

С.В. Краковська^{1*}

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

Т.М. Шпиталь¹

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

Л.Ю. Криштоп^{1,2}

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

А.Ю. Чигарева^{1,3}

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

С.В. Савчук¹

ORCID: 0009-0007-7861-9419
svetlanasvs120676@gmail.com,

УДК 551.583

DOI: <https://doi.org/ua/10.15407/Meteorology2025.08.062>

КЛІМАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМІЧНИХ ПЕРІОДІВ В УКРАЇНІ ДО КІНЦЯ ХХІ ст.

Частина IV: КЛІМАТИЧНЕ ЛІТО

У контексті сучасної зміни клімату та розвитку регіональних кліматичних моделей зростає потреба у детальній оцінці тривалості та дат початку й завершення термічних періодів, важливих для різних секторів економіки. У попередніх публікаціях досліджено зміни теплого (середня добова температура повітря $t > 0^{\circ}\text{C}$), вегетаційного ($t > 5^{\circ}\text{C}$) та періоду активної вегетації ($t > 10^{\circ}\text{C}$). Ця стаття завершує цикл досліджень термічних періодів в Україні та зосереджена на характеристиках кліматичного літа ($t > 15^{\circ}\text{C}$), ключового для здоров'я, рекреації, туризму, енергетики та агросектору. Метою було проаналізувати просторово-часові характеристики літнього сезону та їхні зміни у майбутньому. На основі даних E-OBS розраховано дати початку, завершення та тривалість літнього періоду у 1961–1990 та зміни у 1991–2010. Оцінку майбутніх змін проведено для 2021–2040, 2041–2060 та 2081–2100 періодів за сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 на основі 34 РКМ Euro-CORDEX із розділенням 12×12 км, що охоплює понад 7300 вузлів в Україні. Аналіз результатів розрахунків показав, що у 1961–1990 літній сезон починався переважно 10–20 травня і завершувався 17–27 вересня; у 1991–2010 сезон подовжився на 5–15 днів із зсувом початку на 2–5 днів раніше. Проекції за сценаріями впродовж ХХІ ст. свідчать про подальше подовження на 7–60 днів залежно від регіону та сценарію, із максимальним літнім періодом до 180–200 днів у Криму та південних областях за RCP 8.5 наприкінці століття, коли кліматичне літо в Карпатах може тривати, як наприкінці ХХ ст. на Передкарпатті (80–120 днів), а на Поліссі бути подібним до умов сучасного Криму (140–160 днів). Отримані результати, представлені в цій та попередніх частинах дослідження, мають важливе прикладне значення: їх можна використати для планування сільського господарства, оцінки ризиків для продовольчої безпеки, прогнозування енергетичних потреб, адаптаційних стратегій, а також для оцінки впливу зміни клімату на здоров'я населення, організації рекреації, розвитку туризму та території.

Ключові слова: термічний режим, зміна клімату, сценарії RCP, проєкції кліматичних характеристик, дата стійкого переходу температури повітря, Euro CORDEX.

ВСТУП

Данна стаття присвячена аналізу показників кліматичного літа й є IV частиною циклу досліджень щодо кліматичних характеристик термічних періодів в Україні до кінця ХХІ ст. У попередніх дослідженнях було оцінено зміни характеристик термічних періодів за сценарієм **A1B**, але за цим сценарієм була доступна менша кількість регіональних кліматичних моделей (РКМ) з більшим просторовим розділенням 25×25 км (Краковська та ін., 2016a, 2016b, 2018a, 2018b, 2019). Тому, у запропонованому циклі досліджень, розглянуто проєкції зміни клімату згідно оновлених репрезентативних сценаріїв помірних (**RCP 4.5**) і високих (**RCP 8.5**) концентрацій за ансамблем із 34 РКМ проєкту Euro-CORDEX із по-

кращенням просторової роздільної здатності сітки, зокрема уточнено деякі кліматичні характеристики в Україні до кінця ХХІ ст. Такий аналіз має ключове значення, передусім, для сільського та лісового господарств, зокрема, за оцінками вегетаційного періоду визначають строки робіт і проведення різних заходів обробки та вирощування.

Попередні дослідження авторів вказують на зростання тривалості теплого періоду ($t > 0^{\circ}\text{C}$), вегетаційного періоду ($t > 5^{\circ}\text{C}$) та періоду активної вегетації ($t > 10^{\circ}\text{C}$) впродовж ХХІ століття, що може підсилити агрокліматичний потенціал і врожайність культур за умови впровадження методів адаптації до зміни гідротермічного режиму, сучасних агротехнологій та розробки стратегій на різних

рівнях управління (Краковська та ін., 2023b, 2024, 2025).

Згідно сценаріїв **RCP 4.5** та **RCP 8.5** до кінця та середини століття відповідно очікується зростання тривалості теплого періоду у межах 7–35 днів, особливо на півночі та сході, з ймовірним зникненням зимового сезону в Криму. Зокрема, відносно **1991–2010** теплий період буде довшим в **2021–2040** на 7–14 днів на півдні та до 20–23 на півночі та сході; у **2041–2060** за **RCP 4.5** — на 7 днів на півдні, Закарпатті та Прикарпатті та до 20–25 на північному сході, а за **RCP 8.5** — на 7–14 до 30–35, відповідно. Ці тенденції збережуться до кінця століття (Краковська та ін., 2023b).

Тривалість вегетаційного періоду до кінця століття зросте на 40–70 днів згідно з обома сценаріями, однорідніше, ніж для теплого періоду, посилюючись зі сходу на захід. Очікується, що за сценарієм **RCP 8.5** у районі північного сходу України та в Українських Карпатах до кінця століття тривалість вегетаційного періоду відповідатиме значенням, що притаманні для південного узбережжя Чорного моря та Кримського півострова на початку ХХІ ст. (Краковська та ін., 2024).

Відповідно до нещодавно опублікованих результатів дослідження очікується, що період активної вегетації зросте у період **2021–2040** за **RCP 4.5** — від 7 до 14 днів у степовій частині Криму, на півдні Одещини, у Карпатах; а за **RCP 8.5** — переважно на 7–14 днів, у Карпатах — 14–21, на Дніпропетровщині — до 7; у період 2041–2060 за **RCP 8.5** — на 14–21 день, а на заході, у Криму, на півдні Одещини — до 30; на кінець століття у період **2081–2100** за **RCP 8.5** зміна відносно **1991–2010** сягатиме 31–70 днів, зростаючи зі сходу на захід (Краковська та ін., 2025).

Очевидно, що внаслідок зміни клімату із підвищенням температури повітря, відбуваються зміни тривалості кліматичних сезонів, зокрема і кліматичного літа. Літо — пора року із найвищими середніми добовими температурами повітря, яка триває у Північній півкулі зазвичай з червня до серпня (Шпиг, 2016). Визначення літа різняться, зокрема розрізняють астрономічне, що триває від літнього сонцестояння (20–21 червня) до осіннього рівнодення (22–23 вересня) (Szwed & Wasielewska, 2024), календарне (з 1 червня до 31 серпня у Північній півкулі), фенологічне за певними ознаками розвитку рослин (Sparks & Menzel, 2002). Проте не всі підходи враховують фактичну динаміку сезону, а оскільки температура повітря визначає більшість кліматичних процесів і життєдіяльність людини, термічні сезони є найбільш показовими для аналізу зміни клімату (Савчук та ін., 2018, 2020; Szwed & Wasielewska, 2024).

Фактична термічна динаміка враховується при визначенні кліматичного літа за порогом температури повітря (Малицька, 2019; Czernecki & Miętus, 2017; Szwed & Wasielewska, 2024). Зокрема згідно рекомендацій експертної групи з визначення зміни клімату (ETCCDI), порогове значення кліматичного літа визначалося, як сталий (≥ 6 діб) перехід середньої добової температури через $+15^{\circ}\text{C}$ у бік підвищення (початок) або зниження (кінець). Це визначення дає змогу коректно аналізувати зміни тривалості термічних періодів, зокрема кліматичного літа, за різними регіонами України та в умовах кліматичних змін (Краковська та ін., 2024). Саме про кліматичне літо, чутливе до зміни клімату та потепління, йдеться у представленому дослідженні.

Зсуви термічних періодів через потепління в Європі, зокрема і в Україні, відбуваються через флуктуації головних кліматоутворюючих факторів: збільшення окремих складових радіаційного режиму та зміни атмосферної циркуляції і характеристик хмарності (Заболоцька та ін., 2021; Краковська та ін., 2023b; 2024; 2025; Мартазінова та ін., 2023; Рибченко та ін., 2023, 2024). У ХХІ столітті саме літній сезон демонструє найбільш виражене потепління в Україні.

Згідно до сучасних вітчизняних і міжнародних публікацій щодо літа й оцінки ризиків, в Україні та сусідніх регіонах Європи найпомітнішим є літнє потепління із частішими й інтенсивнішими періодами спеки й посухи (ЕЕА, 2023; Xu et al, 2025). Відповідно до даних спостережень і кліматичних проєкцій в Україні в ХХІ столітті, особливо з 2015 року, найвиразнішим потепління є влітку, — при зростанні сонячної радіації, максимальних температур, зокрема понад $+30^{\circ}\text{C}$, триваліших періодів спеки (Government of Ukraine, 2025; Мартазінова та ін., 2025). Отже, саме літній сезон, що є предметом дослідження, демонструє найбільш виражене потепління й потребує пріоритетного вивчення (ЕАА, 2021; Schumacher et al., 2024). Підвищення середніх температур, подовження тривалості кліматичного літа, збільшення суми активних температур і кількості аномально теплих днів безпосередньо впливають на життєдіяльність суспільства (Boychenko & Maidanovych, 2024; УкрГМІ..., 2021, 2024).

Вивчення динаміки кліматичного літа має практичне значення для адаптації ключових секторів економіки до зміни клімату, зокрема сільського господарства, яке найбільш чутливе до змін у тепловому та водному режимах, і потребує відповідних і політичних, і управлінських, і практичних рішень для ефективної адаптації до нових агрокліматичних умов при зміщенні відповідних зон практично у всіх країнах світу (Allen & Sheridan, 2015; Schumacher et al., 2024).

При вивченні територіально-часових коливань літнього сезону зазвичай долучають порівняльний аналіз спеціалізованих кліматичних показників, серед них: тривалість, дати початку та закінчення; середня температура. Сучасні публікації розкривають характер змін кліматичного літа в Україні. У період попередньої стандартної кліматологічної норми (1961–1990) воно зазвичай починалося на початку червня та тривало близько 90 діб і відповідало календарному. У 1991–2020 роках його початок зсунувся на середину травня, а кінець — на середину вересня, що збільшило тривалість до 110–130 діб залежно від регіону. Особливо тривалишим літо очікується на півдні країни — до п'яти місяців, із поширенішими тропічними ночами, коли мінімальна температура за добу перевищує $+20^{\circ}\text{C}$ (Krakovska et al., 2023a, УкрГМІ..., 2024).

Очікується, що за сценарієм RCP 8.5 кліматичне літо до кінця XXI століття триватиме 150–160 діб у південних регіонах Карпатського регіону (Torma & Kis, 2022). Цей показник є індикатором біокліматичного теплового ресурсу, важливий для агрокліматичних розрахунків, планування вегетаційного періоду, енергетичного балансу, оцінки кліматичних ресурсів і має вирішальне значення при виборі сільськогосподарських культур і потреб в іригації для підвищення їх врожайності (Borovska & Khokhlov, 2024).

Кліматичне літо — це один із ключових термічних сезонів, що використовується для аналізу локальних кліматичних умов, які визначають вектори розвитку економічних секторів. Зміна показників літнього періоду впливає на інфраструктуру, енергетику та водний баланс, що є критичними для обороноздатності та повоєнного відновлення (Краковська та ін., 2024; Adger et al., 2014; Shevchenko et al., 2023; Shumilova et al., 2023). Це також стосується рекреації й туристичних потоків, де підвищення температур і зміни сезонності зменшують привабливість регіонів і деяких курортів та потребують адаптації туристичної інфраструктури (Gössling & Scott, 2025; IPCC, 2022a; Wei et al., 2025). Для здоров'я населення, особливо вразливих груп, подовження періодів високих температур означає більше теплових хвиль, зростання кількості теплових ударів і пов'язаних із спекою захворювань (Осадчий та ін., 2013; Турос та ін., 2022, 2023; Ballester et al., 2023a, 2023b; Ebi et al., 2021; Jay et al., 2021; Schlader et al., 2024; Skrynyk et al., 2025; WHO, 2023).

Суттєва зміна сучасних показників термічного режиму відбулася на середніх багаторічних значеннях і відхиленнях щодо норми. За деякими оцінками, середня літня температура майже на всій території країни зросла на $0,6\text{--}0,8^{\circ}\text{C}$, у центральних областях вище, ніж на 1°C , а на півдні — перевищила 21°C .

Кількість днів із середньою добовою температурою більше 15°C збільшилась на 7–10 днів у західних регіонах за останні десятиріччя. Підвищення середньої температури на $1,5^{\circ}\text{C}$ за сценарієм A1B щодо 1981–2010 і вологості в Україні до середини XXI століття, призведуть до неоднорідного просторового розподілу та посилення регіональних кліматичних ризиків (Балабух та Малицька, 2017; Малицька та Балабух, 2020). Водночас зменшення доступності водних ресурсів унаслідок посухи створює додаткові ризики для водної безпеки (Flint et al., 2024; Snizhko et al., 2024). Зміни кліматичних показників, зокрема за проєкціями сценаріїв RCP, впливають на енергетику, водозабезпечення, рекреацію, водоспоживання та інші сфери. Вони потребують урахування у виробничій діяльності кліматозалежних галузей економіки, зокрема, у регіонах з їх найбільшою імовірністю (Балабух, 2022).

Зміни, що відбуваються за кліматичного літа в Україні можна розділити на позитивні та негативні щодо впливу та наслідків. Серед позитивних можна відмітити: зростання теплового ресурсу для сільськогосподарського виробництва; можливість вирощування нових теплолюбних культур на півночі України; зниження потреби в опаленні у міжсезоння (Boychenko & Mайдanovych, 2024). До негативних наслідків відносяться: поширення посух, особливо на півдні та сході країни; зростання кількості небезпечних явищ — теплових хвиль, злив, граду; підвищення навантаження на енергосистему через потребу в охолодженні тощо (Краковська та ін., 2023b; Schumacher et al., 2024; Shevchenko et al., 2014).

Для глибшого розуміння динаміки кліматичного літа нагальним є деталізування його досліджень у декількох напрямках: розробка регіональних сценаріїв зміни термінів і характеристик літа; моделювання ризиків для аграрного сектора, здоров'я населення, водних ресурсів; оцінка адаптаційного потенціалу за регіонами з конкретними рекомендаціями і розробкою стратегій для мінімізації негативних наслідків щодо різних секторів економіки та суспільства, розробкою систем оповіщення про екстремальні події для забезпечення сталого розвитку держави; взаємозв'язок з іншими кліматичними показниками (опаді, вологість, вітровий режим тощо) (Адаменко, 2019; Балабух, 2022; Кліматичні зміни..., 2015; Кривобок, 1997; Малицька, 2019; Torma & Kis, 2022).

У геополітичних та екологічних реаліях України важливим є вивчення наслідків зміни температурного режиму для здоров'я населення та подальших розробок стратегій відновлення країни. Збільшення періодів аномальної спеки влітку призводить до зростання ризиків теплових ударів та серцево-

судинних захворювань серед вразливих груп населення, потребує посилення системи моніторингу якості повітря та розробки заходів охорони здоров'я (Турос та ін., 2022, 2023; Wei et al., 2025). Інтеграція таких даних у національні адаптаційні документи (Government of Ukraine, 2025) створює основу для практичної реалізації заходів із підвищення стійкості інфраструктури, агросектору й охорони здоров'я (Про схвалення..., 2022).

Метою даної роботи є аналіз і виявлення просторово-часових змін періоду кліматичного літа в Україні, зокрема його тривалості і дат початку та закінчення, за періоди фактичних спостережень (1961–1990, 1991–2010) і майбутні періоди до кінця ХХІ ст. (2021–2040, 2041–2060, 2081–2100) за сценаріями помірних (RCP 4.5) і високих (RCP 8.5) концентрацій парникових газів.

ПОЧАТКОВІ ДАНІ ТА МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ

У дослідженні було проаналізовано просторово-часові характеристики та зміни тривалості і дат початку та закінчення кліматичного літа до кінця ХХІ ст. за даними проєкцій добової приземної температури повітря. У якості базових використовувалися дані ансамблевої реалізації Європейської бази E-OBS версії 20.0e для минулого періоду 1961–2010, яка містить середньодобові температури повітря з горизонтальним кроком $\sim 12 \times 12$ км (Cornes et al., 2018). Проміжок часу 1961–2010 на момент початку дослідження відповідав двом кліматичним періодам: 1961–1990 (WMO, 2017) та 1991–2010 (IPCC, 2023).

Для оцінки зміни просторово-часових характеристик літнього сезону у майбутньому залучався ансамбль із 34 регіональних кліматичних моделей Міжнародного Координованого експерименту з масштабування для Європи Euro-CORDEX (Jacob et al., 2014) у межах проєкту глобального моделювання CMIP5 (Taylor et al., 2012, The WCRP..., 2011) за сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 із просторовою роздільною здатністю $0,1^\circ$.

Не дивлячись на те що вже доступні перші дані моделей проєкту глобального моделювання CMIP6, використання зазначених РКМ для аналізу метеорологічних даних забезпечує наукову обґрунтованість дослідження і достовірність оцінок зміни клімату (Краковська та ін., 2016a, 2016b, 2018a, 2018b, 2019, 2024).

Для обчислення тривалості та дат (порядкових днів року) початку літнього періоду застосовувалася функція `esa_gsl` із пакета CDO (Climate Data Operator) (Schulzweida, 2019). Вона визначає дати стійкого переходу середньої добової температури

повітря через поріг у 15°C : у першому півріччі — коли вперше після 1 січня температура перевищує 15°C протягом шести й більше днів поспіль, а в другому півріччі — коли вперше після 1 липня температура стає нижчою за 15°C і зберігається такою не менше шести днів поспіль.

Оцінювання змін просторово-часових характеристик кліматичного літа здійснювалося у всіх вузлах розрахункової сітки (понад 7300 точок на території України) для минулих періодів 1961–1990 і 1991–2010 за даними E-OBS, а також для кожної регіональної кліматичної моделі (РКМ) у трьох майбутніх 20-річних інтервалах із базовим періодом 1991–2010. Зміни визначали як різницю між багаторічними середніми значеннями майбутніх періодів (2021–2040, 2041–2060, 2081–2100) та базового періоду для кожної РКМ, після чого результати усереднювали за ансамблем із 34 моделей, відповідно до методології Шостого звіту IPCC (IPCC, 2022b, 2023).

У процесі роботи залучено низку методів із обробки та верифікації даних, агрегації, геообробки та візуалізації отриманих результатів. Для попередньої корекції похибок використовувалося кuartильне мапування, здійснене провайдерами даних (IPCC, 2015). Для зниження зміщення (bias adjustment) проєкцій ансамблю РКМ застосовувався адитивний (дельта) метод, який спирається на базові значення температури з E-OBS (Шедеменко та ін., 2012; Паламарчук та Краковська, 2018).

Для узгодження різних масок покриття (особливо в прибережних зонах) застосовувалася ГІС-система QGIS 3.28. Візуалізація результатів здійснювалася у вигляді електронного атласу з використанням JavaScript-бібліотеки Leaflet js з можливістю паралельного порівняння двох карт, побудованих на різних наборах даних (Краковська та ін., 2023b, 2024).

Базовий період завершувався 2010 роком, оскільки після 2014 року різко скоротилася кількість метеостанцій через війну на території України, розпочату РФ. Такий вибір відповідає рекомендаціям ВМО (WMO, 2017). Більше інформації щодо алгоритму підбору РКМ та визначення періодів зміни клімату для дослідження описана у Краковська та ін., 2023b та 2024, оскільки методика відповідає раніше апробованій для оцінки теплого, вегетаційного періодів і періоду активної вегетації в Україні.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХНІЙ АНАЛІЗ

Тривалість кліматичного літа. У кліматичний період 1961–1990 найкоротша тривалість кліматичного літа, 3–40 днів, спостерігалася у Карпатах, 40–60 — здебільшого в осередках на північному заході Карпат, 60–80 — по схилах гір та в локаціях на

заході Львівської та сході Тернопільської областей (рис. 1). У західній частині країни, а саме: у прикарпатських районах Івано-Франківської області, на переважній території Львівської, північних частинах Тернопільської та Хмельницької, на західній частині Житомирської, у Волинській та Рівненській областях, а також на півночі Сумської та північному сході Чернігівської областей літній сезон тривав 80–100 днів. Тривалість у 100–120 днів кліматичного літа відмічалась у Чернігівській та Сумській областях, у районах крайньої півночі Харківської та Луганської, західній частині Київської, східній частині Житомирської, на заході Черкаської, у Вінницькій області (крім південних районів), південних частинах Тернопільської та Хмельницької, північно-східній території Івано-Франківської, у центрі Чернівецької, в локаціях на півночі Львівської, Рівненської та Хмельницької областей. На Полонинському та Вулканічному хребтах спостерігались локації з тривалістю літнього сезону 80–100 та 100–120 днів. На півдні Одеської області, в осередках, що охоплювали південь Миколаївської і південний захід Херсонської, південний схід Херсонської і південний захід Запорізької областей, у локаціях на узбережжі Донецької області літній сезон тривав 140–160 днів. На решті території України, яка включала області всіх регіонів (здебільшого Східного, Центрального та Південного) літній сезон тривав 120–140 днів. Окремо слід розглянути АР Крим, де літній сезон тривав у локаціях Головного пасма 60–80 та 80–100 днів, на Внутрішньому пасмі — 100–120, на Зовнішньому пасмі та переважно на північному заході — 120–140, на решті території півострова — 140–149 днів.

У наступний період **1991–2010** найкоротше кліматичне літо, 40–60 днів, спостерігалось у південно-східних Карпатах (17–40 на хребтах цих гір), на решті території Карпат — 60–80, по схилах — 80–100 днів (рис. 1). У західній та північній частинах України даний сезон тривав 100–120 днів. Такий процес охоплював Полонинський хребет, Кримські гори, Львівську та Івано-Франківську області (крім їх гірських територій), Тернопільську (за виключенням локації на заході), Чернівецьку (крім гірської частини та осередку у центрі), Волинську, Рівненську, Хмельницьку, Житомирську, Чернігівську, Сумську області, Вінницьку (крім південного сходу), західні частини Київської та Черкаської, північні райони Полтавської, Харківської та Луганської областей. На півдні країни, а саме: у південній частині Одеської та Миколаївської областей, на південному заході та південному сході Херсонської, у західній частині Запорізької, у районі Каховського водосховища, на Керченському півострові та на північному сході АР Крим літній сезон тривав 140–151 день. На решті

території країни, значній її частині, переважно Східного, Південного та Центрального регіонів, даний сезон тривав 120–140 днів.

Сценарій **RCP 4.5** у 2021–2040 роках прогнозує найкоротшу тривалість кліматичного літа у Карпатах: 19–40 днів — на найвищих хребтах, 40–60 — у південно-східній частині, 60–80 — на решті території гір, 80–100 — по схилах (рис. 1). 100–120 днів даного сезону очікується на Полонинському хребті, у Львівській та Івано-Франківській областях (крім їх гірських територій та окремих рівнинних локацій), у Волинській, західній частині Тернопільської, на значних територіях Рівненської та Житомирської, у північних районах Чернігівської та Сумської областей. На півдні України, а саме: в Одеській області (крім північних районів), Херсонській (за виключенням південного заходу), південній частині Дніпропетровської, Запорізькій (крім осередку на сході), південних районах Донецької та Луганської, осередках у Миколаївській області, в АР Крим (без Кримських гір), а також на Закарпатті тривалість літнього сезону очікується у 140–159 днів. На решті території країни, значних просторах від сходу до західних областей, даний сезон триватиме 120–140 днів.

У **2021–2040** роках сценарій **RCP 8.5** передбачає саму коротку тривалість кліматичного літа у Карпатах: 22–40 та 40–60 днів у південно-східній частині, 60–80 — на решті території, 80–100 — вздовж схилів (рис. 1). 100–120 днів даного періоду очікується у передгір'ях Карпат, у західній частині Тернопільської області та окремих районах Львівської, Волинської та Житомирської областей. Переважно у південній частині України, а саме: значних площах Одеської, Миколаївської, Херсонської, Дніпропетровської, Запорізької областей, південних частинах Донецької та Луганської, у південних осередках Полтавської області, в АР Крим (крім Кримських гір та осередку на сході), а також в локації, що охопить схід Чернівецької, південь Хмельницької та південний захід Вінницької областей, і в Закарпатті літній сезон триватиме 140–160 днів. На решті території країни — 120–140, в осередках на сході АР Крим та на півдні Одеської області — 160–164 дні.

За сценарієм **RCP 4.5**, у **2041–2060** роках 60–80 днів кліматичного літа очікуються на значній території Карпат, 26–40 та 40–60 — у південно-східній частині, 80–100 — по схилах, 100–120 — у передгір'ї та в локації на сході Львівської та заході Тернопільської областей (рис. 1). Тривалість даного сезону у 120–140 днів очікується переважно у північній, західній, північно-східній та частково центральній частинах України. А саме: у всіх областях Північного регіону, в областях Західного (крім гірських територій, Закарпаття, півдня Хмельницької та сходу

ТРИВАЛІСТЬ КЛІМАТИЧНОГО ЛІТА CLIMATIC SUMMER LENGTH

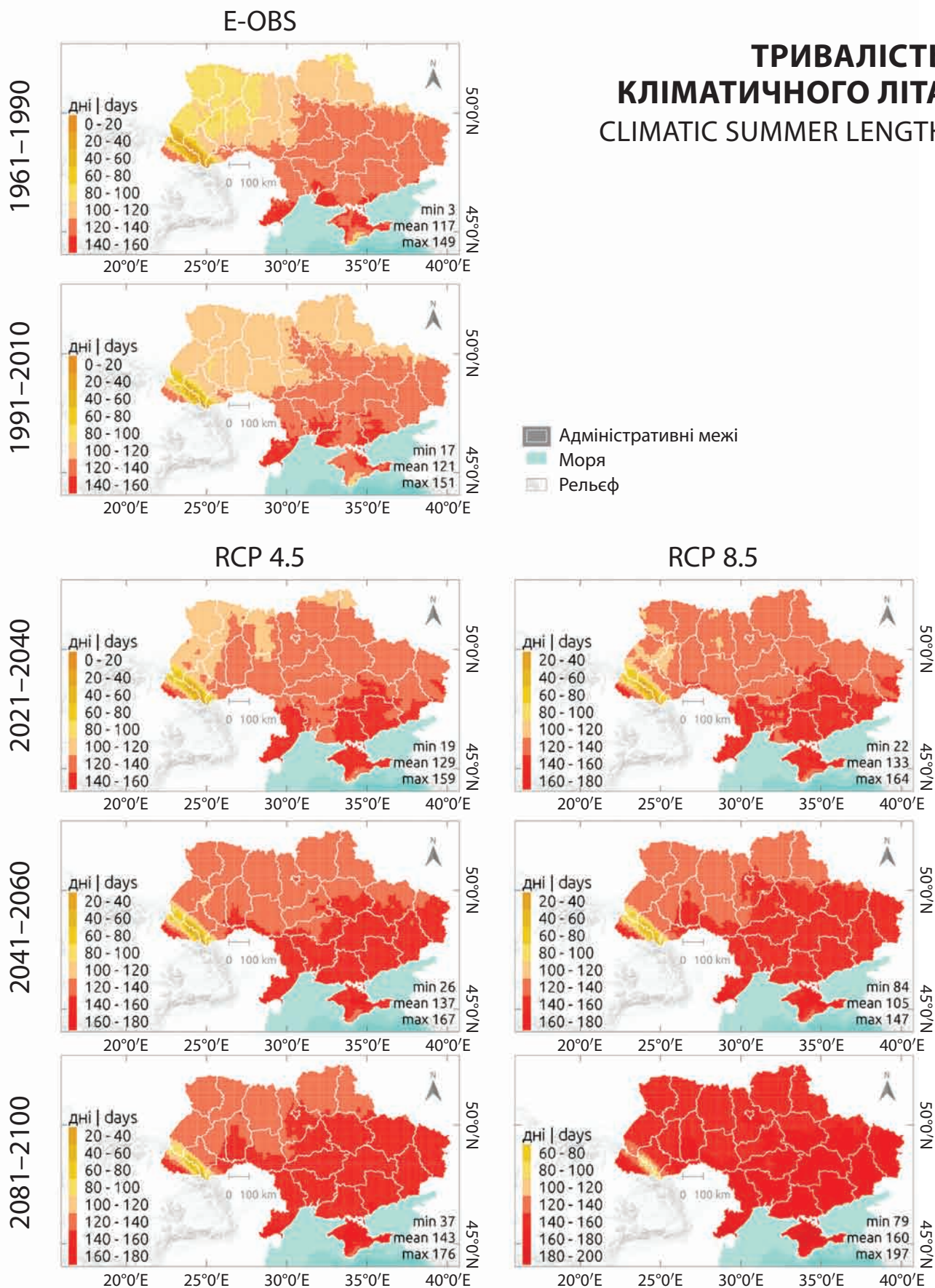


Рис. 1. Тривалість кліматичного літа за даними E-Obs, сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 у вказані періоди XX–XXI ст.

Чернівецької областей), у Вінницькій (за винятком південних районів), значній території Черкаської, північних та центральних районах Кіровоградської, північних частинах Полтавської, Харківської та Луганської областей, у Кримських горах. На решті території країни, переважно у східній та південній частинах, літній сезон триватиме 140–160, а в локації на крайньому півдні Одеської області, на сході та південному заході АР Крим — 160–167 днів.

Сценарій **RCP 8.5** у **2041–2060** роках прогнозує тривалість кліматичного літа у південно-східних Карпатах 60–80 днів (36–60 — у високих горах), 80–100 днів у північно західних Карпатах (60–80 у високих горах), 100–120 днів у передгір'ях (рис. 1). У північній та західній частинах країни даний сезон триватиме 120–140 днів. Такий процес охопить Львівську та Івано-Франківську області (крім їх гірських територій), центральні райони Чернівецької, Тернопільську (за виключенням південного сходу), Волинську, Рівненську, Житомирську, Чернігівську, Сумську області, північні частини Хмельницької та Вінницької, західні частини Київської та Черкаської, крайні північні райони Полтавської та Харківської областей та Головне пасмо Кримських гір. На решті материкової території країни, а також у Кримських горах та у північно-західній частині АР Крим літній сезон триватиме 140–160 днів. У південних районах Одеської області та решті території Кримського півострова — 160–173 дні.

Для періоду на кінець ХХІ століття (**2081–2100**) за сценарієм **RCP 4.5** отримано практично аналогічний розподіл значень показника як і для сценарію **RCP 8.5** для **2041–2060** (рис. 1).

Згідно сценарію **RCP 8.5**, у **2081–2100** роках вірогідна тривалість кліматичного літа у південно-східних Карпатах — 100–120 днів (79–100 — у високих горах), 120–140 днів — у північно-західних Карпатах (рис. 1). У північній та західній, частково центральній частинах країни даний сезон триватиме 140–160 днів. Така тривалість очікується у Львівській та Івано-Франківській областях (за виключенням гірських територій), центральних районах Чернівецької, у Волинській, Рівненській, Житомирській, Чернігівській, Сумській областях, Тернопільській (за виключенням південного сходу), у північних частинах Хмельницької та Вінницької, у Київській та Черкаській (крім їх центральних районів), північних районах Полтавської та Харківської областей, осередках у центрі Кіровоградської та на півночі Луганської областей. На решті материкової території країни літній сезон може тривати 160–180 днів, на півдні Одеської області — 180–200 днів. В АР Крим даний сезон буде розподілений: на північному заході та у Кримських горах — 160–180 днів (на Головному пасмі 140–160), на решті території півострова — 180–197 днів.

Початок (день року) кліматичного літа. У **1961–1990** роках найпізніший початок кліматичного літа, на 180–207 день, відмічався у південно-східних Карпатах, на 160–180 — на решті території гір, на 150–160 — у Прикарпатті та в осередку, що охоплював північну частину Тернопільської області та прилеглі до неї райони на заході Хмельницької та півдні Рівненської областей (рис. 2). Початок даного сезону на 140–150 день фіксувався у всіх регіонах України: у Львівській, Івано-Франківській та Чернівецькій областях (крім їх гірських територій), південній частині Тернопільської, у Волинській, Рівненській, Хмельницькій, Житомирській, значній території Вінницької областей. А також у Київській (за виключенням сходу), на заході Черкаської, у Чернігівській та Сумській, у північних районах Полтавської, Харківської та Луганської областей, у центральних районах Одеської, а також на території, що охоплювала східні райони Дніпропетровської і Запорізької, та західні Донецької областей. У Закарпатті, окремих локаціях Одеської, Миколаївської, Херсонської, Полтавської, Донецької та Луганської областей літній сезон починався на 132–140 день. На решті материкової території України, у Східному, Південному та переважно Центральному регіонах, даний сезон розпочинався на 132–140 день. В АР Крим на Головному пасмі гір початок сезону відмічався на 160–180 день, на Внутрішньому пасмі — 150–160, на Зовнішньому пасмі, у пригірських районах та на Керченському півострові — 140–150, на решті території півострова — 132–140 день.

У **1991–2010** роках найпізніше, на 180–198 день, кліматичне літо починалось у високих горах південно-східних Карпат, на 160–180 — на решті території гірської країни, 150–160 — на схилах Карпат та в локаціях на заході Тернопільської та Волинської областей (рис. 2). На 140–150 день початок даного сезону фіксувався у всіх регіонах, на переважній території країни. У всіх областях Західного (крім Закарпаття) та Північного регіонів, у Вінницькій та Черкаській областях (за виключенням окремих районів на сході), у північних частинах Кіровоградської та Полтавської областей. Також на значній території Харківської області, на півночі Луганської, у центральних районах Донецької, на сході Запорізької та півдні Херсонської областей. На решті материкової території країни, переважно Східного, Південного і, частково, Центрального регіонів, початок кліматичне літо починалось на 130–140 день. В АР Крим на Головному пасмі початок сезону відмічався на 160–180 день, на Внутрішньому пасмі — 150–160, на північному сході півострова — 130–140, на решті території півострова — 140–150 день.

**ПОЧАТОК
КЛІМАТИЧНОГО ЛІТА
($T > 15^{\circ}\text{C}$)
START DAY
OF CLIMATIC SUMMER**

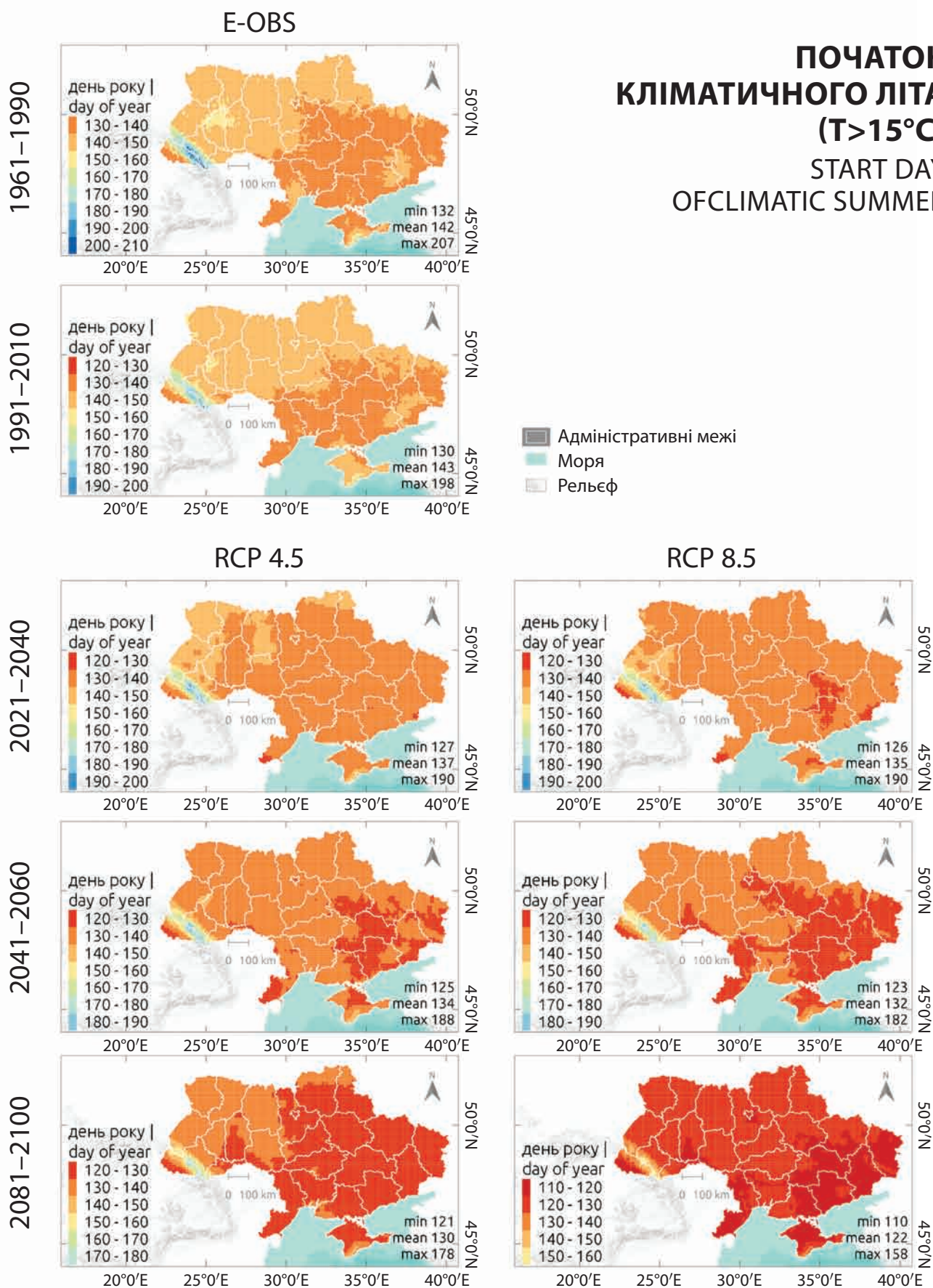


Рис. 2. Початок (день року) кліматичного літа за даними E-Obs, сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 у вказані періоди XX–XXI ст.

За сценарієм **RCP 4.5** у період **2021–2040** очікується найпізніший прихід кліматичного літа на 180–190 день у високих горах південно-східних Карпат, на 160–180 — на решті території гір, на схилах Карпат — на 150–160 день (рис. 2). На значних територіях Львівської, Івано-Франківської, Рівненської та Житомирської областей, у західній частині Тернопільської, у Волинській, північних районах Вінницької, Чернігівської та Сумської областей початок даного сезону ймовірний на 140–150 день. В осередках на півдні Закарпаття, Донецької та Одеської областей початок даного сезону очікується на 127–130 день. На решті материкової території країни — на 130–140 день. В АР Крим літо може починатись: на Головному пасмі Кримських гір — на 150–160 день, на Внутрішньому та Зовнішньому — 140–150, на решті території Кримського півострова — на 130–140 день.

Згідно сценарію **RCP 8.5**, у **2021–2040** роках на окремих хребтах південно-східних Карпат кліматичне літо починатиметься на 180–190 день, на решті території гірської країни — на 160–180, вздовж схилів — на 150–160 день (рис. 2). У західній частині Тернопільської області, на значній території Івано-Франківської, в районах Львівської та осередках на заході Волинської, у Кримських горах даний сезон починатиметься на 140–150 день. У південних районах Одеської та Донецької областей, у північних та центральних районах Запорізької, у східній частині Дніпропетровської області, у Закарпатті та центральних районах Криму даний сезон починатиметься на 126–130 день. На решті території країни — на 130–140.

Сценарій **RCP 4.5** у **2041–2060** роках передбачає початок кліматичного літа на 180–188 день на окремих хребтах південно-східних Карпат, на решті території гірської країни на 160–180, переважно на схилах 150–160. У передгірських районах, а також в осередку на межі Львівської та Тернопільської областей і в Кримських горах — 140–150 день (рис. 2). Найраніший початок літнього сезону, на 125–130 день, очікується переважно у східній частині України: у Дніпропетровській області (крім північного заходу), південній частині Полтавської, у Запорізькій (за виключенням північного сходу), на сході Херсонської, у південній частині та північних, центральних та західних районах Донецької, у центральних районах Луганської, у районах південної частини Харківської, на півдні Одеської області, а також у Закарпатті, на крайньому півдні Вінницької і Хмельницької областей та у північно-східній частині АР Крим. На значній частині території країни, що охоплюватиме області всіх регіонів, переважно Східного, Південного, Центрального та Північного, літо може починатися на 130–140 день.

За сценарієм **RCP 8.5**, у **2041–2060** роках, найпізніше кліматичне літо буде починатись так само в Карпатах: на 160–182 день у південно-східній частині, на 150–160 — на решті території гірської країни, на 140–150 день — по схилах гір, а також на Головному пасмі Кримських гір (рис. 2). Переважно у східній та південній частинах країни літо починатиметься на 123–130 день. Такі значення отримані на значних територіях Донецької, Луганської, Запорізької, Дніпропетровської та Одеської областей, у Харківській та Полтавській (крім їх північних районів), східній частині Херсонської та Черкаської, центральних Київської та північних районах Миколаївської областей, а також у Закарпатті та ареалі, що охопить південні райони Хмельницької, схід Чернівецької та крайній південний схід Вінницької областей. А також на значній території АР Крим (крім його гірської частини, Тарханкутського та Керченського півостровів, де літо починатиметься на 130–140 день). На решті території України початок літнього сезону очікується на 130–140 день.

Сценарій **RCP 4.5** у **2081–2100** роках передбачає саме пізнє настання кліматичного літа у Карпатах: на 160–178 день у високогірній південно-східній частині, на 150–160 на решті території гір, на 140–150 на схилах Карпат та на Головному пасмі Кримських гір (рис. 2). Переважно у західній частині України даний сезон почнеться на 130–140 день. Такий процес охопить Тернопільську область (крім південного сходу), Вінницьку (за виключенням півдня), Волинську, Рівненську, Житомирську, північ Хмельницької, Львівську та Івано-Франківську (крім їх гірських територій), центральний район Чернівецької, райони на заході Київської та Черкаської, північ Чернігівської та Сумської, осередок на півдні Кіровоградської, південні райони Миколаївської, південно-східні Херсонської області та Кримські гори. На решті території України початок літнього сезону очікується на 121–130 день.

Згідно сценарію **RCP 8.5**, у **2081–2100** роках найпізніший початок кліматичного літа відмічатиметься у Карпатах: на 150–158 день у високогір'ях південно-східних Карпат, на 140–150 на решті території гір, на 130–140 — у передгір'ях та на Головному пасмі Кримських гір (рис. 2). Самий ранній початок даного сезону, на 110–120 день, передбачається, переважно, у південно-східній частині України: значних територіях Луганської, Донецької, Запорізької, Дніпропетровської областей, східній частині Херсонської, у південних та центральних районах Одеської, районах північної частини Миколаївської області, на півдні Полтавської та Харківської областей, а також в центральному районі Київської, в ареалі, що охопить схід Чернівецької,

південь Хмельницької та південний захід Вінницької області, в Закарпатті, а також на значній території АР Крим (крім Керченського півострова, Кримських гір та осередку на північному сході де сезон починатиметься на 120–130 день). На решті території країни, від північно-східних до західних кордонів, літо починатиметься на 120–130 день.

Закінчення (день року) кліматичного літа.

У **1961–1990** роках кліматичне літо найраніше закінчувалось у Карпатах, на 201–230 день (рис. 3). До 230–250 дня тривав даний сезон здебільшого в областях західної частини України (Львівській, Волинській, Рівненській, центральних районах Івано-Франківської, північних частинах Тернопільської та Хмельницької областей, у західній частині Житомирської), вздовж Полонинського хребта, а також у північних районах Чернігівської та Сумської областей. На 250–260 день спостерігалось закінчення сезону на решті території Житомирської, Чернігівської та Сумської областей, у західній та північній частинах Київської, північній частині Вінницької, у західних районах Черкаської, північно-східній частині Івано-Франківської, в осередках на півдні Тернопільської, Хмельницької та Чернівецької областей, уздовж Вулканічного хребта, в осередках на крайній півночі Луганської та Харківської областей. Закінчення кліматичного літа на 260–270 день спостерігалось переважно у центральній та східній частинах країни: на решті території Київської, Вінницької, Черкаської, Чернівецької, у крайніх південних районах Тернопільської та Хмельницької областей, в Закарпатті, у Харківській, Луганській, Полтавській, Кіровоградській, на півночі Одеської та Миколаївської областей, у Донецькій та Дніпропетровській (крім південних районів). На решті території країни (у південній частині) закінчення даного сезону переважно відмічалось на 270–280 день. На цій території слід виокремити південно-східні райони Одеської області, схід та західні райони АР Крим, де кінець сезону фіксувався пізніше, на 280–285 день, а у Кримських горах раніше, на 260–270 день (на Головному пасмі на 250–260).

У **1991–2010** роках закінчення кліматичного літа, на 207–230 день, відмічалось у південно-східній високогірній частині Карпат, на решті території гір — на 230–250 день (рис. 3). У західній частині та на північному сході України закінчення сезону спостерігалось на 250–260 день. Такий процес охоплював всі області Західного регіону (крім Закарпаття та центру Чернівецької області), Житомирську, Сумську, Вінницьку (крім південних районів) області, північ та схід Чернігівської, західні райони Київської та Черкаської, північні райони Харківської та осередок на північному заході Луганської облас-

ті. Закінчення активного вегетаційного сезону на 260–270 день спостерігалось, здебільшого, на сході та у центрі країни: на решті територій Київської, Чернігівської, Черкаської, Вінницької, Харківської областей, у Полтавській, Луганській, Кіровоградській, Донецькій (крім південних районів), на сході Запорізької, у Дніпропетровській (крім півдня та сходу), у крайніх північних районах Одеської та Миколаївської областей, Кримських горах, а також у Закарпатті та центрі Чернівецької області. На півдні України даний сезон закінчувався на 270–280 день, крім південно-східних районів Одеської, узбережжя Херсонської та Запорізької областей, східної частини та західних районів АР Крим, де закінчення сезону спостерігалось найпізніше, на 280–287 день.

За сценарієм **RCP 4.5** у період **2021–2040** очікується найпершим закінчення кліматичного літа, на 209–230 день, у високих горах Карпат, на 230–250 день — на решті території гірської країни (рис. 3). До 250–260 дня триватиме літо на заході та у північних районах країни: у Львівській, Волинській областях, у Рівненській та Івано-Франківській (крім їх південно-східних районів), західній частині Тернопільської області, вздовж Полонинського хребта, у центральних та північних районах Житомирської, на півночі Чернігівської та Сумської областей. Закінчення сезону на 260–270 день передбачається у всіх регіонах країни, крім південного: на решті територій Чернігівської, Сумської, Житомирської, Тернопільської, Івано-Франківської та Рівненської областей, у Вінницькій та Хмельницькій (крім їх південних районів), центральній частині Чернівецької області, вздовж Вулканічного хребта, у Київській, Черкаській та Харківській областях, у Полтавській (за винятком півдня), у Кіровоградській (крім сходу), на півночі Луганської та Донецької областей. На решті території країни (переважно на її півдні та південному сході), а також в Закарпатті та ареалі, що охопить південні райони Хмельницької і Вінницької та схід Чернівецької областей, закінчення кліматичного літа передбачається на 270–280 день. У південній частині Одеської області, ареалі, що охопить південний схід Херсонської та південний захід Запорізької, в АР Крим (крім Кримських гір) літо триватиме до 280–290 дня. В осередках на Керченському півострові та на південному заході АР Крим ймовірно до 294 дня.

Згідно сценарію **RCP 8.5**, у **2021–2040** роках на 210–230 день очікується закінчення кліматичного літа у високих горах Карпат, 230–250 день — на решті території гір. 250–260 — вздовж схилів Карпат, у центральних та східних районах Львівської області, на півдні Волинської, на півночі та у південних районах Рівненської, на заході Тернопільської, на

ЗАКІНЧЕННЯ КЛІМАТИЧНОГО ЛІТА ($T > 15^{\circ}\text{C}$) END DAY OF CLIMATIC SUMMER

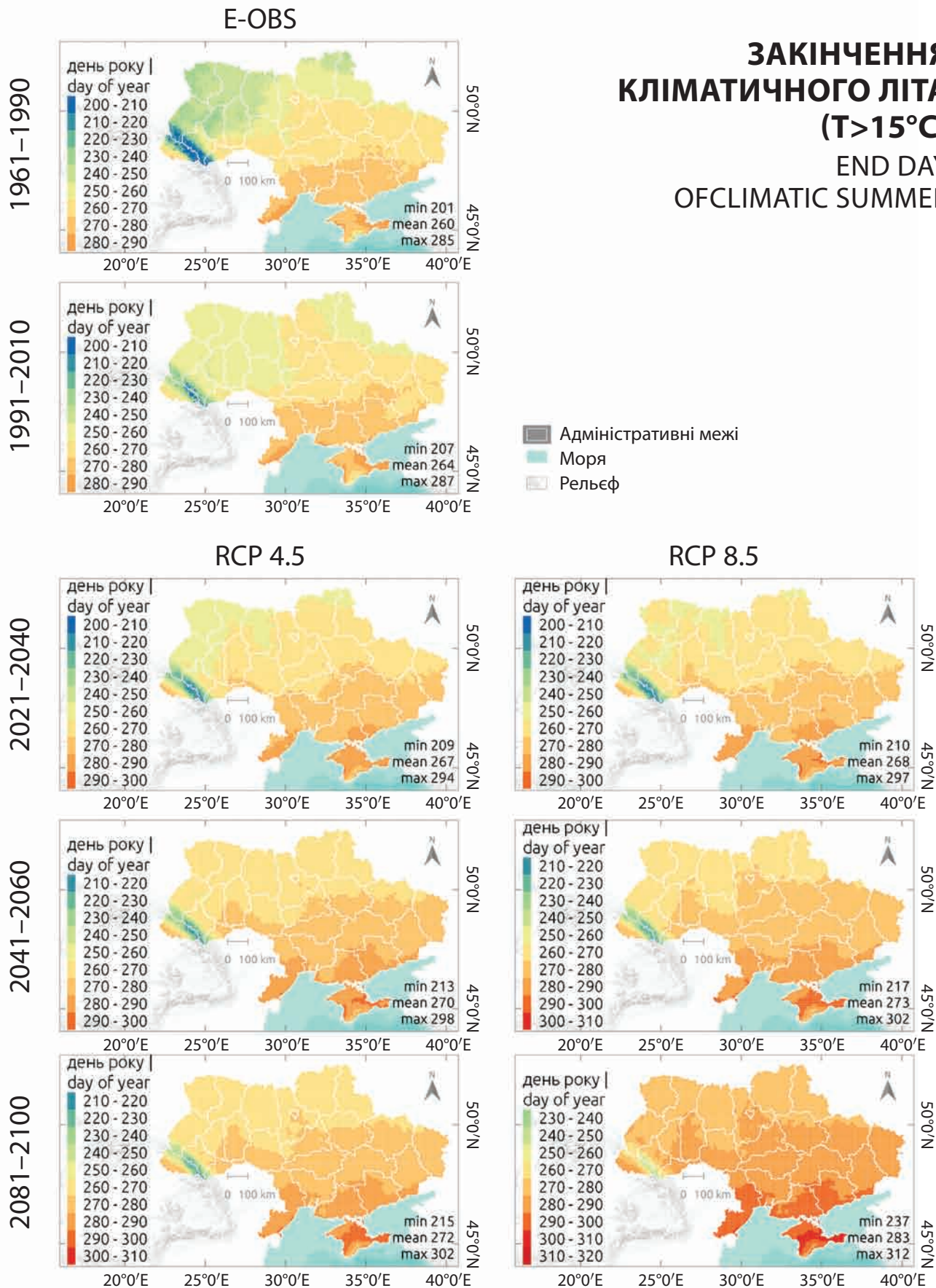


Рис. 3. Закінчення (день року) кліматичного літа за даними E-Obs, сценаріями RCP 4.5 та RCP8.5 у вказані періоди XX–XXI ст.

півночі та в центрі Житомирської, на півночі Сумської та північному сході Чернігівської (рис. 3). Закінчення літа на 260–270 день прогнозується на значній території північної частини країни від сходу до заходу. У Миколаївській області, Дніпропетровській, Донецькій, Луганській (крім півночі), Запорізькій (за винятком південного заходу), Кіровоградській (крім північних районів), на півночі та заході Херсонської, у північній частині Одеської, у південних районах Харківської та Полтавської областей, в ареалі, що охопить південь Хмельницької, схід Чернівецької, південні райони Вінницької та південний схід Тернопільської областей, а також в Закарпатті літо закінчуватиметься на 270–280 день. На 280–290 день прогнозується закінчення літнього сезону у південній частині Одеської області, південно-східній частині Херсонської, на південному заході Запорізької, вздовж узбережжя Донецької області та в АР Крим (крім осередків на сході та південному заході півострова, де сезон закінчиться пізніше, на 290–297, а також Кримських гір, в яких сезон закінчиться раніше, на 270–280 день).

Сценарій **RCP 4.5** у **2041–2060** роках передбачає саме раннє, на 213–230 день, закінчення кліматичного літа у високогірній південно-східній частині Карпат, 230–250 — на решті території гір, 250–260 — вздовж схилів Карпат (рис. 3). На значній території країни, здебільшого на сході, в центрі та півдні, літній період закінчиться на 270–280 день. Такий процес буде спостерігатись у Луганській області (крім осередку на північному заході), Донецькій (за виключенням південних районів), на півночі та сході Запорізької, на заході Херсонської, на півночі Одеської області, у Кіровоградській, Миколаївській, Дніпропетровській областях, у південних частинах Харківської, Полтавської, Черкаської, Вінницької, Хмельницької областей, на сході Чернівецької та в Закарпатті. Закінчення літа на 280–290 день прогнозується у південній та центральній частині Одеської області, у східних та центральних районах Херсонської, на заході та півдні Запорізької, у південних районах Донецької, по узбережжю Миколаївської та Херсонської областей, в АР Крим (крім східних та південно-західних районів півострова, де сезон закінчиться пізніше, на 290–298 день, а також Кримських гір, в яких закінчення відбуватиметься раніше, на 270–280 день). На решті території України, переважно у північно-східній, центральній та західній частинах, активний вегетаційний сезон буде закінчуватись на 260–270 день.

Сценарій **RCP 8.5** у **2041–2060** роках передбачає саме раннє, на 217–230 день, закінчення кліматичного літа у високогірній південно-східній частині Карпат, на 230–250 — на решті території гір, на

250–260 — уздовж схилів Карпат (рис. 3). Переважно у північній та західній частинах України, а саме у Львівській, Волинській, Рівненській областях, Тернопільській (крім південного сходу), у центрі Чернівецької, на півночі Хмельницької та Вінницької, у Житомирській, Чернігівській, Сумській, у північних районах Київської та в осередку на півночі Харківської області літній сезон буде закінчуватись на 260–270 день. В областях Центрального (крім півночі Вінницької області), Східного регіонів, значних територіях Київської, Хмельницької, Чернівецької та на південному сході Тернопільської областей, у Закарпатті та на Головному пасмі Кримських гір закінчення літнього періоду очікується на 270–280 день. На півдні країни, в Одеській області (крім північних районів), у Херсонській, Запорізькій (за виключенням північного сходу), південних районах Миколаївської та Донецької областей, на північному заході АР Крим та у Кримських горах (крім Головного пасма) закінчення літа прогнозується на 280–290 день, а в осередках півдня Одеської області та на решті території АР Крим — на 290–302 день.

Сценарій **RCP 4.5** для **2081–2100** років аналогічний сценарію **RCP 4.5** для **2041–2060**, суттєва відмінність: закінчення кліматичного літа на 290–300 день відбуватиметься на значній території АР Крим (за виключенням Кримських гір та північно-західної частини півострова) (рис. 3).

Сценарій **RCP 8.5** у **2081–2100** роках прогнозує саме раннє закінчення кліматичного літа, на 237–250 день, у високогір'ї Карпат, на 250–260 — у південно-східній частині гірської країни, на 260–270 — на решті території Карпат (рис. 3). На 270–280 день передбачається закінчення літнього сезону переважно у північній та західній частинах України, а саме: у Львівській та Івано-Франківській областях (крім їх гірських частин та окремих осередків), у Волинській, Рівненській областях, Тернопільській (за виключенням сходу), у центрі Чернівецької, на північному сході Хмельницької, у Житомирській, Чернігівській, Сумській, у північній частині Вінницької, в районах Київської, у північних районах Полтавської та Харківської областей. На півдні країни, в Одеській області (крім півночі), у південно-західних районах Миколаївської, у Херсонській (за винятком заходу), у західній та південній частинах Запорізької, вздовж узбережжя Донецької області, а також на півночі та північному заході АР Крим та у Кримських горах (без Головного пасма) літо буде закінчуватись на 290–300 день, а на решті території Кримського півострова (у центральних, південно-західних та східних районах) — на 300–312 день. На решті території України, значній площі, що охопить області

всіх регіонів, закінчення літнього періоду передбачається на 280–290 день.

ВИСНОВКИ

Ця стаття завершує цикл досліджень чотирьох термічних періодів в Україні до кінця XXI ст., у яких на основі системного аналізу великого обсягу кліматичних даних, отриманих за розрахунками ансамблів регіональних кліматичних моделей, охоплено всю територію країни та багаторічні часові проміжки, представлені детальні оцінки теплої, вегетаційної, активної вегетації та літнього сезону з урахуванням сценарних проєкцій майбутньої зміни клімату.

Аналіз результатів щодо початку, закінчення та тривалості кліматичного літа показав:

У кліматичному періоді **1961–1990** років кліматичне літо в Україні зазвичай починалося приблизно 20–30 травня на більшій частині території, у високогір'ї Карпат — наприкінці червня — у другій половині липня, а в Криму залежно від гірського пасма — від кінця травня до кінця червня. Завершувалося воно переважно 27 серпня – 7 вересня, найраніше у Карпатах (20 липня – 18 серпня), а найдовше зберігалось у південних та приморських районах — до кінця вересня чи навіть початку жовтня.

У нещодавній період **1991–2010** початок літа змістився на більш ранні терміни — до 10–20 травня на більшій частині території, хоча в Карпатах він залишався пізнім (середина — друга половина липня). Закінчення сезону також відкладалося на 1–2 тижні пізніше, ніж у попередньому кліматичному періоді: переважно на 7–27 вересня в центральних і південних регіонах, а на півдні й у Криму — до початку жовтня.

Згідно з проєкціями, у **2021–2040** роках отримані значення показників за сценарієм **RCP 4.5** мало відрізняються від сценарію **RCP 8.5**, і початок літа очікується в середньому 7–20 травня у південно-східних і західних регіонах та 10–20 травня на решті території, тоді як у Карпатах він збережеться пізнім — наприкінці червня. Завершення сезону прогнозується у другій половині серпня — середині вересня на більшій частині країни та у першій половині жовтня на півдні й у Криму.

У наступному періоді **2041–2060** за сценарієм **RCP 8.5** початок літа може наставати вже 3–10 травня у південних і східних регіонах, тоді як у Карпатах — наприкінці червня – початку липня. Завершення сезону прогнозується наприкінці вересня – жовтні, з можливим продовженням до середини жовтня на півдні країни.

Наприкінці століття (**2081–2100**) за сценарієм **RCP 4.5** отримано практично аналогічні показники

які для сценарію **RCP 8.5**, але на середину століття, тобто повільніша зміна термічного періоду у той час як за екстремальнішим сценарієм очікується, що початок літа на південному сході країни можливий вже наприкінці квітня, у Карпатах — наприкінці травня – на початку червня, тоді як завершення в Криму й на півдні Одещини може зсуватися на кінець жовтня – початок листопада.

Порівняно з кліматичним періодом **1961–1990**, у **1991–2010** тривалість кліматичного літа в Україні зросла майже на всій території, найбільше — на 15–20 днів у північних та західних областях. Просторовий розподіл повторюваності показника зберіг широтний характер: від 100 днів і менше на північному заході до 140 днів і більше на півдні та південному сході. Ця закономірність залишатиметься сталою впродовж XXI століття, проте тривалість літа значно збільшуватиметься. У найближчі десятиліття (**2021–2040**) очікується подовження сезону на 7–14 днів (до 160 днів на півдні), тоді як на середину століття (**2041–2060**) за сценарієм **RCP 8.5** літо триватиме на 30–60 днів довше, ніж у **1991–2010**, і в Криму та південних районах Одещини може сягати 180–200 днів. Наприкінці століття (**2081–2100**) кліматичне літо в Карпатах може тривати, як наприкінці XX ст. на Передкарпатті (80–120 днів), а на Поліссі бути подібним до умов сучасного Криму (140–160 днів).

Отримані результати, які представлено в цій та попередніх частинах дослідження, мають важливе прикладне значення: вони можуть бути використані для планування сільськогосподарського виробництва, оцінки ризиків для продовольчої безпеки, прогнозування енергетичних потреб та адаптаційних стратегій у зв'язку зі зміною клімату, а також для оцінки впливу клімату на здоров'я населення, організації рекреаційних заходів, розвитку туристичної галузі, тощо. У подальших дослідженнях буде проаналізовано опалювальний період ($t < 8^{\circ}\text{C}$) та період кондиціонування повітря ($t > 22^{\circ}\text{C}$), де додатково до тривалості і середніх температур періодів будуть розглянуті характеристики найхолодніших і найтепліших п'яти днів поспіль та градусоднів, які передусім важливі для енергетичного сектору.

Подяка. Дослідження виконано в Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України в рамках НДР 2/23 “Розроблення оновлених сценаріїв зміни кліматичних характеристик термічних періодів в Україні до кінця XXI ст. для потреб енергетичного, сільськогосподарського та інших секторів економіки” (№ держ. реєстрації 0123U100461). Автори щиро вдячні ЗСУ та всім, хто захищає Україну і допомагає фронту, за можливість продовжувати наукову діяльність.

ЛІТЕРАТУРА

- Адаменко, Т.І. (2019). Зміна клімату та сільське господарство в Україні: що варто знати фермерам? Німецько-український агрополітичний діалог. https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/5_Zmina-klimatu-ta-silске-gospodarstvo-v-Ukrayini.pdf.
- Балабух, В. (2022). Прикладна метеорологія та кліматологія. *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*, **1**(1), 25–41. https://journal.uhmi.org.ua/pdf/UHMI_MNE_01_2022_Balabukh_25_41.pdf.
- Балабух, В.О., & Малицька, Л.В. (2017). Оцінювання сучасних змін термічного режиму України. *Геоінформатика*, **4** (64), 34–49. https://www.geology.com.ua/wp-content/uploads/2021/06/Geo-4-2017_34-49.pdf?utm_source=chatgpt.com.
- Заболоцька, Т.М., Шпиг, В.М., & Ціла, А.Ю. (2021). Циркуляційні процеси та хмарний покрив упродовж періоду глобального потепління. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, **1**(59), 76–91. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.8>.
- Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України. (2015). за ред. С.М. Степаненка, & А.М. Польового. Одеса: Вид-во "ТЕС". https://www.researchgate.net/profile/Sergiy-Stepanenko/publication/308526389_Klimaticni_zmini_ta_ih_vpliv_na_sferi_ekonomiki_Ukraini/links/57e654cf08ae9e5e45564d8a/Klimaticni-zmini-ta-ih-vpliv-na-sferi-ekonomiki-Ukraini.pdf.
- Краковська, С.В., Гнатюк, Н.В., Шпиталь, Т.М., & Паламарчук, Л.В. (2016а). Проекції змін приземної температури повітря за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей у регіонах України в ХХІ столітті. *Наук. праці УкрГМІ*, **268**, 33–44. https://old.uhmi.org.ua/pub/np/268/krakovska_gnatiuk_shpytal_palamarchuk.pdf.
- Краковська, С.В., Паламарчук, Л.В., Гнатюк, Н.В. & Шпиталь, Т.М. (2018а). Проекції приземної температури та відносної вологості повітря в областях України до середини ХХІ ст. за даними ансамблів регіональних кліматичних моделей. *Геоінформатика*, **3**(67), 62–77. <https://www.geology.com.ua/UK/7514-2/>.
- Краковська, С.В., Паламарчук, Л.В., & Шпиталь, Т.М. (2016б). Електронні бази метеорологічних даних та результати чисельних кліматичних моделей у визначенні спеціалізованих кліматичних показників. *Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія*, **3**(42), 95–105. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ghghe_2016_3_12.
- Краковська, С.В., Паламарчук, Л.В., & Шпиталь, Т.М. (2019). Кліматичні проекції опалювального періоду в Україні до середини ХХІ сторіччя. *Геофізичний журнал*, **41**(6), 144–164. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190072>.
- Краковська, С.В., & Шпиталь, Т.М. (2018б). 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. <https://www.geology.com.ua/UK/7591-2/>.
- Краковська, С.В., Шпиталь, Т.М., Савчук, С.В., Чигарева, А.Ю., & Криштоп, Л.Ю. (2025). Кліматичні характеристики термічних періодів в Україні до кінця ХХІ ст. Частина III: період активної вегетації рослин. *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*, **1**(7), 4–18. <http://doi.org/10.15407/Meteorology2025.07.004>.
- Краковська, С.В., Шпиталь, Т.М., Чигарева, А.Ю., Писаренко, Л.А., & Криштоп, Л.Ю. (2023б). Кліматичні характеристики термічних періодів в Україні до кінця ХХІ ст. Частина I: теплий період. *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*, **2**(4), 35–50. <http://doi.org/10.15407/Meteorology2023.04.035>.
- Краковська, С.В., Шпиталь, Т.М., Чигарева, А.Ю., Савчук, С.В., & Криштоп, Л.Ю. (2024). Кліматичні характеристики термічних періодів в Україні до кінця ХХІ ст. Частина II: вегетаційний період. *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*, **2**(6), 33–49. <https://doi.org/10.15407/Meteorology2024.06.033>.
- Кривобок, О.А. (1997). Методи автоматизованої обробки та інтерпретації даних багатоспектральної супутникової зйомки посівів сільськогосподарських культур України. Автореф. дис. канд. геогр. наук: 11.00.09. Одеський гідрометеорологічний ін-т, Одеса. https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe.
- Малицька, Л.В. (2019). Просторово-часова мінливість комфортності кліматичних умов в Україні: Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук (доктора філософії): 11.00.09. УкрГМІ ДСНС України, НАН України, КНУ ім. Тараса Шевченка, МОН України, Київ. https://scc.knu.ua/upload/iblock/1af/dis_Malytska%20L.V..pdf?utm_source=chatgpt.com.
- Малицька, Л.В., & Балабух, В.О. (2020). Ймовірні зміни кліматичних умов України до середини ХХІ ст. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, **1**(56), 94–100. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.10>.
- Мартазінова, В., Кихтенко, Я., & Шпиг, В. (2025). Оцінка місячних сум прямої та сумарної сонячної радіації на території України в період глобального потепління на початку ХХІ ст. *Геофізичний журнал*, **47**(3). <https://doi.org/10.24028/gj.v47i3.321745>.
- Мартазінова, В., Ставничук, В., & Корнієнко, Є. (2023). Сучасний клімат на заході України від початку 21 століття. Одеса: Видавничий дім "Гельветика".
- Осадчий, В.І., Бабіченко, В.М., Набиванець, Ю.Б., & Скриник, О.Я. (2013). Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень. Київ: Ніка-Центр. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3609.8966>.
- 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: Прінт-сервіс. https://www.researchgate.net/publication/325653683_REGIONALNI_ZMINI_KLIMATU_UKRAINI_Metodicni_vkazivki_do_navcalnogo_kursu.
- Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової програми використання та охорони земель. (2022). Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19 січня 2022. № 70-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/70-2022-%D1%80#Text>.
- Рибченко, Л.С., & Савчук, С.В. (2024). Геліоенергетичні ресурси України за 1990–2020 рр. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*, **40**, 51–57. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-06>.
- Рибченко, Л.С., & Савчук, С.В. (2023). Складові радіаційного режиму сонячної радіації при посухах за 1991–2020 рр. в Україні. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, **2**(68), 63–74. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.7>.
- Савчук, С.В., Тимофеев, В.Є., Щеглов, О.А., Артеменко, В.А., & Козленко, І.Л. (2020). Кореляційний зв'язок між метеорологічними величинами при екстремальних значеннях максимальної температури повітря. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, **1**(56), 101–112. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.11>.
- Савчук, С.В., Тимофеев, В.Є., & Ювченко, Н.М. (2018). Районування України по впливу екстремальних значень мак-

- симальної температури повітря у теплий та холодний періоди року. *Український гідрометеорологічний журнал*, **22**, 46–56. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.05>.
- Турос, О.І., Петросян, А.А., Брезіцька, Н.В., Маремуха, Т.П., Давиденко, Г.М., Михіна, Л.І., & Царенок, Т.В. (2022). Оцінка впливу забруднення атмосферного повітря РМ_{2,5} на здоров'я населення м. Києва. *Довкілля та здоров'я*, **3**(104), 44–50. <https://doi.org/10.32402/dovkil2022.03.044>.
- Турос, О.І., Петросян, А., Царенок, Т.В., Брезіцька, Н.В., Моргульова, В.В., Давиденко, Г.М., ..., & Сидоренко, О.О. (2023). Еколого-гігієнічний аналіз забруднення атмосферного повітря викидами промислових підприємств та автотранспорту в Україні (2015, 2018–2021 рр.). *Гігієна населених місць*, **73**, 17–30. <https://doi.org/10.32402/hygiene.2023.73.017>.
- УкрГМІ ДСНС України та НАН України. (2024). Розроблення оновлених сценаріїв зміни кліматичних характеристик термічних періодів в Україні до кінця ХХІ ст. для потреб енергетичного, сільськогосподарського та інших секторів економіки. Звіт про НДР (остаточний). (№ ДР 0123U100461). Київ: УкрГМІ.
- УкрГМІ ДСНС України та НАН України. (2021). Розроблення оновлених сценаріїв зміни характеристик регіонального клімату України до кінця ХХІ ст. Звіт про НДР (остаточний). (№ ДР 0119U001123). Київ: УкрГМІ.
- Шедеменко, І.П., Краковська, С.В., & Гнатюк, Н.В. (2012). Верифікація даних Європейської бази E-OBS щодо приземної температури повітря та кількості опадів у адміністративних областях України. *Наук. праці УкрНДГМІ*, **262**, 71–90. https://old.uhmi.org.ua/pub/np/262/Shedemenko_Krakovska_et_al_262.pdf.
- Шпиг, В.М. (2016). Літо. В І.М. Дзюба, А.І. Жуковський, М.Г. Железняк [та ін.] (ред.) *Енциклопедія Сучасної України*. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, НТШ. <https://esu.com.ua/article-55840>.
- Adger, W.N., J.M. Pulhin, J. Barnett, G.D. Dabelko, G.K., Hovelsrud, M. Levy, Ú. Oswald Spring, & C.H. Vogel. (2014). Human security. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, ..., & L.L. White (Eds.). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (755–791). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.017>.
- Allen, M.J. & Sheridan, S.C. (2015). Evaluating changes in season length onset, and end dates across the United States (1948–2012). *International Journal of Climatology*, **36**(3), 1268–1277. <https://doi.org/10.1002/joc.4422>.
- Ballester, J., Robine, J.M., Herrmann, F.R., & Rodó, X. (2023a). Excess mortality attributable to hot temperatures in Europe during summer 2022. *Nature Medicine*, **29**, 239–246.
- Ballester, J., Quijal-Zamorano, M., Méndez Turrubiates, R.F., Pegnaute, F., Herrmann, F.R., Robine, J.M., & Achebak, H. (2023b). Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nature Medicine*, **29**, 1857–1866. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z>.
- Borovska, O., & Khokhlov, V. (2024). Climate data for Odesa, Ukraine in 2021–2050 based on EURO-CORDEX simulations. *Geoscience Data Journal*, **11**(2), 148–159. <https://doi.org/10.1002/gdj3.197>.
- Boychenko, S., & Maidanovych, N. (2024). A century-long tendency of change in surface air temperature on the territory of Ukraine. *Geophysical Journal*, **46**(2), 53–79. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i2.297227>.
- 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>.
- Czernecki, B., & Miętus, M. (2017). The thermal seasons variability in Poland, 1951–2010. *Theoretical and Applied Climatology*, **127**, 481–493. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1647-z>.
- Ebi, K.L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., ..., & Jay, O. (2021). Hot weather and heat extremes: health risks. *Lancet*, **398**(10301): 698–708. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3).
- EEA. (2021). Europe's changing climate hazards — an index-based interactive EEA report, 15/2021. European Environment Agency. <https://doi.org/10.2800/458052>.
- EEA. (2023). Portugal bathing water quality in the season of 2022. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/european-bathing-water-quality-in-2022/portugal>.
- Flint, A., Howard, G., Nijhawan, A., Poudel, M., Geremew, A., Mulugeta, Y., ..., & Sharma S. (2024) Managing climate change challenges to water security: Community water governance in Ethiopia and Nepal. *Geo: Geography and Environment*, **11**, e00135. <https://doi.org/10.1002/geo2.135>.
- Gössling, S., & Scott, D. (2025). Tourist demand and destination development under climate change: complexities and perspectives. *Journal of Sustainable Tourism*, 1–32. <https://doi.org/10.1080/09669582.2025.2543953>.
- Government of Ukraine. (2025). Ukraine's Climate Change Adaptation Communication to UNFCCC. <https://unfccc.int/sites/default/files/2025-05/Ukraine%201st%20Adaptation%20Communication.pdf>.
- IPCC. (2015). Breakout group 3bis: Bias Correction. In: T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner & M. Tignor (eds.) IPCC: Workshop Report on Regional Climate Projections and Their Use in Impacts and Risk Analysis Studies. IPCC Working Group I Technical Support Unit, (21–23). Bern, Switzerland, University of Bern. https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/RPW_WorkshopReport.pdf.
- IPCC. (2022a). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 7 (Tourism). Cambridge: Cambridge University Press. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.
- IPCC. (2022b). 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. (1–24). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>.
- 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. (35–144). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Bössing Christensen, O., Bouwer, L.M., ..., & Yiou, P. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, **14**, 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>.
- Jay, O., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., ..., & Ebi, K.L. (2021). Reducing the health effects of hot weather. *The Lancet*, **398**(10301), 709–724. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01209-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01209-5).
- Krakovska, S., Balabukh, V., Chyhareva, A., Shpytal, T., Pysarenko, L., Trofimova, I., & Kryshchop, L. (2023a). Assessment of climatic

- season changes in Ukraine during 21st century based on an ensemble of 34 RCM projections of Euro-CORDEX. EGU General Assembly 2023. (23–28 Apr 2023, Vienna, Austria). (EGU23–835). <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-835>.
- Schlader, Z.J., Tourula, E., & Lignier, M.J. (2024). Protecting vulnerable populations in extreme heat — a growing and pervasive health challenge. *EBioMedicine*, **109**, 105448. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2024.105448>.
- Schulzweida, U. (2019). CDO User Guide (Version 1.9.8). <https://doi.org/10.5281/zenodo.3539275>.
- Schumacher, D.L., Singh, J., Hauser, M., Fischer, E.M., Wild, M., & Seneviratne, S.I. (2024). Exacerbated summer European warming not captured by climate models neglecting long-term aerosol changes. *Commun Earth Environ*, **5**, 182. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01332-8>.
- Shevchenko, O., Lee, H., Snizhko, S., & Mayer, H. (2014). Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology*, **34**(5), 1642–1650. <https://doi.org/10.1002/joc.3792>.
- Shevchenko, O., Snizhko, S., Gryniuk, O., & Matzarakis, A. (2023). A Comparison of the Tourist Potential of the Climates of the Coastal Resort at Odesa and the Inland Resort by Lake Svityaz. *Atmosphere*, **14**(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/atmos14030460>.
- Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskiy, V., De Meester, L., Stepanenko, S., ..., & Peter Gleick (2023). Impact of the Russia-Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*, **6**, 578–586. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>.
- Skrynyk, O., Aguilar, E., & Cimolai, C. (2025). The Sensitivity of Heat-wave Climatology to Input Gridded Datasets: A Case Study of Ukraine. *Atmosphere*, **16**(3), 289. <https://doi.org/10.3390/atmos16030289>.
- Snizhko, S., Didovets, I., & Bronstert, A. (2024). Ukraine's water security under pressure: Climate change and wartime. *Water Security*, **23**, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100182>.
- Sparks, T.H., & Menzel, A. (2002). Observed changes in seasons: an overview. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, **22**(14), 1715–1725. <https://doi.org/10.1002/joc.821>.
- Szwed, M., & Wasielewska, K. (2024). Thermal and precipitation variability across four seasons in Poland (1951–2020). *Miscellanea geographica*, **28**(3), 140–151. <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2023-0041>.
- 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>.
- The WCRP Coupled Model Intercomparison Project — Phase 5 (CMIP5). (2011). *CLIVAR Exchanges — Special Issue*, **56**(16), 2. <https://www.clivar.org/sites/default/files/documents/Exchanges56.pdf>.
- Torma, C.Z., & Kis, A. (2022). Bias-adjustment of high-resolution temperature CORDEX data over the Carpathian region: Expected changes including the number of summer and frost days. *International Journal of Climatology*, **42**(12), 6631–6646. <https://doi.org/10.1002/joc.7654>.
- Wei, X., Yukhymchuk Y., Danylevsky, V., Milinevsky, G., Goloub, Ph., Fesianov, I., ..., & Shi, Yu. (2025). Impact of military activity on atmospheric aerosol characteristics in Ukraine and Kyiv City. *Atmospheric Pollution Research*, **16**(6), 102496. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2025.102496>.
- WHO. (2023). Heat and health fact sheet. In: Fact sheets WHO. Geneva: World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health>.
- WMO. (2017). WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. In: WMO, 1203:574. Geneva: World Meteorological Organization.
- Xu, Y., Zhao, P., Kang, T., & Qin, K. (2025). Russia-Ukraine war has altered the pattern of carbon dioxide emissions from shipping in the Black Sea region. *Commun Earth Environ*, **6**, 558. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02537-1>.
- Adamenko, T.I. (2019). Climate change and agriculture in Ukraine: what should farmers know? German-Ukrainian agro-political dialogue. https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/5_Zmina-klimatu-ta-silske-gospodarstvo-v-Ukrayini.pdf. [in Ukrainian]
- Adger, W.N., J.M. Pulhin, J. Barnett, G.D. Dabelko, G.K., Hovelsrud, M. Levy, Ú. Oswald Spring, & C.H. Vogel. (2014). Human security. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, ..., & L.L. White (Eds.). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* (755–791). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.017>.
- Allen, M.J. & Sheridan, S.C. (2015). Evaluating changes in season length onset, and end dates across the United States (1948–2012). *International Journal of Climatology*, **36**(3), 1268–1277. <https://doi.org/10.1002/joc.4422>.
- Balabukh, V. (2022). Applied Meteorology and Climatology. *Meteorology. Hydrology. Environmental Monitoring*, **1**(1), 25–41. https://journal.uhmi.org.ua/pdf/UHMI_MHE_01_2022_Balabukh_25_41.pdf. [in Ukrainian]
- Balabukh, V.O., & Malyska, L.V. (2017). Assessment of current changes in the thermal regime of Ukraine. *Geoinformatics*, **4** (64), 34–49. https://www.geology.com.ua/wp-content/uploads/2021/06/Geo-4-2017_34-49.pdf?utm_source=chatgpt.com. [in Ukrainian]
- Ballester, J., Robine, J.M., Herrmann, F.R., & Rodó, X. (2023a). Excess mortality attributable to hot temperatures in Europe during summer 2022. *Nature Medicine*, **29**, 239–246.
- Ballester, J., Quijal-Zamorano, M., Méndez Turrubiates, R.F., Pegenaute, F., Herrmann, F.R., Robine, J.M., & Achebak, H. (2023b). Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nature Medicine*, **29**, 1857–1866. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z>.
- Borovska, O., & Khokhlov, V. (2024). Climate data for Odesa, Ukraine in 2021–2050 based on EURO-CORDEX simulations. *Geoscience Data Journal*, **11**(2), 148–159. <https://doi.org/10.1002/gdj3.197>.
- Boychenko, S., & Maidanovych, N. (2024). A century-long tendency of change in surface air temperature on the territory of Ukraine. *Geophysical Journal*, **46**(2), 53–79. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i2.297227>.
- Climate change and its impact on the spheres of the economy of Ukraine. (2015). edited by S.M. Stepanenko, & A.M. Polyovoy. Odesa: Publishing house "TES". https://www.researchgate.net/profile/Sergiy-Stepanenko/publication/308526389_Klimaticni_zmini_ta_ih_vpliv_na_sferi_ekonomiki_Ukraini/links/57e654cf08ae9e5e45564d8a/Klimaticni-zmini-ta-ih-vpliv-na-sferi-ekonomiki-Ukraini.pdf. [in Ukrainian]

- 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>.
- Czernecki, B., & Miętus, M. (2017). The thermal seasons variability in Poland, 1951–2010. *Theoretical and Applied Climatology*, **127**, 481–493. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1647-z>.
- Ebi, K.L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., ..., & Jay, O. (2021). Hot weather and heat extremes: health risks. *Lancet*, **398**(10301): 698–708. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3).
- EEA. (2021). Europe's changing climate hazards — an index-based interactive EEA report, 15/2021. European Environment Agency. <https://doi.org/10.2800/458052>.
- EEA. (2023). Portugal bathing water quality in the season of 2022. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/european-bathing-water-quality-in-2022/portugal>.
- Flint, A., Howard, G., Nijhawan, A., Poudel, M., Geremew, A., Mulugeta, Y., ..., & Sharma S. (2024) Managing climate change challenges to water security: Community water governance in Ethiopia and Nepal. *Geo: Geography and Environment*, **11**, e00135. <https://doi.org/10.1002/geo2.135>.
- Gössling, S., & Scott, D. (2025). Tourist demand and destination development under climate change: complexities and perspectives. *Journal of Sustainable Tourism*, 1–32. <https://doi.org/10.1080/09669582.2025.2543953>.
- Government of Ukraine. (2025). Ukraine's Climate Change Adaptation Communication to UNFCCC. <https://unfccc.int/sites/default/files/2025-05/Ukraine%201st%20Adaptation%20Communication.pdf>.
- IPCC. (2015). Breakout group 3bis: Bias Correction. In: T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner & M. Tignor (eds.) IPCC: Workshop Report on Regional Climate Projections and Their Use in Impacts and Risk Analysis Studies. IPCC Working Group I Technical Support Unit, (21–23). Bern, Switzerland, University of Bern. https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/RPW_WorkshopReport.pdf.
- IPCC. (2022a). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 7 (Tourism). Cambridge: Cambridge University Press. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.
- IPCC. (2022b). 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. (1–24). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>.
- 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. (35–144). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Bössing-Christensen, O., Bouwer, L.M., ..., & Yiou, P. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, **14**, 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>.
- Jay, O., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., ..., & Ebi, K.L. (2021). Reducing the health effects of hot weather. *The Lancet*, **398**(10301), 709–724. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01209-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01209-5).
- Krakovska, S., Balabukh, V., Chyhareva, A., Shpytal, T., Pysarenko, L., Trofimova, I., & Krysh-top, L. (2023a). Assessment of climatic season changes in Ukraine during 21st century based on an ensemble of 34 RCM projections of Euro-CORDEX. EGU General Assembly 2023. (23–28 Apr 2023, Vienna, Austria). (EGU23–835). <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-835>.
- 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. *Science Proceedings of UHMI*, **268**, 33–44. https://old.uhmi.org.ua/pub/np/268/krakovska_gnatiuk_shpytal_palamarchuk.pdf. [In Ukrainian]
- Krakovska, S., Palamarchuk, L., Gnatiuk, N.V., & Shpytal, T. (2018a). Projections of surface temperature and relative humidity in the regions of Ukraine until the middle of the 21st century according to data from ensembles of regional climate models. *Geoinformatics*, **3**(67), 62–77. <https://www.geology.com.ua/UK/7514-2/>. [In Ukrainian]
- Krakovska, S.V., Palamarchuk, L.V., & Shpytal, T.M. (2019). Climatic projections of heating season in Ukraine up to the middle of the 21st century. *Geophysical Journal*, **41**(6), 144–164. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190072>. [In Ukrainian]
- Krakovska, S., Palamarchuk, L., & Shpytal, T. (2016b). Electronic databases and results of numerical simulations in defining specialized climate indices. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, **3**(42), 95–105. http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghe_2016_3_12. [In Ukrainian]
- Krakovska, S., & Shpytal, T. (2018b). 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. *Geoinformatics*, **4**(68), 74–92. <https://www.geology.com.ua/UK/7591-2/>. [In Ukrainian]
- Krakovska, S., Shpytal, T., Chyhareva, A., Pysarenko, L., & Krysh-top, L. (2023b). Climate characteristics of thermal periods in Ukraine until the end of the 21st century. Part I: warm period. *Meteorology. Hydrology. Environmental monitoring*, **2**(4), 35–50. <http://doi.org/10.15407/Meteorology2023.04.035>. [In Ukrainian]
- Krakovska, S., Shpytal, T., Chyhareva, A., Savchuk, S., & Krysh-top, L. (2024). Climatic characteristics of thermal periods in Ukraine until the end of the 21st century. Part II: growing season. *Meteorology. Hydrology. Environmental Monitoring*, **2**(6), 33–49. <https://doi.org/10.15407/Meteorology2024.06.033>. [In Ukrainian]
- Krakovska, S., Shpytal, T., Savchuk, S., Chyhareva, A., & Krysh-top, L. (2025). Climatic characteristics of thermal periods in Ukraine until the end of the 21st century. Part III: period of active vegetation. *Meteorology. Hydrology. Environmental monitoring*, **1**(7), 4–18. <http://doi.org/10.15407/Meteorology2025.07.004>. [In Ukrainian]
- Kryvobok, O.A. (1997). Methods of automated processing and interpretation of multispectral satellite data of agricultural crops in Ukraine. Author's abstract. dissertation candidate of geogr. sciences: 11.00.09. Odessa Hydrometeorological Institute, Odessa. https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe. [In Ukrainian]
- Malytska, L.V. (2019). Spatiotemporal variability of climatic comfort in Ukraine: Qualification scientific work in the form of a manuscript. Dissertation for the degree of Candidate of Geographical Sciences (Doctor of Philosophy): 11.00.09. UHMI of the SEService of Ukraine, NAS of Ukraine, Taras Shevchenko National University of Kyiv, MES of Ukraine, Kyiv. https://scc.knu.ua/upload/iblock/1af/dis_Malytska%20L.V..pdf?utm_source=chatgpt.com. [In Ukrainian]
- Malytska, L.V., & Balabukh, V.O. (2020). Probable changes in climatic conditions of Ukraine by the middle of the 21st century.

- Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, **1**(56), 94–100. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.10>. [In Ukrainian]
- Martazinova, V., Kykhtenko, Y., & Shpyg, V. (2025). Estimated monthly amounts of direct and total solar radiation in Ukraine during global warming of the early XXI century. *Geophysical Journal*, **47**(3). <https://doi.org/10.24028/gj.v47i3.321745>. [In Ukrainian]
- Martazinova, V., Stavnichuk V., & Kornienko, E. (2023). Modern climate in western Ukraine since the beginning of the 21st century. Odesa: Helvetica Publishing House. [In Ukrainian]
- On approval of the Concept of the National Target Program for Land Use and Protection. (2022). Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 19. 2022. No. 70-p. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/70-2022-%D1%80#Text>. [In Ukrainian]
- Osadchy, V.I., Babichenko, V.M., Nabyvanets, Yu.B., & Skrynyk, O.Ya. (2013). Dynamics of air temperature in Ukraine during the period of instrumental meteorological observations: collective monograph. Kyiv: Nika-Center. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3609.8966>. [In Ukrainian]
- Palamarchuk, L.V., & Krakovska, S.V. (2018) Regional changes in the climate of Ukraine: Methodological guidelines for the study course for students of the faculty of geography majoring in "Meteorology and climatology". Kyiv: Print-service. https://www.researchgate.net/publication/325653683_REGIONALNI_ZMINI_KLIMATU_UKRAINI_Metodicni_vkazivki_do_navcalnogo_kursu. [In Ukrainian]
- Rybchenko, L.S., & Savchuk, S.V. (2023). Components of the radiation regime of solar radiation during droughts for 1991–2020 in Ukraine. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, **2**(68), 63–74 <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.7>. [In Ukrainian]
- Rybchenko, L., & Savchuk, S. (2024). Solar energy resources of Ukraine for 1990–2020. *Problems of Continuous Geographic Education and Cartography*, (40), 51–57. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-06>. [In Ukrainian]
- Savchuk, S.V., Timofeev, V.E., Shcheglov, O.A., Artemenko, V.A., & Kozlenko, I.L. (2020). Correlation communication between meteorological parameters at extreme values of maximum air temperatures. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, **1**(56), 101–112. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.11>. [In Ukrainian]
- Savchuk, S.V., Timofeev, V.E. & Yuvchenko, N.N., (2018). Regionalization of Ukraine based on the influence of extreme values of maximum air temperature during warm and cold periods of the year. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (22), 46–56. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.05>. [In Ukrainian]
- Schlader, Z.J., Tourula, E., & Lignier, M.J. (2024). Protecting vulnerable populations in extreme heat — a growing and pervasive health challenge. *EBioMedicine*, **109**, 105448. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2024.105448>.
- Schulzweida, U. (2019). CDO User Guide (Version 1.9.8). <https://doi.org/10.5281/zenodo.3539275>.
- Schumacher, D.L., Singh, J., Hauser, M., Fischer, E.M., Wild, M., & Seneviratne, S.I. (2024). Exacerbated summer European warming not captured by climate models neglecting long-term aerosol changes. *Commun Earth Environ*, **5**, 182. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01332-8>.
- Shedemenko, I.P., Krakovska, S.V., & Gnatiuk, N.V. (2012). Verification of surface temperature and precipitation from European gridded data set E-OBS for administrative regions in Ukraine. *Science Proceedings of UHMI*, **262**, 71–90. https://old.uhmi.org.ua/pub/np/262/Shedemenko_Krakovska_et_al_262.pdf. [In Ukrainian]
- Shevchenko, O., Lee, H., Snizhko, S., & Mayer, H. (2014). Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology*. **34**(5), 1642–1650. <https://doi.org/10.1002/joc.3792>.
- Shevchenko, O., Snizhko, S., Gryniuk, O., & Matzarakis, A. (2023). A Comparison of the Tourist Potential of the Climates of the Coastal Resort at Odesa and the Inland Resort by Lake Svityaz. *Atmosphere*, **14**(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/atmos14030460>.
- Shpyg, V.M. (2016). Summer. In I.M. Dzyuba, A.I. Zhukovsky, & M.G. Zheleznyak [and et al] (Eds.) *Encyclopedia of Modern Ukraine*. Kyiv: Institute of Encyclopedic Research of NAS of Ukraine, National Research School of Science. <https://esu.com.ua/article-55840>. [In Ukrainian]
- Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskiy, V., De Meester, L., Stepanenko, S., ... & Peter Gleick (2023). Impact of the Russia-Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*, **6**, 578–586. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>.
- Skrynyk, O., Aguilar, E., & Cimolai, C. (2025). The Sensitivity of Heat-wave Climatology to Input Gridded Datasets: A Case Study of Ukraine. *Atmosphere*, **16**(3), 289. <https://doi.org/10.3390/atmos16030289>.
- Snizhko, S., Didovets, I., & Bronstert, A. (2024). Ukraine's water security under pressure: Climate change and wartime. *Water Security*, **23**, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100182>.
- Sparks, T.H., & Menzel, A. (2002). Observed changes in seasons: an overview. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, **22**(14), 1715–1725. <https://doi.org/10.1002/joc.821>.
- Szwed, M., & Wasielewska, K. (2024). Thermal and precipitation variability across four seasons in Poland (1951–2020). *Miscellanea geographica*, **28**(3), 140–151. <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2023-0041>.
- 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>
- The WCRP Coupled Model Intercomparison Project — Phase 5 (CMIP5). (2011). *CLIVAR Exchanges — Special Issue*, **56**(16), 2. <https://www.clivar.org/sites/default/files/documents/Exchanges56.pdf>.
- Torma, C.Z., & Kis, A. (2022). Bias-adjustment of high-resolution temperature CORDEX data over the Carpathian region: Expected changes including the number of summer and frost days. *International Journal of Climatology*, **42**(12), 6631–6646. <https://doi.org/10.1002/joc.7654>.
- Turos, O. I., Petrosian, A., Brezitska, N., Maremuha, T., Davydenko, H., Mihina, L., & Tsarenok, T. (2022). Risk assessment for health of the population in Kyiv from atmospheric air pollution PM2.5. *Environment & Health*, **3**(104), 44–50. <https://doi.org/10.32402/dovkil2022.03.044>. [In Ukrainian]
- Turos, O, Petrosian, A, Tsarenok T, Brezitska, N, Morhulova, V, Davydenko, H, ... & Sidorenko, O. (2023). Ecological and hygienic analysis of air pollution by industrial enterprises and vehicles emissions in Ukraine (for 2015, 2018–2021). *Hygiene of Populated Places*, **73**, 17–30. <https://doi.org/10.32402/hygiene2023.73.017>. [In Ukrainian]
- UHMI of the SESU and NAS of Ukraine (2024). Development of updated scenarios of changes in climatic characteristics of thermal periods in Ukraine until the end of the 21st century. for the needs of the energy, agricultural and other sectors of the economy. Report on scientific research work (final). (State Registration № 0123U100461). Kyiv: UHMI. [In Ukrainian]

UHMI of the SESU and NAS of Ukraine. (2021). Development of updated scenarios of changes in the characteristics of the regional climate of Ukraine by the end of the 21st century. Report on scientific research work (final). (State Registration № 0119U001123). Kyiv: UHMI. [in Ukrainian].

Wei, X., Yukhymchuk Y., Danylevsky, V., Milinevsky, G., Goloub, Ph., Fesianov, I., ..., & Shi, Yu. (2025). Impact of military activity on atmospheric aerosol characteristics in Ukraine and Kyiv City. *Atmospheric Pollution Research*, **16**(6), 102496. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2025.102496>.

WHO. (2023). Heat and health fact sheet. In: Fact sheets WHO. Geneva: World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health>.

WMO. (2017). WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. In: WMO, 1203:574. Geneva: World Meteorological Organization.

Xu, Y., Zhao, P., Kang, T., & Qin, K. (2025). Russia-Ukraine war has altered the pattern of carbon dioxide emissions from shipping in the Black Sea region. *Commun Earth Environ*, **6**, 558. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02537-1>.

Zabolotska, T.M., Shpyg, V.M., & Tsila A.Yu. (2021). Circulation indexes and the cloud cover during of the global warming period. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, **1**(59), 76–91. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.8> [in Ukrainian]

Svitlana KRAKOVSKA^{1*}

ORCID: 0000-0001-9972-0937

krasvit@ua.fm

Tetiana SHPYTAL¹

ORCID: 0009-0001-7731-4521

tetianashpytal@gmail.com

Lidiia KRYSHTOP^{1,2}

ORCID: 0009-0003-8863-9422

lidiia.kryshstop@gmail.com

Anastasia CHYHAREVA^{1,3}

ORCID: 0000-0003-0195-751X

achyhareva@gmail.com

Svitlana SAVCHUK¹

ORCID: 0009-0007-7861-9419

svetlanasvs120676@gmail.com

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

² UNIGIS, Vrije Universiteit Amsterdam, Netherlands

³ National Antarctic Scientific Center of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv

CLIMATE CHARACTERISTICS OF THERMAL PERIODS IN UKRAINE UNTIL THE END OF THE 21ST CENTURY. PART IV: SUMMER SEASON

In the context of ongoing climate change and the rapid development of regional climate models, there is an increasing demand for detailed assessments of the duration, onset, and end dates of thermal periods, which are crucial for multiple sectors of the economy. Previous publications have examined changes in the warm period (mean daily air temperature $t > 0^{\circ}\text{C}$), the vegetation period ($t > 5^{\circ}\text{C}$), and the period of active vegetation ($t > 10^{\circ}\text{C}$). This article concludes a series of studies on thermal

periods in Ukraine and focuses on the characteristics of the climatic summer ($t > 15^{\circ}\text{C}$), a critical indicator for human health, recreation, tourism, energy supply, and agricultural activities. The main goal of the presented research was to analyze the spatial and temporal patterns of the summer season and evaluate how these characteristics may change under future climate scenarios. Using E-OBS observational data, the dates of onset, termination, and duration of the summer period were calculated for the standard climatological period **1961–1990**, along with observed changes during **1991–2010**. Projections for future changes were conducted for three periods — **2021–2040**, **2041–2060**, and **2081–2100** — under moderate (**RCP 4.5**) and high (**RCP 8.5**) greenhouse gas representative concentration pathways, based on an ensemble of 34 Euro-CORDEX regional climate models with a high spatial resolution of 12×12 km, covering over 7,300 grid points across Ukraine. The analysis revealed that during **1961–1990**, the summer season typically began between May 10 and 20 and ended between September 17 and 27. In **1991–2010**, the season lengthened by 5–15 days, with the onset occurring 2–5 days earlier. Future projections suggest further extension of the summer season by 7–60 days depending on the region and scenario. Under **RCP 8.5**, the maximum summer duration could reach 180–200 days in Crimea and southern regions by the end of the century. In contrast, the Carpathians may experience a climatic summer lasting 80–120 days, similar to the Pre-Carpathian region at the end of the twentieth century, while in the Polissya region, the summer may extend to 140–160 days, resembling current conditions in Crimea. The results presented in this and previous parts of the study have substantial practical significance. They can support agricultural planning, risk assessment for food security, energy demand forecasting, and the design of climate change adaptation strategies. In addition, these findings are essential for evaluating the impacts of climate change on human health, planning recreational activities, promoting sustainable tourism, and managing territorial resources effectively.

Keywords: thermal regime, climate change, RCP scenarios, climate characteristic projections, date of persistent air temperature transition, Euro CORDEX.

