високою роздільною здатністю 0,1° і пройшли корекцію

відхилень методами квантильного відображення (Breakout group..., 2015). На момент початку проведення дослідження лише для 34 РКМ співпадали набори даних для обох сценаріїв серед доступних на веб-порталі <https://esgf-node.ipsl.upmc.fr/search/cordex-ipsi/>. Оскільки одним із поставлених завдань було саме порівняти отримані значення характеристик термічних періодів між сценаріями, в дослідженні використовувався ансамбль саме з 34 наборів даних РКМ ідентичних за іншими параметрами.

В якості базових використовувалися дані ансамблевої реалізації Європейської бази E-OBS версії 20.0e (Cornes et al., 2018, <https://www.ecad.eu/download/ensembles/download.php>) за період 1991–2010. Цей період було обрано виходячи із декількох міркувань. По-перше, він розпочинається відразу після першого кліматичного періоду ВМО 1961–1990, який може слугувати як референтний в умовах відносно стабільного минулого клімату і для якого проведено багато оцінок показників у тому числі і тих, які розглядаються в даному дослідженні, і тому доцільно було визначити як змінилися ці показники нещодавно, що й було виконано. З іншого боку, на момент початку цього дослідження ще не закінчився наступний 30-річний період 1991–2020, більше того, в період після 2010, а особливо після анексії Криму і східних територій в 2014 році, з України до розробників бази E-OBS надходило набагато менше даних гідрометеорологічних станцій, і відповідно якість інтерпольованих у вузли детальної сітки даних значно знизилася. І ще одним вагомим аргументом вибору саме 20-річних періодів у дослідженні, що співпадає з методичними підходами МГЕЗК, було те, що не виконується головна вимога, за якою раніше ВМО (WMO, 2017) визначала норми — стаціонарність процесів, оскільки зміна клімату пришвидшується, і вже температура повітря зростає не лінійно на таких довгих періодах як 30 років (IPCC, 2023).

Для визначення тривалості, а також дат (порядкового дня року) початку термічних періодів використовувалася функція `esa_gsl` пакетного програмного продукту CDO (Climate Data Operator) (Schulzweida, 2019), яка на основі даних про середню добову температуру повітря визначала дати стійкого переходу через порогове значення навесні, коли вперше після 1 січня у північній півкулі шість і більше діб поспіль температура повітря його перевищувала, а восени навпаки — коли вперше після 1 липня у північній півкулі шість днів поспіль була менше за порогове значення термічного періоду. Розрахунки проводилися у всіх точках розрахункової сітки (більше за 7300 вузлів у межах України) у пе-

ріоди минулого 1961–1990 і 1991–2010 за даними E-OBS і для кожної РКМ у кожен з трьох майбутніх 20-річних періодів і базовий 1991–2010. Зміни визначалися як різниці таких багаторічних середніх значень у три майбутні періоди (2021–2040, 2041–2060, 2081–2100) з базовим періодом 1991–2010 знову ж для кожної РКМ, а потім усереднювалися за ансамблем із 34 РКМ.

Перевірка просторових розподілів середніх місячних значень тривалості термічних періодів, отриманих за ансамблем РКМ у базовому періоді 1991–2010, виявила незначні відхилення від значень E-OBS (Розроблення..., 2021). Для отримання абсолютних значень показників у три майбутні періоди була застосована корекція відхилень ансамблів РКМ адитивним методом шляхом додавання різниць значень для майбутніх періодів відносно базового за сценаріями до значень бази даних E-OBS v20.0e у той самий базовий період 1991–2010, як представлено в Паламарчук & Краковська (2018) і Розроблення... (2021). Раніше також оцінювалося і зазначалися певні похибки в базі даних E-OBS для показників середніх місячних температур та опадів (Шедеменко та ін., 2012). Тому використання E-OBS в якості базових має певні обмеження, а результати мають сприйматися з урахуванням вище зазначених відомих проблем і похибок. Тому більший ступінь довіри мають отримані зміни характеристик у майбутні періоди відносно базового за даними РКМ.

База даних E-OBS мала практично те саме просторове розділення $0,1^\circ$, що і ансамбль обраних моделей з певними відмінностями через дещо різні географічні проєкції і переважно вздовж берегової лінії очевидно через різницю в масках узбережжя Чорного та Азовського морів в E-OBS та РКМ. Тому для розрахунків, які потребували обох наборів баз даних, виконувалися перерахунки в одну координатну сітку РКМ, а для представлення у вигляді карт у подальшому корекція відбувалася засобами геоінформаційної системи QGIS.

Результати представлялися у вигляді карт, які побудовано за допомогою пакетів GIS Surfer 13.0, а також QGIS 3.28. Також, картографічні дані підготовлені в інтерактивному інтерфейсі у вигляді електронного атласу за допомогою JavaScript-бібліотеки Leaflet з можливістю паралельного порівняння двох карт, побудованих на різних наборах даних. Отримані просторово-часові розподіли характеристик представлено далі у вигляді наборів карт, які аналізувалися візуально.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХНІЙ АНАЛІЗ

Тривалість теплового періоду. У кліматичний період 1961–1990 років мінімальна кількість днів

теплого періоду (220–240) відмічалась лише у високогір'ях Карпат (рис. 1). Тривалість у 240–260 днів була на північному сході країни: північно-східних районах Чернігівської, північних Харківської та Луганської, на значній території Сумської області (крім півдня) та у південній частині Карпат. Значна територія протяжністю зі сходу до західних областей країни та північно-західні Карпати мали 260–280 днів теплого сезону, далі на захід та південь — 280–300 днів: у Львівській, Івано-Франківській, Чернівецькій областях (крім гірських районів), у західній частині Волинської, південних районах Вінницької та Донецької, Кіровоградській та Дніпропетровській (за виключенням їх північних районів), Запорізька (крім Приазов'я) та окремі осередки Київської та Черкаської областей. У північній частині Одеської області, Миколаївській та Херсонській (окрім південно-західного району), Приазов'ї Запорізької, у Кримських горах та Закарпатті теплий період тривав 300–320 днів. У південній частині Одеської, південному заході Херсонської, на Кримському півострові — 320–340, у західній та південній частині Керченського півострова — 340–360 днів.

Протягом 1991–2010 років відмічалось зростання тривалості теплого періоду в Україні відносно кліматичної норми 1961–1990 (рис. 1). Території з тривалістю 260–280 днів, які у 1961–1990 роках охоплювали значну площу України, у 1991–2010 спостерігались лише на крайньому північному сході (північній та східній частинах Сумської, північному сході Чернігівської, окремих осередках півночі Харківської областей) та південно-східній частині Карпат (мінімально, 240–260 днів, на високогір'ях). Значно зросла площа з тривалістю 280–300 днів: всі області Східного регіону, Північного та, переважно, Центрального, а також північно-західної частини Карпат та Прикарпаття. Тривалість у 300–320 днів спостерігалась в областях Західного регіону (за винятком Карпат, Закарпаття та сходу Хмельницької області), а також у південній частині Вінницької, Дніпропетровської та Донецької областях, центральних районах Черкаської, сході Кіровоградської, переважно Миколаївській, Херсонській, Запорізькій областях, північних районах Одеської та Кримських горах. Збільшилась територія, де значення тривалості складають 320–340 днів: значна площа Одеської області, південні райони Миколаївської та Запорізької, південні частини Херсонської, АР Крим. Тривалість 340–360 днів відмічалась лише в осередку на південному заході Кримського півострова, а на Керченському півострові майже зникла, спостерігалась лише вздовж південного узбережжя.

У короткостроковій перспективі (2021–2040 роки) тривалість теплого періоду за сценарієм RCP 4.5

зростатиме (рис. 1). Теплий сезон з мінімальною кількістю днів (240–280) очікується лише в Карпатах. У східній та північно-східній частині країни прогнозується 280–300 днів: у Сумській, Харківській, Донецькій, Луганській областях, північній та східній частинах Чернігівської, на значній площі Полтавської, на північному сході Дніпропетровської; у центральних районах Кіровоградської, осередках на півночі Вінницької та заході Тернопільської, а також на схилах Карпатських гір. 320–340 днів триватиме теплий сезон у Закарпатті, осередках на сході Чернівецької та заході Львівської, у південній частині Одеської, південних районах Херсонської і Запорізької областей, над акваторією Каховського водосховища та в АР Крим за виключенням центральних районів, де очікується максимально 340–360 днів. На решті території країни прогнозується 300–320 днів теплого періоду.

За сценарієм RCP 8.5 для періоду 2021–2040 років отримано практично аналогічний розподіл тривалості теплого сезону (рис. 1).

За сценарієм RCP 4.5, у 2041–2060 роках найменша кількість днів теплого сезону (240–260) очікується у високогір'ях південно-східної частини Карпат, на решті території гірської країни отримано 280–300, крім осередку на північному заході, де очікується 260–280 теплих днів (рис. 1). Територія з теплим періодом у 280–300 днів на північному сході країни зменшиться і охоплюватиме Харківську, Луганську (за винятком їх окремих районів з 300–320 днями), Сумську області, північно-східні та східні райони Чернігівської, Полтавської та Донецької. На значній території України прогнозується 300–320 днів. Збільшаться території з теплим сезоном тривалістю у 320–340 днів. На заході такий процес відбуватиметься у Закарпатській низовині, осередку на заході Львівської області, в районі, що охопить південь Хмельницької, схід Чернівецької та крайній південний захід Вінницької, на півдні — у південній частині Одеської області, південно-східній Миколаївської, південно-західному районі Запорізької, акваторії Каховського водосховища, північно-східній частині Криму та Кримських горах. На решті території АР Крим та окремих осередках узбережжя Одеської області, максимальна отримана тривалість — 340–360 днів.

За сценарієм RCP 8.5 у 2041–2060 роках найменша тривалість теплого сезону буде у південно-східній частині Карпат — 260–280 днів (мінімально, до 240–260, у високогір'ях) (рис. 1). 280–300 теплих днів отримано на решті території Карпат та на крайньому північному сході країни (у північній та східній частині Сумської, північних районах Харківської та Луганської областей). Території з 300–320 кількістю

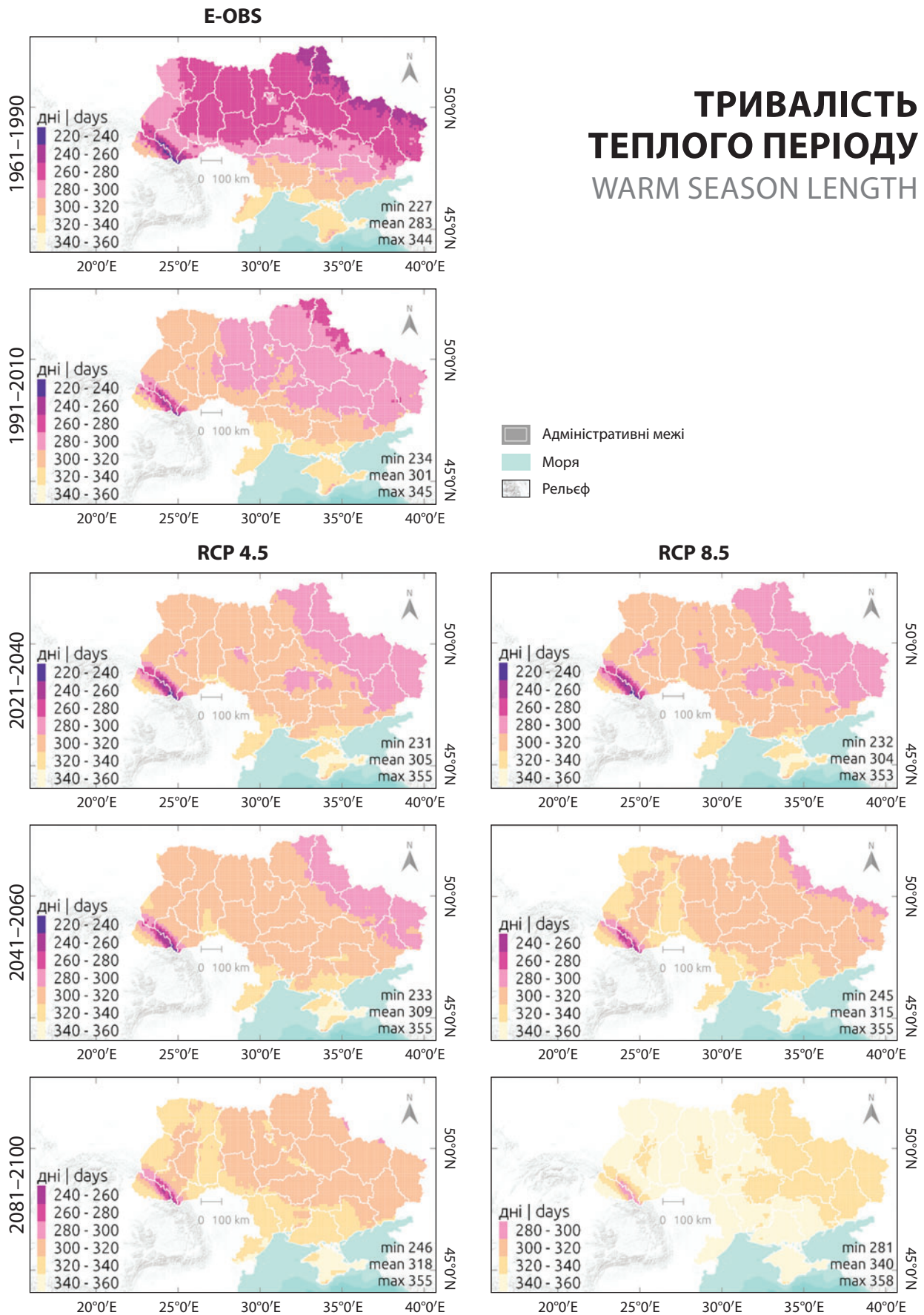


Рис. 1. Тривалість теплового періоду за даними E-OBS, сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 у вказані періоди ХХ–ХХІ ст.

теплих днів займатимуть значну частину України, але скоротяться на півдні та заході, де суттєво зросте теплий період у 320–340 днів. На півдні такий процес охопить значну частину Одеської області (крім північних районів та узбережжя), схід Миколаївської, західну частину Запорізької, Азовську берегову лінію, Тарханкутський півострів та Кримські гори. 320–340 теплих днів прогноуються над Київським водосховищем. На заході країни відбуватиметься меридіональний характер розподілу. Східна частина Західного регіону з південно-західними районами Вінницької області, а також значні території Львівської та Волинської областей і Закарпаття у західній частині матимуть також 320–340 теплих днів, а центр регіону (Івано-Франківська, схід Львівської, південь Волинської, північні та західні райони Рівненської, район на заході Чернівецької областей, схили Карпат) — 300–320. Значна площа Кримського півострова та осередки на Одеському узбережжі матимуть найдовший теплий період у 340–360 днів.

Характер розподілу теплового сезону у **2081–2100** роках за сценарієм **RCP 4.5** буде аналогічний сценарію **RCP 8.5** у **2041–2060** (рис. 1), але на північному сході країни 280–300 теплих днів будуть спостерігатись лише у невеликих осередках на півночі Харківської та сході Сумської областей. Збільшаться території з 320–340 днями, особливо у Вінницькій та областях Південного регіону, на водосховищах Дніпра у Київській та Черкаській областях.

Згідно сценарію **RCP 8.5**, у **2081–2100** роках, в Україні очікуються значні зміни в тривалості теплового сезону (рис. 1). На переважній території країни очікується 340–360 теплих днів. 320–340 днів теплового періоду прогноуються здебільшого у східній частині: Харківській, Луганській, Сумській, Полтавській, Чернігівській (крім південного заходу), Донецькій (без Азовського узбережжя), Дніпропетровській (за виключенням південних районів), Кіровоградській (за винятком заходу), у східній частині Запорізької області. Також така тривалість отримана для двох локацій західної частини країни: а) захід Тернопільської, східні райони Львівської та південні райони Рівненської областей, б) райони на півночі Вінницької та півдні Житомирської областей. У гірських масивах південно-східних Карпат теплий сезон триватиме 300–320 днів, вздовж хребтів найменше — 280–300, на решті території Карпат — 320–340.

Початок (день року) теплового періоду. У **1961–1990** роках найпізніший початок теплового періоду (на 70–80-й та 80–90-й день) відмічався на північному сході країни: у північних районах Луганської та Харківської областей, у північній частині та східних районах Сумської, на північному сході Чернігівської,

а також у високогір'ї Карпат (рис. 2). Початок теплового періоду на 60–70-й день спостерігався на значній території від сходу до західних областей і в Карпатах. Початок на 50–60-й день охоплював всі регіони, досить нерівномірно на заході. Такий процес спостерігався у південній частині (крім Азовського узбережжя) Донецької області, окремих локаціях Луганської, на півночі Запорізької, майже по всій території Дніпропетровської та Кіровоградської, значних площах Черкаської та Київської, у південній частині Вінницької. У Західному регіоні — у Волинській області, південному заході Рівненської, локаціях у центрі Львівської та Чернівецької, на півдні Хмельницької та Тернопільської, а також вздовж схилів Карпат. На значній території Львівської області, на півночі Івано-Франківської, сході Чернівецької, а також на півночі Одеської, Миколаївської, Херсонської, на півдні Запорізької, вздовж Головного пасма Кримських гір прихід теплового періоду припадав на 40–50-й день. Початок на 30–40-й день спостерігався у центральних та південно-західних районах Одеської області, півдні Херсонської та Миколаївської, південно-західних районах Запорізької, Закарпатті та Кримських горах. Самий ранній початок теплового періоду (20–30-й день) відбувався на південному сході Одеської області, у південно-західних районах Херсонської та АР Крим.

У **1991–2010** роках характер розподілу початку теплового періоду суттєво відрізнявся від **1961–1990** (рис. 2). Початок на 70–80-й та 80–90-й день відмічався лише у високогір'ї Карпат, на 60–70-й день — у південно-східних Карпатах та окремих районах сходу Сумської області. Прихід теплового періоду на 50–60-й день відбувався на північному сході: значній площі Сумської області, північному сході Чернігівської, у північних районах Харківської та Луганської, а також в локаціях на сході Донецької та півдні Луганської областей і на схилах південно-східних Карпат. На значній території України від сходу до центральних районів Житомирської та півночі Вінницької областей, а також у північно-західних Карпатах та на вершинах Кримських гір початок кліматичної весни спостерігався на 40–50-й день. Прихід весни на 30–40-й день відбувався у всіх регіонах країни: в областях Західного регіону, у західній частині Житомирської та північній Вінницької, на сході Кіровоградської, в локаціях центральних частин Київської та Черкаської, у південних районах Дніпропетровської та Донецької, центральній частині Запорізької, на півночі Одеської, Миколаївської та Херсонської областей і в Кримських горах. Початок теплового періоду на 20–30-й день відбувався не лише на півдні (АР Крим, південь Миколаївської, Херсонської, Запорізької областей, значній терито-

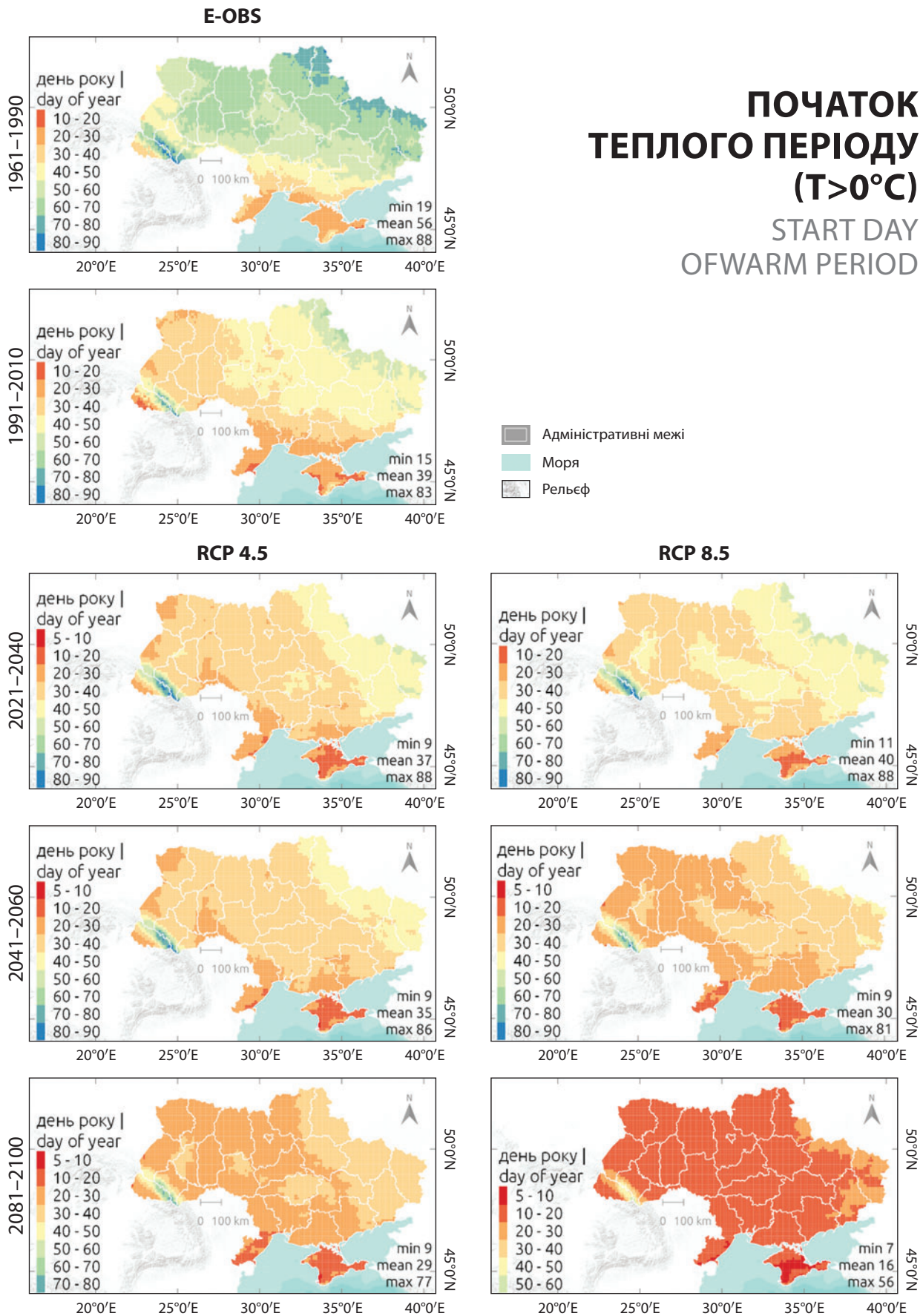


Рис. 2. Початок (день року) теплового періоду за даними E-OBS, сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 у вказані періоди ХХ-ХХІ ст.

рії Одеської), а й в окремих районах на заході країни (півночі Волинської, північному сході Рівненської, заході Львівської областей, у Закарпатті). А в локаціях на сході та заході АР Крим, південному сході Одеської області та на півдні Закарпатської — на 10–20-й день.

Сценарій **RCP 4.5** у **2021–2040** роках прогнозує найпізніший початок теплого періоду лише в Карпатах: 70–80-й та 80–90-й день у високогірних районах, 60–70-й — на схилах цих високогір'їв (рис. 2). У західній частині Карпат та на їх схилах, а також в окремих районах Луганської області, на півночі Харківської та локаціях на крайньому сході Сумської — на 50–60-й день. Настання теплого періоду на 40–50-й день буде відбуватись переважно у північно-східній частині країни: у Сумській, Харківській, Луганській, Донецькій областях, у східних районах Чернігівської, Полтавської, Дніпропетровської, Запорізької, в локаціях у центрі Кіровоградської та заході Дніпропетровської та Тернопільської областей, у підніжжях Карпат. На значній території країни перехід до теплого періоду відбуватиметься на 30–40-й день. Прихід тепла на 20–30-й день починатиметься як на півдні, так і у західній частині країни. Такий процес охопить північний захід Волинської, захід Львівської, південь Тернопільської, схід Чернівецької, південно-східні райони Вінницької області, Закарпаття, Одеську область (крім північних районів), південно-східну частину Херсонської, південно-західні райони Запорізької, узбережжя Миколаївської та Херсонської областей, Каховське водосховище, Кримські гори та північно-західну частину АР Крим. Найраніший початок теплого періоду (на 10–20-й день) відбуватиметься на значній території АР Крим та в локаціях на південному сході Одеської області.

За сценарієм **RCP 8.5**, у **2021–2040** роках характер розподілу початку теплого періоду подібний до сценарію **RCP 4.5** (рис. 2). Але на північному сході та у центрі України збільшаться території з пізнім приходом тепла (на 50–60-й та 40–50-й день), а на заході та півдні зменшаться площі з раннім початком весни (10–20-й та 20–30-й день). Найпізніший початок теплого періоду відбуватиметься в південно-східних Карпатах: на 70–80-й та 80–90-й у високогір'ях, на 60–70-й день по їх схилах. На 50–60-й день прогнозується у прикордонних районах Сумської, Харківської та Луганської областей, локації між Луганською та Донецькою та, здебільшого, у північно-західній частині Карпат. Початок на 40–50-й день буде спостерігатись у всіх регіонах: на значних територіях Сумської, Харківської, Луганської, Донецької, Дніпропетровської, Кіровоградської, Полтавської, Чернігівської областей, південно-західній частині Черкаської, у південних районах Житомирської, півночі

Вінницької, у північних та східних районах Миколаївської, на сході Запорізької, в ареалі, що охопить західну частину Тернопільської, східні райони Львівської та південні Рівненської. Початок на 20–30-й день прогнозується локально у Закарпатті та сході Львівської області, у південній частині Одеської, вздовж Азовського узбережжя Херсонської та в АР Крим (крім центральної та південно-західної частини, де прихід тепла буде найранішим — на 10–20-й день). На решті території країни початок теплого періоду очікується на 30–40-й день.

Сценарій **RCP 4.5** для **2041–2060** років у цілому схожий до попереднього періоду **2021–2040** (рис. 2). Відмінності між ними в тому, що початок весни на 50–60-й день очікується лише в північно-західних Карпатах, території з початком на 40–50-й день скоротяться у північно-західній частині (Луганська, Сумська, значна територія Харківської, північний схід Чернігівської та Полтавської, північна частина Донецької) та зникнуть у центральній, а також збільшаться території з початком на 20–30-й день, особливо у Тернопільській, Херсонській та Запорізькій областях. З'явиться локація у південно-західному Криму (навколо мису Херсонес), де можливий початок на 5–10-й день.

За сценарієм **RCP 8.5**, у **2041–2060** роках пізній початок теплого періоду буде спостерігатись лише в південно-східній частині Карпат: на 60–70-й день у високогір'ях, на 70–80-й та 80–90-й день на окремих хребтах цих гір, 50–60-й — вздовж схилів (рис. 2). У північно-західній частині Карпат теплий період починатиметься на 40–50-й день, а також на крайньому північному сході України (у прикордонних районах Сумської та Харківської областей, у північних та південних районах Луганської). Початок на 30–40-й день прогнозується, здебільшого, у східній та центральній частині країни. Такий процес охопить Чернігівську та Полтавську області (крім їх західних осередків), Сумську, Харківську, Луганську, Кіровоградську, Донецьку (без Азовського узбережжя), східну частину Запорізької, Дніпропетровську (за виключенням крайнього півдня), північний схід Миколаївської, західну частину Черкаської, північно-східну частину Вінницької, а також ареал на заході (східні райони Львівської та західна частина Тернопільської областей) і схили Карпат. У південних районах Одеської області та в АР Крим теплий період почнеться на 10–20-й день, а в локації навколо мису Херсонес — на 5–10-й. Прихід тепла на решту території країни передбачається на 20–30-й день.

Сценарій **RCP 4.5** для **2081–2100** років аналогічний сценарію **RCP 8.5** для **2041–2060** (рис. 2). Відмінність полягає у збільшенні територій (особливо у центральній частині країни), де теплий період

починатиметься на 20–30-й день, а по всій території Сумської, Харківської та Луганської області — на 30–40-й.

Згідно сценарію **RCP 8.5**, у **2081–2100** роках на території України переважно весна очікується на 10–20-й день (рис. 2). Початок на 20–30-й день прогнозується у північно-західних Карпатах (у високогір'ї — на 30–40-й) та на сході країни — південному сході Сумської області, півночі Харківської, центральній частині Донецької та в Луганській (крім центральних районів). У південно-східній частина Карпат початок даного періоду очікується на 40–50-й день, на Чорногірському хребті — на 50–60-й день. В локаціях вздовж південно-східного узбережжя Одеської області та у центральній частині і на південному сході АР Крим прихід тепла очікується на 5–10-й день.

Закінчення (день року) теплого періоду. У **1961–1990** роках закінчення теплого періоду на 315–320-й та 320–325-й день спостерігалось у високогір'ях південно-східних Карпат, на 325–330-й день — по схилах цих гір та на північному сході країни (у північній та східній частинах Сумської області, у північних районах Харківської та Луганської, осередках на північному сході Чернігівської) (рис. 3). На значній території північної частини України та в Карпатах теплий період закінчувався на 330–335-й та 335–340-й день. Більш пізнє закінчення (на 340–345-й день) охоплювало вузьку смугу півдня та заходу: південь (крім узбережжя) та південний захід Донецької області, північний схід Запорізької, південно-східні та центральні райони Дніпропетровської, південну частину Кіровоградської, осередки на півночі Одеської, півдні Вінницької та заході Львівської, східну частину Чернівецької та північно-східні райони Івано-Франківської. Характер розподілу закінчення теплого періоду на півдні країни був досить стратифікований (5 градацій), від 340–345 днів у вищевказаних областях до 360–365 на сході АР Крим та в осередках навколо мису Херсонес і на південному сході Одеської області. На півночі Одеської, Миколаївської та Херсонської областей, півдні Дніпропетровської, значній території Запорізької, узбережжі Донецької, а також у Закарпатті теплий період закінчувався на 345–350-й день. Південніше, на півдні Миколаївської, Херсонської і Запорізької областей, у центральних та південно-західних районах Одеської — на 350–355-й день, у південно-східній частині Одеської області та в АР Крим — на 355–360-й. У Кримських горах — на 345–350-й та 350–355-й день, вздовж Головного пасма — на 340–345-й.

У **1991–2010** роках найраніше закінчення теплого періоду відбувалось на 315–320-й та 320–325-й

день лише вздовж хребтів південно-східних Карпат, на 325–330-й день — на решті території Карпат та в локаціях на сході Сумської області (рис. 3). Північний схід країни (Сумська, північна та східна частина Чернігівської, північні райони Полтавської, Харківської і Донецької областей) та схили Карпат зазнавали закінчення теплого періоду на 330–335-й день. На значній території північної частини країни від сходу до областей на заході закінчення теплого періоду спостерігалось на 335–340-й день. На півдні та заході, порівняно з періодом **1961–1990**, суттєво збільшились території, де теплий період закінчувався на 340–345-й день. Такий процес охоплював південь Донецької, Дніпропетровської, Вінницької, Тернопільської, Хмельницької, Рівненської областей, Запорізьку (крім півдня), Кіровоградську (за виключенням східних районів), значну територію Черкаської, Львівської, Волинської, схід Чернівецької, північно-східну частину Івано-Франківської, вздовж Вулканічного хребта Карпат та Головного пасма Кримських гір. На 345–350-й день закінчувався теплий період на півночі Одеської, у Миколаївській (крім південного заходу), у північній частині Херсонської, південних районах Запорізької, на 350–355-й день — на решті території Одеської (крім осередку на південному сході), у південній частині Херсонської, у південно-західних районах Миколаївської та Запорізької областей, північній частині АР Крим, на решті території Кримських гір, а також в Закарпатті. Порівняно з періодом **1961–1990**, зменшились території, де теплий сезон закінчувався на 355–360-й день (осередок на південному сході Одеської області, схід та південний захід АР Крим), а на 360–365-й майже зникли, відмічались лише локально, на мисі Херсонес та півдні Керченського півострова.

У **2021–2040** роках, згідно сценарію **RCP 4.5**, найраніше закінчення теплого періоду передбачається у високих горах південно-східних Карпат — на 325–330-й день, вздовж їх хребтів — на 320–325-й день (рис. 3). На 330–335 день завершуватиметься теплий період на решті території Карпатських гір та на північному сході країни — у північних районах Харківської та Донецької областей, в осередку на північному сході Чернігівської та у Сумській області (крім південного заходу). На значній території північної частини країни від сходу до західних областей та на схилах Карпат теплий період буде продовжуватись до 335–340-го дня. Закінчення на 340–345-й день прогнозується у всіх регіонах України: на півдні Донецької області (крім узбережжя), осередку на сході Луганської, східній та північній частині Запорізької, значній території Дніпропетровської, Миколаївській (крім західних районів), півдні та сході Кіровоградської, центрі та сході Черкаської, значній території

Київської, північних районах Одеської та південній частині Вінницької, заході Житомирської, північній частині Хмельницької, на заході Чернівецької, у східних частинах Львівської та Волинської, у Тернопільській, Івано-Франківській, Рівненській областях, вздовж Полонинського хребта. До 345–350-го дня триватиме теплий період у південних та західних областях: півдні та заході Запорізької, вздовж узбережжя Донецької, значній території Херсонської, західних районах Миколаївської, півночі Одеської, південно-західних районах Вінницької, у південній частині Хмельницької, сході Чернівецької, західних частинах Львівської та Волинської областей, вздовж Вулканічного хребта. Південна частина Одеської області (крім узбережжя), південні райони Запорізької, Херсонської, узбережжя Миколаївської, Тарханкутський півострів та Кримські гори будуть під впливом тепла до 350–355-го дня. Найпізніше закінчення теплого періоду буде спостерігатись на південному сході Одеської області та в АР Крим — на 355–360-й день, а на мисі Кара-Мрун, в осередках на південному заході та сході півострова — на 360–365-й день.

Сценарій **RCP 8.5** для періоду **2021–2040** років прогнозує найраніше закінчення теплого періоду (на 320–325-й та 325–330-й день) у високогірних районах південно-східних Карпат (рис. 3). До 330–335-го дня буде тривати теплий період на решті території Карпатських гір та локально на сході Сумської та півночі Харківської областей, до 335–340-го дня — на схилах Карпат та у північно-східній частині країни: у Сумській, Чернігівській (крім південного заходу), Харківській (за виключенням південних районів), у північно-східній частині Полтавської, в осередку Луганської та Донецької областей. На значній території країни від сходу до західних областей теплий період триватиме до 340–345-го дня. Південні та західні території будуть під впливом тепла до 345–350-го дня, такий процес буде поширений у Миколаївській області, на півдні Донецької, значній площі Запорізької, у південних районах Дніпропетровської, півночі та сході Херсонської, півночі Одеської, крайньому сході Кіровоградської, південних районах Вінницької, сході Тернопільської, значних територіях Хмельницької, Чернівецької, Івано-Франківської, Львівської (крім сходу), Волинської (за виключенням південного сходу), вздовж Вулканічного хребта та Кременчуцького водосховища. До 350–355-го дня триватиме теплий період на півдні та заході країни: у південній частині Одеської області (крім сходу), Кримських горах, в осередках на Тарханкутському півострові, над акваторією Каховського водосховища, в Закарпатті, на сході Чернівецької області та крайньому півдні Хмель-

ницької та Вінницької. У районах на південному-сході Одеської області та значній території АР Крим закінчення теплого періоду очікується на 355–360-й день, а в локації Одеської області, на мисі Кара-Мрун, на сході півострова, та в осередку південного заходу — на 360–365-й.

За сценарієм **RCP 4.5**, у **2041–2060** роках найраніше закінчиться теплий період в Карпатах: на 325–330-й день у високогір'ях, на 320–325-й — вздовж хребтів, на 330–335-й день — на решті території (рис. 3). До 335–340-го дня триватимуть додатні середньодобові температури на схилах Карпат та у північно-східній частині України: у Сумській області, Харківській та Чернігівській (крім їх південно-західних районів), у північній та західній частині Луганської, північно-східних частинах Полтавської та Донецької, а також в осередках між Вінницькою і Житомирською областями і на заході Тернопільської. На значній території країни теплий період триватиме до 340–345-го дня. На 345–350-й день він закінчиться на півдні та в окремих областях заходу країни: у південних районах Донецької області, значній території Запорізької, Херсонської, Миколаївської, півночі Одеської, південній частині Хмельницької, південно-східних районах Тернопільської, сході Чернівецької, південно-західних районах Вінницької, у західних частинах Львівської та Волинської областей, вздовж Вулканічного хребта та над Кременчуцьким водосховищем. До 350–355-го дня продовжиться теплий період на півдні Одеської області, вздовж узбережжя Миколаївської, на південному сході Херсонської та півдні Запорізької областей, над Каховським водосховищем, а також в Закарпатті. В локаціях на південному сході Одеської області та в АР Крим — до 355–360-го дня, за виключенням Тарханкутського півострова та Кримських гір (350–355) та осередків на південному заході та на сході (360–365).

Сценарій **RCP 8.5** у **2041–2060** роках прогнозує закінчення теплого періоду на 330–335-й день у високих горах південно-східних Карпат, найраніше, на 325–330-й, вздовж їх хребтів, на 335–340-й — на решті території Карпат та на північному сході країни: у Сумській області, півночі Харківської та Луганської, північно-східних районах Чернігівської та Полтавської (рис. 3). На значній території країни (у Центральному, Північному, Східному регіонах, у західній частині Тернопільської області та схилах Карпат) теплий період триватиме до 340–345-го дня. На 345–350-й день закінчиться теплий період на заході Житомирської та півдні Вінницької області, на значних територіях областей Західного регіону, вздовж Полонинського хребта, на півдні — у Миколаївській області, на півночі Одеської, заході Кірово-

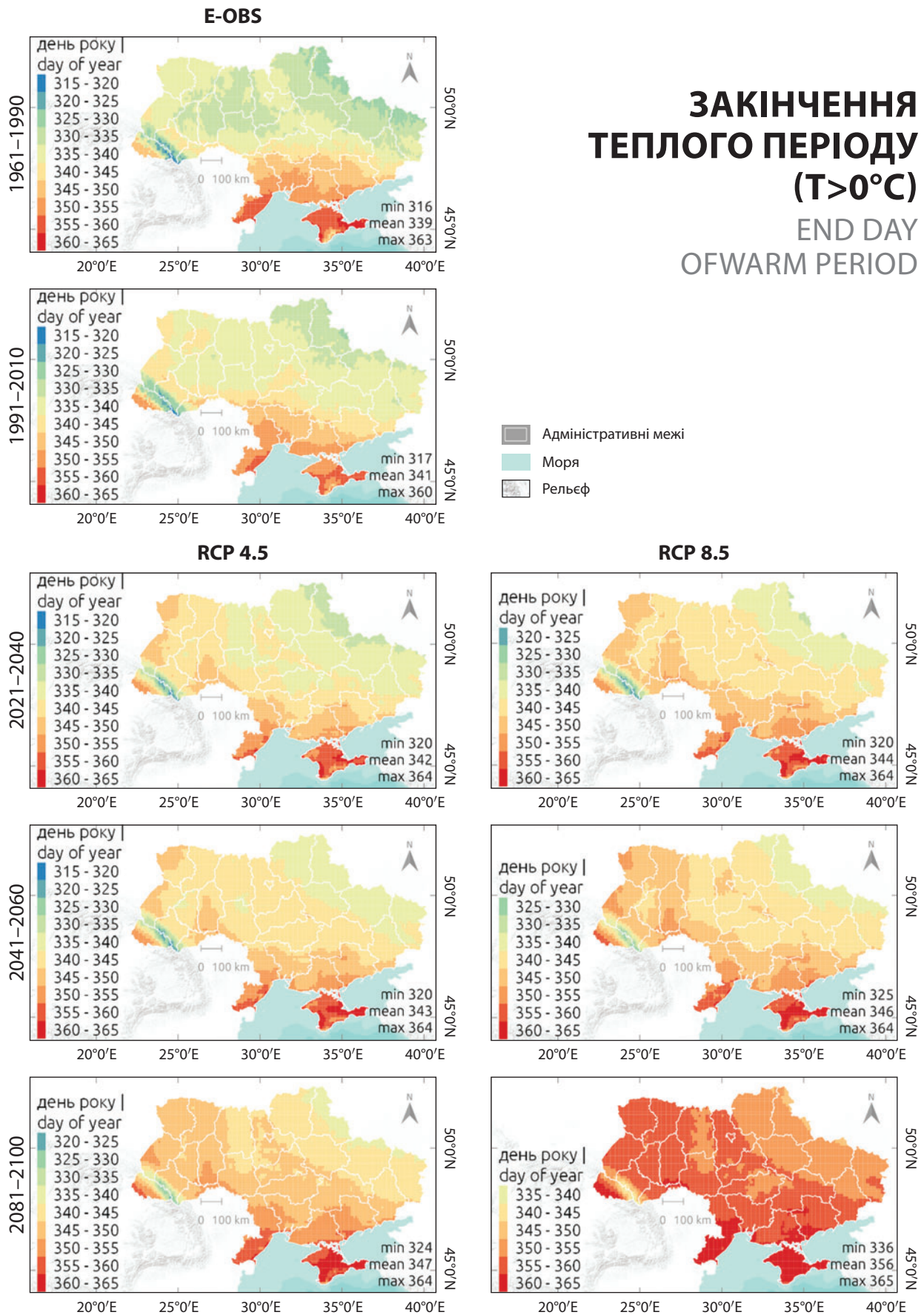


Рис. 3. Закінчення (день року) теплового періоду за даними E-OBS, сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 у вказані періоди XX–XXI ст.

градської і Херсонської, півдні Дніпропетровської та Донецької, переважній площі Запорізької, а також в центральних районах Київської та над Кременчуцьким водосховищем. У західній частині країни (на півдні Хмельницької області, сході Чернівецької, південних осередках Вінницької, у західних районах Львівської та Волинської, вздовж Вулканічного хребта) та у південній (центрі Одеської, у східній частині Херсонської та західній Запорізької, вздовж узбережжя, в окремих локаціях Кримських гір) теплий сезон триватиме до 350–355-го дня. Закінчення теплого періоду на 355–360-й день передбачається в Закарпатті, у південній частині Одеської області, у північно-західній та південно-східній частинах АР Крим, в окремих локаціях Азовського узбережжя, на 360–365-й — у південно-західній, центральній, східній частинах АР Крим, вздовж ПБК, та в локаціях на південному сході Одеської області.

Згідно сценарію **RCP 4.5**, у **2081–2100** роках саме раннє закінчення теплого періоду відбуватиметься в Карпатах (на 320–325-й та 325–330-й день — на окремих високогір'ях, на 330–335-й — у південно-східних Карпатах) (рис. 3). На решті території Карпат та на північному сході країни: у Сумській (крім південного заходу), північних районах Харківської і Луганської, в осередку на північному сході Чернігівської теплий період триватиме до 335–340-го дня. Решта території Харківської, Луганської, Чернігівської, Сумської областей, північна частина Донецької, північно-східні райони Дніпропетровської, Полтавська (крім півдня), осередки на території Київської та Черкаської, Житомирська (крім заходу), північ Вінницької, схили Карпат та локація між Львівською, Рівненською та Тернопільською областями теплий сезон буде завершуватися до 340–345-го дня. На значній території країни від сходу до заходу теплий період триватиме до 345–350-го дня. На півдні Тернопільської області, сході Чернівецької, південно-західному осередку Вінницької, вздовж Полонинського та Вулканічного хребтів, в районі на заході Львівської, у північній частині Одеської, у західних районах Миколаївської, в Херсонській, західній частині Запорізької, по узбережжю Донецької області закінчення теплого періоду прогнозується на 350–355-й день. До 355–360-го дня триватиме тепло в Закарпатті, південній частині Одеської області, вздовж Чорноморського та Азовського узбережжя, у північно-східній частині АР Крим та Кримських горах, до 360–365-го дня — на решті території АР Крим та в локаціях на південному сході Одеської області.

За реалізації сценарію **RCP 8.5**, у **2081–2100** роках на 335–340-й та 340–345-й день закінчиться теплий період у високогір'ях, на 345–350-й — у пів-

денно-східних Карпатах та районах на сході Сумської та півночі Харківської областей (рис. 3). До 350–355-го дня триватиме теплий період у північно-західних Карпатах, у Чернігівській області, Сумській, Харківській, Полтавській, Луганській (крім центральних районів), у північних частинах Донецької та Вінницької, північних районах Дніпропетровської та Черкаської, східній частині Кіровоградської і Житомирської, на сході Київської. Переважна територія країни (всі регіони) буде під впливом тепла до 355–360-го дня. Найдовше, до 360–365-го дня, триватиме теплий період у Закарпатті, АР Крим, південній частині Одеської області, в осередку між Херсонською та Запорізькою, в локації між Тернопільською та Чернівецькою областями, на Каховському водосховищі.

ВИСНОВКИ

Тривалість теплого періоду в Україні в період **1961–1990** зростала з північного сходу (220–240 днів) на південь та південний захід (320–340 днів), що відповідало просторовому розподілу середньої за рік температури повітря та прямої сонячної радіації. Широтний розподіл порушувався на заході країни, де відмічалось зростання тривалості теплого періоду на значній території, за винятком Українських Карпат. На Закарпатті теплий сезон тривав 320–340 днів, стільки ж, як і в південних областях України. Порушення широтного розподілу зумовлені впливом Атлантики та особливостями атмосферних процесів у цих регіонах. Такі закономірності просторового розподілу показника характерні не лише для минулого та сучасного кліматичних періодів, а й будуть зберігатись до кінця століття майже на всій території країни.

Тривалість теплого періоду в Україні протягом **1991–2010** змінилась відносно кліматичної норми **1961–1990**. Ці зміни були неоднакові на території країни: у лісостеповій та лісовій зоні відмічалось зростання тривалості теплого періоду, найінтенсивніше у Прикарпатті та на півночі Житомирського і Волинського Полісся. Проте в Українських Карпатах та степовій частині країни зміни були незначними, а Керченському півострові тривалість теплого періоду скоротилась.

Тривалість теплого сезону у XXI ст. суттєво зростатиме на всій території України. Ці зміни посилюватимуться з півдня, південного заходу на північний схід і зростатимуть до кінця століття, згладжуючи просторові неоднорідності. Як наслідок, наприкінці XXI ст. широтний розподіл хоч і збережеться, проте буде менш вираженим, ніж у другій половині XX ст., значно зменшиться різниця між південними і північними регіонами. При реалізації сценарію **RCP 8.5**

наприкінці століття можлива зміна зонального розподілу на меридіональний: збільшення тривалості періоду зі сходу на захід. Збільшення тривалості теплого сезону буде більш суттєвим за реалізації сценарію **RCP 8.5**, порівняно з **RCP 4.5** і посилюватиметься з другої половини століття, досягаючи найбільших значень наприкінці століття.

Обидва сценарії, **RCP 4.5** і **RCP 8.5**, прогнозують подібний характер зростання тривалості теплого періоду у найближчі десятиліття (**2021–2040**) відносно сучасного періоду: від 7–14 днів на півдні до 20–23 на півночі та сході України. До середини століття (**2041–2060**) тривалість даного періоду при сценарії **RCP 4.5** зросте від 7 днів на півдні, Закарпатті та Прикарпатті до 20–25 днів на північному сході, а при **RCP 8.5** від 7–14 до 30–35 днів, відповідно. На всій території країни за сценарієм **RCP 4.5** зміна показника буде більш однорідною, ніж за **RCP 8.5**.

Найбільші зміни прогнозуються наприкінці століття за реалізації сценарію **RCP 8.5**: подальше підвищення температури повітря може зумовити збільшення тривалості теплого періоду від 7–14 днів на півдні країни до двох і більше місяців на північному сході (на Сумщині 70 днів і більше). Внаслідок цього,

у північно-східному регіоні, який є одним із найхолодніших в Україні, період з від'ємною температурою повітря (кліматична зима) може тривати всього від 10 до 30 днів. Такі кліматичні умови у сучасний період характерні для південних районів Одеської, Херсонської, Миколаївської областей та Кримського півострову. У північно-західному регіоні України холодний період може тривати до 20 днів, а на півдні країни він взагалі може бути відсутнім. За реалізації сценарію **RCP 4.5** відсутність холодного періоду наприкінці століття може бути лише на Кримському півострові та в окремих районах Одеської області. Зміни тривалості теплого сезону будуть значно меншими, ніж для **RCP 8.5** і коливатимуться від 7–14 на півдні до 40 і більше днів на північному сході, відносно сучасного періоду **1991–2010**.

У наступних частинах дослідження будуть представлені результати аналізу проєкцій термічних режимів вегетаційного періоду і періоду активної вегетації рослин, а також літнього періоду і континентальності клімату. У майбутніх дослідженнях варто врахувати також вплив воєнних дій через російську агресію та насамперед руйнацію Каховського водосховища на зміну регіонального клімату і характеристик термічних періодів зокрема.

ЛІТЕРАТУРА

1. Адаменко Т.І., Кульбіда М.І., Прокопенко А.Л. (2011). Агрокліматичний довідник по території України. Кам'янець-Подільський: ПП Галагадза Р.С.
2. Адаменко, Т. І. (2014). Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. К.: ВЕГО "МАМА-86".
3. Атлас "Агрокліматичні ресурси України" (2016) за ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіди, А.Л. Прокопенка. Київ.
4. Балабух В.О. (2018). Динаміка середньорічних показників температури повітря і кількості опадів в окремих ґрунтово-кліматичних зонах України. Адаптація агротехнологій до змін клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти: колективна монографія. За ред. С.А. Балюка, В.В. Медведєва, Б.С. Носка. Харків.
5. Дати переходу температури повітря в Україні за сучасних умов клімату. (2010). За ред. В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко. Київ.
6. Дослідження регіональних особливостей зміни клімату в Україні у ХХІ ст. на основі чисельного моделювання. Звіт про НДР (заключний). (2013). Шифр роботи 1/11. К.: УГМІ. 173 с. № ДР 0111U001571.
7. Заболоцька Т.М., Скриник О.А. (2009). Прогнозування дат стійкого переходу середньої добової температури повітря через зазначені межі. *Наук. праці УкрНДГМІ*, **25**, 84-105.
8. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: монографія (2018). за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса.
9. Клімат України: монографія (2003). За редакцією В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ.
10. Краковська С.В., Гнатюк Н.В., Шпиталь Т.М., Паламарчук Л.В. (2016а). Проєкції змін приземної температури повітря за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей у регіонах України в ХХІ столітті. *Наук. праці УкрГМІ*, **268**, 33–44.
11. Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Шпиталь Т.М. (2016б). Електронні бази метеорологічних даних та результати чисельних кліматичних моделей у визначенні спеціалізованих кліматичних показників. *Період. наук. зб. "Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія" КНУ ім. Тараса Шевченка*, **3 (42)**, 95–105.
12. Краковська С.В., Шпиталь Т.М. (2018). Дати переходу температури повітря через 0, 5, 10 і 15°C та тривалість відповідних кліматичних сезонів з другої половини ХХ до середини ХХІ ст. в Україні. *Геоінформатика*, **4(68)**, 74–92.
13. Паламарчук, Л.В., Краковська, С.В. (2018) Регіональні зміни клімату України: Методичні вказівки до навчального курсу для студентів географічного факультету спеціальності "Метеорологія та кліматологія". Київ: Принт-Сервіс.
14. Польовий А.М., Божко Л.Ю. (2015). Теплові ресурси України в умовах зміни клімату. *Український гідрометеорологічний журнал*, **16**, 99–106. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.13>.
15. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Вольвач О.В. Основи агрометеорології. Підручник. (2012). Одеса.
16. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Барсукова О. А. (2017). Вплив змін клімату на агрокліматичні умови вегетаційного періоду основних сільськогосподарських культур. *Український гідрометеорологічний журнал*, **20**, 61–70. <https://doi.org/10.31481/uhmj.20.2017.07>.
17. Про затвердження Правил надання послуги з постачання теплової енергії і типових договорів про надання послуги з постачання теплової енергії: Постанова Кабінету Міні-

- стрів України від 21 серпня 2019 р. (2019) № 830. Отримано 3 травня 2024 із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/830-2019-%D0%BF#Text>.
18. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової програми використання та охорони земель: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19 січня 2022 р. (2022) № 70-р. Отримано 3 травня 2024 із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/70-2022-%D1%80#Text>.
 19. Розроблення оновлених сценаріїв зміни характеристик регіонального клімату України до кінця XXI ст. Звіт про НДР (остаточний) (2021). К.: УкрГМІ. № ДР 0119U001123. 231 с.
 20. Сніжко С.І., Заблоцька Т.М., Скриник О.А. (2008) Особливості теплої і вегетаційних періодів в Україні: тенденції змін внаслідок глобального потепління. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені Драгоманова. Сер. 4. Географія і сучасність*, **14**, 34–38.
 21. Сніжко С.І., Скриник О.А., Щербань І.М. (2007) Особливості тривалості вегетаційного періоду і періоду активної вегетації на території України (тенденції зміни внаслідок глобального потепління). *Український гідрометеорологічний журнал*, **2**, 119–128.
 22. Скриник О.А., Скриник О.Я. (2006) До проблеми визначення дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через фіксоване значення. *Наук. праці УкрНДГМІ*, **255**, 42–56.
 23. Хохлов В.М., Єрмоленко Н.С. (2015) Майбутні зміни клімату та їх вплив на режим опадів та температури в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*, **16**, 76–82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10>.
 24. Швиденко А.З., Букуша І.Ф., Краковська С.В. (2018) Уразливість лісів України до зміни клімату: монографія. Київ.
 25. Шевченко О.Г., Сніжко С.І., Вітренко А.О. (2019) Економічна метеорологія. Київ: Майстер книг.
 26. Шедеменко І.П., Краковська С.В., Гнатюк Н.В. (2012) Верифікація даних Європейської бази E-OBS щодо приземної температури та кількості опадів у адміністративних областях України. *Наук. пр. УкрНДГМІ*, **262**, 71–90.
 27. Breakout Group 3bis: Bias Correction (pp. 21–23) in IPCC, 2015: Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis Studies [T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, and M. Tignor (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland, pp. 171. https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/RPW_WorkshopReport.pdf.
 28. Cornes, R.C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E.J.M., & Jones, P.D. (2018). An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **123** (17), 9391–9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>.
 29. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022a). Summary for Policymakers. In *Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty* (pp. 1–24). Preface, Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>.
 30. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022b). Summary for Policymakers. In *Climate Change and Land: IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems* (pp. 1–36). Preface, Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.001>.
 31. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Technical Summary. In *Climate Change 2021 — The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 35–144). frontmatter, Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>.
 32. Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L. M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., ... Yiou, P. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, **14** (2), 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>.
 33. Kebede, A.S., Nicholls, R.J., Allan, A., Arto, I., Cazarro, I., Fernandes, J.A., Hill, C.T., Hutton, C.W., Kay, S., Lázár, A.N., Macadam, I., Palmer, M., Suckall, N., Tompkins, E.L., Vincent, K., & Whitehead, P.W. (2018). Applying the global RCP–SSP–SPA scenario framework at sub-national scale: A multi-scale and participatory scenario approach. *Science of The Total Environment*, **635**, 659–672. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.368>.
 34. Lalic B., Eitzinger J., Dalla Marta A., Orlandini S., Firanj Sremac A., Pacher B. (2018) *Agricultural Meteorology and Climatology*. Firenze: Firenze University Press.
 35. Schulzweida, Uwe. (2019, October 31). CDO User Guide (Version 1.9.8). <http://doi.org/10.5281/zenodo.3539275>.
 36. Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **93**(4), 485–498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.
 37. Technical Summary. (2023). In *Climate Change 2021 — The Physical Science Basis* (pp. 35–144). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>.
 38. The WCRP Coupled Model Intercomparison Project — Phase 5 (CMIP5) — CLIVAR Exchanges Special Issue, No. 56, Vol. 16, 32 pp, 2011.
 39. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals (2017). WMO-No. 1203. 574 p.

REFERENCES

1. Adamenko T.I., Kulbida M.I. & Prokopenko A.L. (2011). Ahroklimatychnyi dovidnyk po terytorii Ukrainy. Kam'ianets-Podilskyi: PP Halahodza R.S. [in Ukrainian].
2. Adamenko, T. I. (2014) Ahroklimatychne zonuвання terytorii Ukrainy z vrakhuvanniam zminy klimatu. K.: VEHO "MAMA-86" [in Ukrainian].
3. Adamenko T.I., Kulbida M.I. & Prokopenko A.L. (2016). Atlas "Ahroklimatychni resursy Ukrainy". Kyiv. [in Ukrainian].
4. Balabukh V.O. (2018). Dynamika serednorichnykh pokaznykiv temperatury povitria i kilkosti opadiv v okremykh hruntovoklimatychnykh zonakh Ukrainy. Adaptatsiia ahrotekhnolohii do zmin klimatu: hruntovo-ahrokhimichni aspekty: kolektyvna monohrafiia / Za. red. S.A. Baliuka, V.V. Medvedeva, B.S. Noska. Kharkiv. Styl'na typohrafiia. [in Ukrainian].
5. Osadchyi V.I., Babichenko V.M. (2010). Daty perekhodu temperatury povitria v Ukraini za suchasnykh umov klimatu. Kyiv, Nika-Tsentr. 304 s. [in Ukrainian].

6. Doslidzhennia rehionalnykh osoblyvostei zminy klimatu v Ukraini u XXI st. na osnovi chyselfnogo modeliuvannia. Zvit pro NDR (zakliuchnyi). (2013). Shyfr roboty 1/11. K.: UHMI. 173 s. № DR 0111U001571 [in Ukrainian].
7. Zabolotska T.M., Skrynyk O.A. (2009). Forecast of data to the stable change of earth mean daily temperature through appointed limits. *Nauk. pratsi UkrNDHMI*, **25**, 84-105 [in Ukrainian].
8. Stepanenko, S.M., & Polevoy, A.M. (2018). Climatic risks of functioning of branches of the eco-nomy of Ukraine in the conditions of climate chan ge. Odesa: TES [in Ukrainian].
9. Lipinsky, V., Dyachuk, V., & Babichenko, V. (2003). Climate of Ukraine. Kyiv: Rayevskyy Publishing [in Ukrainian].
10. Krakovska S.V., Gnatiuk N.V., Shpytal T.M., Palamarchuk L.V. (2016a). Projections of surface air temperature changes based on data of regional climate models' ensemble in the regions of Ukraine in the 21st century. *Nauk. pratsi UkrNDHMI*, **268**, 33–44 [in Ukrainian].
11. Krakovska S.V., Palamarchuk L.V., Shpytal T.M. (2016b). Electronic databases and results of numerical simulations in defining specialized climate indices. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, **3** (42), 95–105 [in Ukrainian].
12. Krakovska S.V., Shpytal T.M. (2018). Dates of air temperature transition over 0, 5, 10 and 15°C and corresponding lengths of climatic seasons from the second part of the 20th to the middle of the 21st century in Ukraine. *Geoinformatika*, **4** (68), 74-92 [in Ukrainian].
13. Palamarchuk L.V., Krakovska S.V. (2018). Rehionalni zminy klimatu Ukrainy: Metodychni vkazivky do navchalnogo kursu dlia studentiv heohrafichnogo fakultetu spetsialnosti "Meteorolohiia ta klimatolohiia". Kyiv, Print-Servis. [in Ukrainian].
14. Pol'ovyi, A.M., & Bozhko, L.Yu. (2015). Thermal resources of Ukraine in the conditions of climate change. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, **16**, 99–106. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.13> [in Ukrainian].
15. Pol'ovyi A.M., Bozhko L.Yu., Volvach O.V. (2012). Fundamentals of Agricultural Meteorology: The textbook. Odesa, Vydavnytstvo TES. [in Ukrainian].
16. Pol'ovyi, A.N., Bozhko, L.E., & Barsukova, E.A. (2017). Impact of climat changes on agro-climatic indices of the vegetative period of main agricultural crops. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, **20**, 61–70. <https://doi.org/10.31481/uhmj.20.2017.07> [in Ukrainian].
17. Pro zatverdzhennia Pravyl nadannia posluhy z postachannia teplovoi enerhii i typovykh dohovoriv pro nadannia posluhy z postachannia teplovoi enerhii: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 21 serpnia 2019. (2019) № 830. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/830-2019-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
18. Pro skhvalennia Kontseptsii Zahalnodержавnoi tsilovoi prohramy vykorystannia ta okhorony zemel: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 19 sichnia 2022 (2022) № 70-p. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/70-2022-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
19. Rozroblennia onovlenykh stsenariiv zminy kharakterystyk rehionalnogo klimatu Ukrainy do kintsia KhKhI st. Zvit pro NDR (ostatnochnyi) (2021). K.: UHMI. 231 p. № ДР 0119U001123 [in Ukrainian].
20. Snizhko S.I., Zabolotska T.M., Skrynyk O.A. (2008). Osoblyvosti teploho i vehetatsiinykh periodiv v Ukraini: tendentsii zmin vnaslidok hlobalnogo poteplinnia. *Naukovyi chasopys Natsionalnogo pedahohichnogo universytetu imeni Drahomana-va. Ser. 4. Heohrafiia i suchasnist*, **14**, 34–38 [in Ukrainian].
21. Snizhko S.I., Skrynyk O.A., Shcherban I.M. (2007). Osoblyvosti tryvalosti vehetatsiinoho periodu i periodu aktyvnoi vehetatsii na terytorii Ukrainy (tendentsii zminy vnaslidok hlobalnogo poteplinnia). *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, **2**, 119–128 [in Ukrainian].
22. Skrynyk O.A., Skrynyk O.Ya. (2006). Do problemy vyznachen- nia daty stiikoho perekhodu srednoi dobovoi temperatury povitria cherez fiksovane znachennia. *Nauk. pratsi UkrNDHMI*, **255**, 42–56 [in Ukrainian].
23. Khokhlov, V., & Yermolenko, N. (2017). Future climate change and it's impact on precipitation and temperature in Ukraine. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, **16**, 76–82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10> [in Ukrainian].
24. Shvydenko A., Buksha I., Krakovska S. (2018). Vulnerability of Ukraine's forests to climate change. Monograph. Nika-Tsentr. [in Ukrainian].
25. Shevchenko O.H., Snizhko S.I., Vitrenko A.O. (2019). Economic meteorology. The textbook.: Maister knyh [in Ukrainian].
26. Shedemenko I.P., Krakovska S.V., Gnatiuk N.V. (2012) Verifica- tion of surface temperature and precipitation from European gridded data set E-OBS for administrative regions in Ukraine. *Nauk. pr. UkrNDHMI*, **262**, 71–90 [in Ukrainian].
27. Lalic B., Eitzinger J., Dalla Marta A., Orlandini S., Firanj Sremac A., Pacher B. (2018) Agricultural Meteorology and Climatology. Firenze: Firenze University Press.
28. Technical Summary. (2023). In Climate Change 2021 — The Physical Science Basis (pp. 35–144). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>.
29. Breakout Group 3bis: Bias Correction (pp. 21–23) in IPCC, 2015: Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis Studies [T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, and M. Tignor (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland, pp. 171. https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/RPW_WorkshopReport.pdf.
30. Cornes, R.C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E.J.M., & Jones, P.D. (2018). An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **123** (17), 9391–9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>.
31. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022a). Summary for Policymakers. In Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty (pp. 1–24). Preface, Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>.
32. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022b). Summary for Policymakers. In Climate Change and Land: IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems (pp. 1–36). preface, Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.001>.
33. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Technical Summary. In Climate Change 2021 — The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 35–144). frontmatter, Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>.
34. Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., ... Yiou, P. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change

- projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, **14** (2), 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>.
35. Kebede, A.S., Nicholls, R.J., Allan, A., Arto, I., Cazcarro, I., Fernandes, J.A., Hill, C.T., Hutton, C.W., Kay, S., Lázár, A.N., Macadam, I., Palmer, M., Suckall, N., Tompkins, E.L., Vincent, K., & Whitehead, P.W. (2018). Applying the global RCP–SSP–SPA scenario framework at sub-national scale: A multi-scale and participatory scenario approach. *Science of The Total Environment*, **635**, 659–672. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.368>
 36. Schulzweida, Uwe. (2019, October 31). CDO User Guide (Version 1.9.8). <http://doi.org/10.5281/zenodo.3539275>
 37. Taylor, K.E., Stouffer, R.J., & Meehl, G.A. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **93** (4), 485–498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
 38. The WCRP Coupled Model Intercomparison Project — Phase 5 (CMIP5) — CLIVAR Exchanges Special Issue, No. 56, Vol. 16, 32 pp, 2011.
 39. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals (2017). WMO-No. 1203. 574 p.

Svitlana Krakovska¹
 ORCID: 0000-0001-9972-0937
 krasvit@ua.fm,

Tetiana Shpytal¹
 ORCID: 0009-0001-7731-4521
 tetianashpytal@gmail.com,

Anastasia Chyhareva^{1,2}
 ORCID: 0000-0003-0195-751X
 achyhareva@gmail.com,

Larysa Pysarenko^{1,2}
 ORCID: 0000-0002-2885-0213
 lolinal@ukr.net,

Lidiia Kryshstop^{1,3}
 ORCID: 0009-0003-8863-9422
 lidiia.kryshstop@gmail.com

¹ Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

² National Antarctic Scientific Center of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv

³ UNIGIS, Vrije Universiteit Amsterdam, Netherlands

CLIMATE CHARACTERISTICS OF THERMAL PERIODS IN UKRAINE UNTIL THE END OF THE 21ST CENTURY.

Part I: WARM PERIOD

The first article in a series of analyses on changes in thermal periods in Ukraine until the end of the 21st century is presented here. It focuses on analyzing the characteristics of the warm

period, defined by a persistent transition of the average daily air temperature above 0°C, separating it from the winter period. With the improvement in the spatial resolution of regional climate models (RCMs) and the updating of scenarios, there is a need to refine the characteristics of the warm period, crucial especially for agriculture and forestry. Based on data from the E-OBS database, the start dates, end dates, and duration of the warm period in Ukraine during the standard climatic period of 1961–1990 were analyzed, along with changes in these characteristics further in 1991–2010. An assessment of changes in values for future periods 2021–2040, 2041–2060, and 2081–2100 was also conducted using scenarios of representative concentration pathways (RCP 4.5 and RCP 8.5) with an ensemble of 34 RCMs from the Euro-CORDEX project with a spatial grid resolution of approximately 12×12 km. According to updated climate scenarios, the duration of the warm season in the 21st century will increase across the entire territory of Ukraine, with more pronounced changes expected in the North and East. Under RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios, an increase in the duration of the warm period is projected in 2021–2040 relative to 1991–2010: from 7–14 days in the South to 20–23 days in the North and East of Ukraine. In the period 2041–2060, under RCP 4.5, changes will range from 7 days in the South, Transcarpathia, and the Carpathians to 20–25 days in the Northeast, while under RCP 8.5, changes will range from 7–14 to 30–35 days, respectively. By the end of the century, these changes will continue, and in Crimea, there is a high likelihood that temperatures will not drop below 0°C, meaning there will be no winter season. Analysis of other thermal periods will be presented in subsequent parts of the study.

Keywords: thermal regime, climate change, representative concentration pathways, climate characteristic projections, regional climate model (RCM), date of persistent air temperature transition.

