

С.В. Краковська^{1*}

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

Т.М. Шпиталь¹

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

С.В. Савчук¹

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

А.Ю. Чигарева^{1,2}

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

Л.Ю. Криштон^{1,3}

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

УДК 551.583

DOI: <https://doi.org/10.15407/Meteorology2025.07.004>

КЛІМАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМІЧНИХ ПЕРІОДІВ В УКРАЇНІ ДО КІНЦЯ ХХІ ст.

Частина III: ПЕРІОД АКТИВНОЇ ВЕГЕТАЦІЇ РОСЛИН

З огляду на сучасну зміну клімату, оновлення кліматичних сценаріїв та зростання роздільної здатності регіональних кліматичних моделей (РКМ) виникла потреба у детальній оцінці тривалості та зміні дат початку та закінчення термічних періодів, ключових для різних секторів економіки. У попередніх публікаціях було досліджено зміни теплового (температура вище 0°C) та вегетаційного (температура вище 5°C) періодів. Ця стаття є наступною у циклі досліджень змін термічних періодів в Україні до кінця ХХІ століття та зосереджена на аналізі характеристик періоду активної вегетації рослин (ПАР), який визначається стійким переходом середньої добової температури повітря вище за 10°C, і є важливим показником для характеристики умов розвитку теплолюбних рослин та планування розвитку агротехнічних заходів. **Метою дослідження** було проаналізувати просторово-часові характеристики ПАР та їхні зміни у майбутньому. На основі даних бази E-Obs розраховано дати початку, завершення та тривалість активного вегетаційного періоду в Україні у стандартний кліматичний період 1961–1990, а також зміни цих характеристик у 1991–2010. Крім того, проведено оцінку майбутніх змін для трьох періодів: 2021–2040, 2041–2060 та 2081–2100 за сценаріями помірних (RCP 4.5) та високих (RCP 8.5) концентрацій парникових газів. Аналіз здійснено на основі ансамблю 34 РКМ проекту Euro-CORDEX із найкращим доступним просторовим розділенням 12×12 км, що охоплює понад 7300 вузлів на території України. Для періоду 1991–2010 тривалість ПАР в Україні змінилась, порівняно з 1961–1990, особливо на північному заході країни, де зросла на 10 днів і більше. У 2021–2040 за RCP 4.5 тривалість ПАР зростає на 7 днів на всій території України, в степовій частині Криму, на півдні Одеської області та в Карпатах — на 7–14 днів; за сценарієм RCP 8.5: переважно на 7–14 днів, у Карпатах — 14–21, у Дніпропетровській області — до 7 днів. Упродовж 2041–2060 тривалість ПАР за сценарієм RCP 8.5 очікується суттєво більшою: у середньому зростання на 14–21 день, а на заході країни, в Криму та півдні Одеської області — до 30. В Україні сценарій RCP 4.5 у 2081–2100 передбачає тривалість ПАР подібно до сценарію RCP 8.5 у період 2041–2060. За сценарієм RCP 8.5 зміна тривалості ПАР відносно 1991–2010 може сягати 31–70 днів, зростаючи зі сходу на захід. Збільшення тривалості вегетаційного періоду і ПАР може посилити агрокліматичний потенціал України у майбутньому і сприятиме отриманню більших врожаїв сільськогосподарських культур за умови забезпечення рослин вологою, тобто вчасного запровадження сучасних методів адаптації до зміни гідротермічного режиму та інших агротехнологій для захисту рослин.

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

ВСТУП

Актуальність визначення періоду активної вегетації (ПАР) рослин, що охоплює час, коли середні за добу температури перевищують +10°C, обумовлена впливом зміни клімату на його тривалість, початок і завершення. Цей період є критично важливим для теплолюбних культур, таких як кукурудза, соняшник,

соя, рис, виноград, а також деякі овочеві (помідори, перець, баклажани) і плодові культури (персики, абрикоси). Саме за таких температур відбуваються основні фізіологічні та біохімічні процеси, необхідні для їхнього росту, розвитку та формування врожаю. У країні середня річна кількість днів із середньою добовою температурою вище +10°C становить при-

близко 150–200 днів (за виключенням Карпат), що створює сприятливі умови для теплолюбних культур (Веgetаційний період: Довідник...). Згідно словників та навчальних посібників із агрономії, сума активних температур вище $+10^{\circ}\text{C}$ — головний показник теплозабезпеченості регіону, що впливає на можливість вирощування окремих культур і в рівнинних районах країни варіює від 1600°C до $3800\text{--}3900^{\circ}\text{C}$. За кордоном за сумами активних температур або "Growing Degree Days" (GDD) моделюють зростання та прогнозують необхідність зміни культур через глобальне потепління. Це дозволяє порівнювати теплові умови та виявляти вплив регіональних коливань клімату на продуктивність культур (Yamasaki et al., 2002).

Оцінка зміни рослинного покриву через потепління за допомогою дистанційного зондування виявила ранній початок і подовження тривалості вегетаційного періоду в Україні, особливо в її південних та центральних регіонах. Це впливає на врожайність сільськогосподарських культур і зростання лісів, змінює рівні поглинання CO_2 , що впливає на місцевий і регіональний баланс парникових газів (Lyalko et al., 2009). Аналіз супутникових даних і вимірювань валового первинного виробництва свідчить, що оптимальна температура для активності рослин підвищується приблизно на $0,63^{\circ}\text{C}$ за десятиліття. Тобто рослинні екосистеми акліматизуються до потепління, що впливає на їх функціонування та здатність накопичувати вуглець (Wan et al., 2024). Дослідження фізіологічних аспектів і механізмів реагування рослин на зміну температури вказують, що для більшості вищих рослин оптимальний діапазон росту приблизно варіює від $+10^{\circ}\text{C}$ до $+30^{\circ}\text{C}$, тому поріг $+10^{\circ}\text{C}$ є дійсно стартовим для активної вегетації (Nievola et al., 2017).

Важливість впливу температурного режиму на рослини підтверджують деякі міжнародні дослідження щодо механізмів реагування рослин на температурний стрес, а також впливу високих і низьких температур на їх ріст і розвиток (Lee et al., 2024). У лісовому господарстві вивчення коливань термічних періодів залежно від кліматичних флуктуацій дозволить зменшити уразливість лісів України до зміни клімату (Швиденко та ін., 2018).

Із потеплінням розширюються можливості садівництва, зокрема стосовно екзотичних для України теплолюбних рослин. При перенесенні в інші географічні та кліматичні умови істотно змінюється ритм їх росту та розвитку. Тому селекціонери виводять нові, адаптовані сорти рослин, і згідно Державного реєстру виведено 88 сортів малопоширених конкурентоспроможних видів, зокрема овочевих і плодкових культур, як харчових продуктів, які багаті

на мінерали, вітаміни, поживні речовини тощо. (Шубенко та ін., 2024). ПАВ у вітчизняних дослідженнях є підґрунтям сільськогосподарського планування для регулювання фаз росту, дозрівання та адаптації рослин. Дослідження змін у тривалості ПАВ дозволяє адаптувати агротехнічні заходи, включаючи вибір сортів, строки посіву, удобрення та зрошення, а також сприяє підвищенню врожайності цих культур. Це особливо актуально для України, яка є провідним виробником багатьох із цих культур і її економіка значною мірою залежить від сільськогосподарського виробництва. Крім того, дані про ПАВ необхідні для прогнозування змін екосистем, управління земельними ресурсами та забезпечення продовольчої безпеки країни.

Досягнення продовольчої безпеки з урахуванням наслідків зміни регіонального клімату з раннім настанням весни, запізненням осені, подовженням вегетаційного періоду та ПАВ, збільшенням кількості хвиль тепла, спеки, посух, безморозних днів та зміною режиму опадів потребує адаптації, зокрема впровадження методів "кліматично розумного" сільського господарства. Реалізована вона може бути за допомогою диверсифікації культур, удосконалення методів збереження ґрунту, селекції жаростійких культур, інтегрованих систем управління водними ресурсами, особливо в регіонах із дефіцитом води або екстремальною мінливістю погоди, а саме у Південній (середземноморський регіон, включаючи Іспанію та Італію) та Східній Європі. У Північній (скандинавські країни: Швеція, Норвегія, Фінляндія), Західній (Німеччина) та Центральній (Польща) Європі може підвищитись продуктивність деяких культур (кукурудза та пшениця) і з'явитись можливість для вирощування нових, однак тепловий стрес, екстремальні кліматичні умови, підвищені ризики спалахів розвитку популяцій шкідників обмежать довгострокові прибутки. Водночас, лише за сценарієм RCP 2.6 глобальне потепління обмежене температурою нижче за 2°C і за ним очікується помірна користь для аграрного сектора, але нерівномірна між регіонами та культурами в Європі. А згідно до сценарію RCP 8.5 з вищим рівнем глобального потепління вплив на продовольчу безпеку через екологічні стреси негативний (IPCC, 2019, 2021, 2022).

Вочевидь існує причинно-наслідковий зв'язок між сучасним потеплінням клімату та збільшенням кількості сонячної радіації, що надходить до земної поверхні, як одного з кліматоутворюючих чинників. Зміна обох чинників призводить до збільшення кількості посух на значній території України, зокрема тривалістю понад місяць за вегетаційний період. Почали їх фіксувати також у місяці холодного періоду

року. Збільшення окремих складових радіаційного режиму (тривалості сонячного сйва, прямої та частково сумарної сонячної радіації та радіаційного балансу) інтенсифікує тривалі масштабних посухи. Так, особливістю посух у 1991–2020 роках були найбільші додатні відхилення, щодо періоду 1961–1990 рр., тривалості сонячного сйва та прямої радіації не тільки на півночі, північному сході та сході країни, але й на заході та в Закарпатті, де раніше вони майже не відмічались (Рибченко та ін., 2015, 2023а, 2023б).

Сучасні дослідження ПАВ рослин зосереджені на вивченні впливу кліматичних змін на тривалість та інтенсивність цього періоду, а також на адаптації агротехнічних заходів для забезпечення стабільної врожайності.

Одним із напрямків є аналіз тривалості вегетаційного періоду різних сортів сільськогосподарських культур залежно від технологічних заходів вирощування. Зокрема, дослідження (Фурман, 2019) показало, що тривалість вегетаційного періоду сої варіює залежно від генетичних особливостей сорту, екологічних умов регіону та застосування конкретних елементів технології вирощування. Встановлено, що вегетаційний період досліджуваних сортів сої під впливом удобрення, інокуляції насіння та погодних умов варіював у межах 100–117 діб.

Інше дослідження стосується впливу атмосферних і ґрунтових посух на тепловий режим ґрунту та рослин, зокрема сої та соняшника у Каховському районі Херсонської області. Під час експериментальних досліджень було встановлено, що у ПАВ спостерігалися періоди з високими середніми добовими температурами повітря, що іноді досягали 25°C, а максимальні температури повітря у такі дні піднімалися до 30–35°C. Ці умови підвищують температуру підстильної поверхні, що, у свою чергу, збільшує співвідношення між непродуктивною частиною теплової енергії, яка витрачається на турбулентний обмін повітря в посівах, і продуктивною складовою, спрямованою на випаровування (число Боуена) та процеси формування продукції. У цілому зауважується необхідність вчасного поливу рослин і контролю за вологозапасами ґрунту в період ПАВ (Жовтоног та ін., 2020).

Дослідження тривалості вегетаційного періоду кукурудзи показали, що скоростиглість є складною полігенною ознакою, яка пов'язана з низкою показників: інтенсивністю розвитку на початкових етапах вегетації, тривалістю періоду сходи-цвітіння качанів та вегетації взагалі, кількістю листків на рослині, вологістю зерна під час дозрівання та збирання, інтенсивністю накопичення сухої речовини, сумою температур, необхідною для визрівання. Правильне

визначення групи стиглості зразка дозволяє обрати напрям його використання у тій чи іншій природно-кліматичній зоні (Черчель та ін., 2020).

ПАВ є також критично важливим для виноградарства та садівництва, оскільки він визначає фази росту, розвитку та плодоношення рослин. Для винограду вегетація починається навесні, коли середня добова температура стабільно перевищує +10°C, що активізує процеси сокоруху, набрякання та розпускання бруньок. Цей період охоплює весну, літо та частину осені, закінчуючись із настанням стійкого похолодання восени, коли середня добова температура знижується до +10°C і нижче. У виноградарстві період вегетації поділяється на шість основних фаз: сокорух ("плач" винограду), ріст пагонів і суцвіть, цвітіння, ріст ягід, досягання ягід і визрівання пагонів, листопад. Кожна з цих фаз має свої агротехнічні особливості та потребує відповідного догляду (Костенко та ін., 2025). Слід зауважити, що через значну зміну температурного режиму в Україні виноградарство вже практикується практично по всій території країни, як-от в Харківській області (Шуліка, 2013).

У садівництві, зокрема при вирощуванні яблунь, період вегетації також починається з підвищенням температури навесні та включає фази набрякання бруньок, розпускання листя, цвітіння, формування та досягання плодів, а завершується листопадом восени. Тривалість цього періоду залежить від сорту та кліматичних умов регіону.

Розуміння та контроль ПАВ дозволяють оптимізувати агротехнічні заходи, такі як обрізка, підживлення та захист рослин, що сприяє підвищенню врожайності та якості продукції як у виноградарстві, так і в садівництві. Загалом, сучасні дослідження підкреслюють важливість комплексного підходу до вивчення ПАВ, враховуючи генетичні особливості рослин, агротехнічні заходи та змінні кліматичні умови.

Нагальним є виявлення впливу конкретних температурних діапазонів на різні види рослин, вивчення стійкості культур до температурних стресів. В умовах глобального потепління оптимальна температура для росту може зростати. Українські та зарубіжні вчені доводять, що поріг +10°C і його моніторинг має практичне значення для сільського господарства, при дослідженнях фізіології рослин, для оцінки теплового забезпечення регіону необхідного для росту, дозрівання, адаптаційних можливостей рослинних екосистем, оптимізації строків сівби та збору врожаю. Тому метою цієї частини дослідження було визначення просторових змін характеристик ПАВ (тривалості, дати початку та закінчення) за минулі періоди (стандартної кліма-

тичної норми — 1961–1990 і базовий — 1991–2010) і у майбутні періоди (2021–2040, 2041–2060, 2081–2100) згідно проєкцій за оновленими сценаріями репрезентативних траєкторій концентрацій парникових газів й їх часових коливань відносно базового періоду в Україні.

ПОЧАТКОВІ ДАНІ ТА МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ

Методика, алгоритм та підходи до візуалізації отриманих результатів були аналогічні тим, що описані в попередніх роботах авторів щодо теплового і вегетаційного періодів у межах цього циклу публікацій про термічні періоди та їхні проєкції для України до кінця ХХІ століття (Краковська та ін., 2023, 2024). Зокрема, як вихідні дані використовувалися середні добові температури повітря з Європейської бази E-OBS 20.0e (Cornes et al., 2018). Для побудови проєкцій до 2100 року застосовувалися середні добові температури повітря з 34 регіональних кліматичних моделей (PKM) за сценаріями помірного (RCP 4.5) та високого (RCP 8.5) рівнів концентрацій парникових газів із бази даних Euro-CORDEX (Jacob et al., 2014), розробленої в рамках проєкту CMIP5 (Taylor et al., 2012; The WCRP..., 2011). Просторове розділення даних бази E-OBS і PKM має однаковий горизонтальний крок близько 12×12 км, що охоплює понад 7300 вузлів на території України.

Обробка даних здійснювалася із використанням методів математичної статистики, зокрема квартильного мапування, яке застосовувалося для корекції відхилень на етапі підготовки даних провайдером (Breakout group..., 2015). Для додаткової корекції похибок ("bias-adjustment") прогнозованих значень, отриманих за ансамблем PKM, використовувався адитивний (дельта) метод зсуву, базові значення для якого були розраховані за даними E-OBS (Шедеменко та ін., 2012; Паламарчук & Краковська, 2018; Розроблення..., 2021, 2024).

Розрахунки дат стійкого (шість і більше діб поспіль) переходу температури через порогові значення, встановлені в цьому дослідженні на рівні 10°C, виконувалися за допомогою функції `eca_gsl` програмного пакету CDO (Climate Data Operator) (Schulzweida, 2019). Для усунення різниць масок між E-OBS та ансамблем PKM, що виникли через відмінності в кількості точок координатних сіток, зокрема вздовж прибережної лінії, застосовувалися інструменти геоінформаційної системи QGIS 3.28. Ця ж система використовувалася для картографування, візуалізації та аналізу результатів, які були представлені у вигляді карт у електронному атласі за допомогою JavaScript-бібліотеки Leaflet (Краковська та ін., 2023, 2024).

Розрахунки показників проводилися окремо для кожної PKM, після чого визначалися зміни цих показників у майбутні періоди відносно базового, а потім усереднювалися значення змін за ансамблем із 34 PKM для кожного з 20-річних періодів ХХІ століття (Паламарчук & Краковська, 2018; Розроблення..., 2021, 2024; Краковська та ін., 2016а, 2016б, 2018, 2023, 2024). Отримані зміни додавалися до значень базового періоду, що дозволяло визначити дати початку, закінчення та тривалості періоду активної вегетації в Україні, а також їхні зміни для кожного з обраних 20-річних періодів майбутнього відносно базового періоду 1991–2010 років.

Вибір 20-річних періодів узгоджувався з методологією, запропонованою у Шостому звіті Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC) (Summary..., 2022a, 2022b; Technical..., 2023). Через зменшення кількості метеорологічних станцій в Україні після анексії АР Крим та частини східних областей у 2014 році, базовий період завершувався найближчим "нульовим" роком, для якого були доступні дані по всій території країни, тобто 2010 рік, що відповідає рекомендаціям Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) (WMO, 2017; Краковська та ін., 2016а, 2016б, 2018, 2023, 2024).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХНІЙ АНАЛІЗ

Тривалість періоду активної вегетації.

У **1961–1990** короткий період активної вегетації, 100–120 та 120–140 днів, відмічався у південно-східній високогірній частині Українських Карпат (60–80 та 80–100 на вершинах) (рис. 1). На решті території Карпат, на Головному пасмі Кримських гір, у західній частині Волинської області, частково у Львівській та Тернопільській, на північному сході Чернігівської та у північній частині Сумської областей цей період тривав 140–160 днів. На переважній території країни період активної вегетації спостерігався протягом 160–180 днів. На півдні України (в Одеській, Миколаївській, Херсонській, західній частині та півдні Запорізької, південних районах Дніпропетровської та Донецької областей, АР Крим та Закарпатті — 180–200 днів.

У **1991–2010** тривалість періоду активної вегетації у 100–120 та 120–140 днів (80–100 на вершинах) спостерігалась, переважно, у високогірних частинах Карпат, 140–160 — на решті території гірської країни, а також на крайній півночі Сумської області та вздовж Головного пасма Кримських гір (рис. 1). На значній території України ця тривалість коливалася у межах 160–180 днів. 180–200 днів активної вегетації відмічались у Закарпатті та південній частині України (Одеській, Миколаївській, Херсонській, Запорізькій, значних площах Дніпропетровської,

південних районах Донецької, частині Луганської області та АР Крим). На сході Кримського півострова та в осередку на півдні Одеської області — 200–220 днів.

Згідно сценарію **RCP 4.5**, у **2021–2040** на значній території Карпат активний вегетаційний сезон триватиме 140–160 днів, у південно-східних високір'ях — 120–140, на окремих хребтах — 100–120 (рис. 1). Загалом, у північній та західній частинах України та Головному пасмі Кримських гір, даний сезон буде ймовірним протягом 160–180 днів. 180–200 днів активний вегетаційний сезон триватиме у південній частині країни: у Луганській (крім північних районів), Донецькій, Запорізькій, Херсонській, Дніпропетровській, Миколаївській областях, південних частинах Харківської, Полтавської та Вінницької, східній частині Черкаської, північній частині Одеської, місцями у Київській та Львівській, на більшій частині території Хмельницької, Чернівецької та Кіровоградської, південно-східних районах Тернопільської області, на Закарпатській низовині, у Кримських горах та Тарханкутському півострові. У південній частині Одеської області, в АР Крим та на крайньому півдні Закарпаття — 200–220 днів, а в районі Херсонесу — ймовірно до 220–240.

За сценарієм **RCP 8.5**, у **2021–2040** активний вегетаційний сезон триватиме у південно-східній частині Карпат 120–140 днів (на окремих хребтах — 100–120), 140–160 — на решті території гір (рис. 1). 160–180 днів даний сезон буде спостерігатися на схилах Карпат, у східній частині Львівської області, західній Тернопільської, значній території Рівненської, у Волинській, Житомирській, Чернігівській, Сумській областях, північних районах Київської, Вінницької, Полтавської та Харківської областей. У південній частині Одеської області, Закарпатській низовині та АР Крим тривалість активного вегетаційного сезону прогнозується 200–220 днів, у районі Херсонесу — 220–240. У Кримських горах та на переважній території країни даний сезон буде тривати 180–200 днів.

Згідно сценарію **RCP 4.5**, у **2041–2060** активний вегетаційний сезон тривалістю 180–200 днів буде відмічатись майже на всій території України (рис. 1). Коротшим, 160–180 днів, даний сезон буде в районах Львівської, Тернопільської, Житомирської областей, у північних частинах Чернігівської і Сумської області. А також в Українських Карпатах: 140–160 на значній території Карпат, 120–140 — у південно-східному високогір'ї (на окремих хребтах 100–120), вздовж схилів Карпатських гір — 160–180 днів. Довшим сезон очікується у Закарпатті, південній частині Одеської області, південно-східній Херсонської, у західних районах Запорізької, уздовж узбережжя

Донецької та Запорізької областей, на значній території АР Крим (200–220) та в локаціях на південному заході та у центрі Кримського півострова (220–240 та 240–260 днів).

Сценарій **RCP 8.5** для **2041–2060** прогнозує тривалість активного вегетаційного сезону у 180–200 днів на переважній території України (рис. 1). Нижчі значення будуть відмічатись у південно-східній частині Українських Карпат (140–160 днів, в окремих високогір'ях 122–140), на решті території Карпат та на крайній півночі Сумської і північному сході Чернігівської областей (160–180 днів). Вищі значення (200–220 днів) вірогідні у Закарпатті, районі що охопить східну частину Чернівецької, південь Хмельницької та південно-західні райони Вінницької областей, на заході Миколаївської, південних районах Донецької та Дніпропетровської областей, в Одеській, Херсонській, Запорізькій (крім півночі та сходу) областях, а також у північно-східній частині АР Крим, Керченському півострові та Кримських горах (за винятком Головного пасма). На решті території АР Крим та на крайньому півдні Одеської області вірогідна тривалість у 220–240 днів з максимальним значенням 246 днів.

Проекції за сценарієм **RCP 4.5** для **2081–2100** практично аналогічні сценарію **RCP 8.5** для **2041–2060** (рис. 1).

За сценарієм **RCP 8.5**, у **2081–2100** активний вегетаційний сезон тривалістю у 200–220 днів очікується на значній території України (рис. 1). Менші значення відмічатимуться у Карпатах: 140–160 — у окремих високогір'ях, 160–180 — у південно-східній частині, 180–200 — на решті території гір. У північно-східних районах Чернігівської, на півночі та сході Сумської областей даний сезон триватиме 180–200 днів. Вищі значення, 220–240 днів, ймовірні у Закарпатті, осередку на заході Львівської області, ареалі, що охопить східну частину Чернівецької, південну частину Хмельницької та південно-західні райони Вінницької областей, на значній території Одеської та Херсонської областей, на заході Миколаївської та Запорізької, вздовж узбережжя Запорізької та Донецької областей, а також у північно-східній частині АР Крим та Кримських горах (за винятком Головного пасма). На решті території АР Крим та у південних районах Одеської області активний вегетаційний сезон триватиме 240–282 дні.

Початок (день року) періоду активної вегетації.

У **1961–1990** на значній території України активний вегетаційний сезон починався на 110–120 день (рис. 2). Пізніше, на 120–130 день, даний сезон розпочинався на північному сході та заході України: на півночі та сході Сумської та у північно-східних

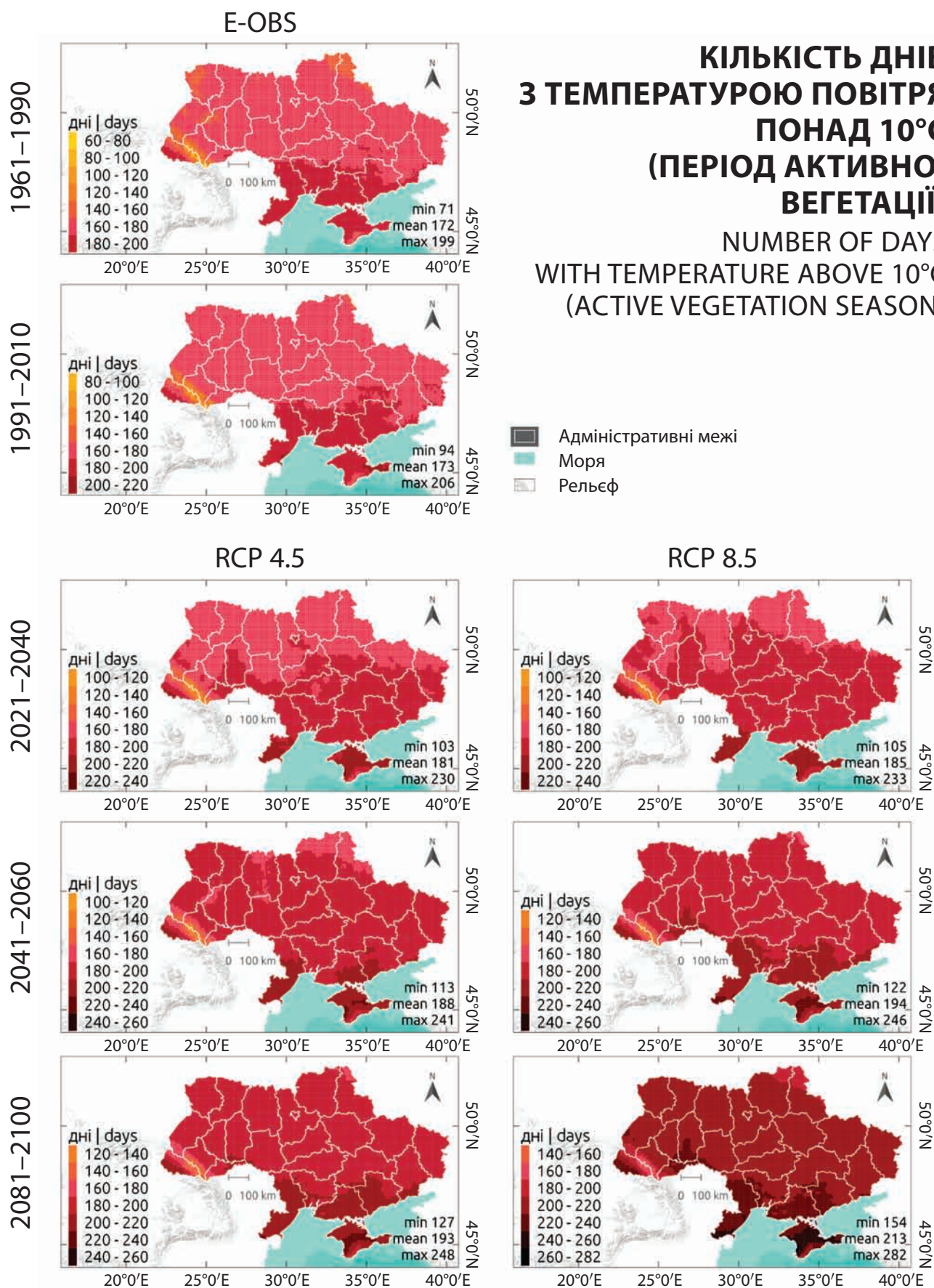
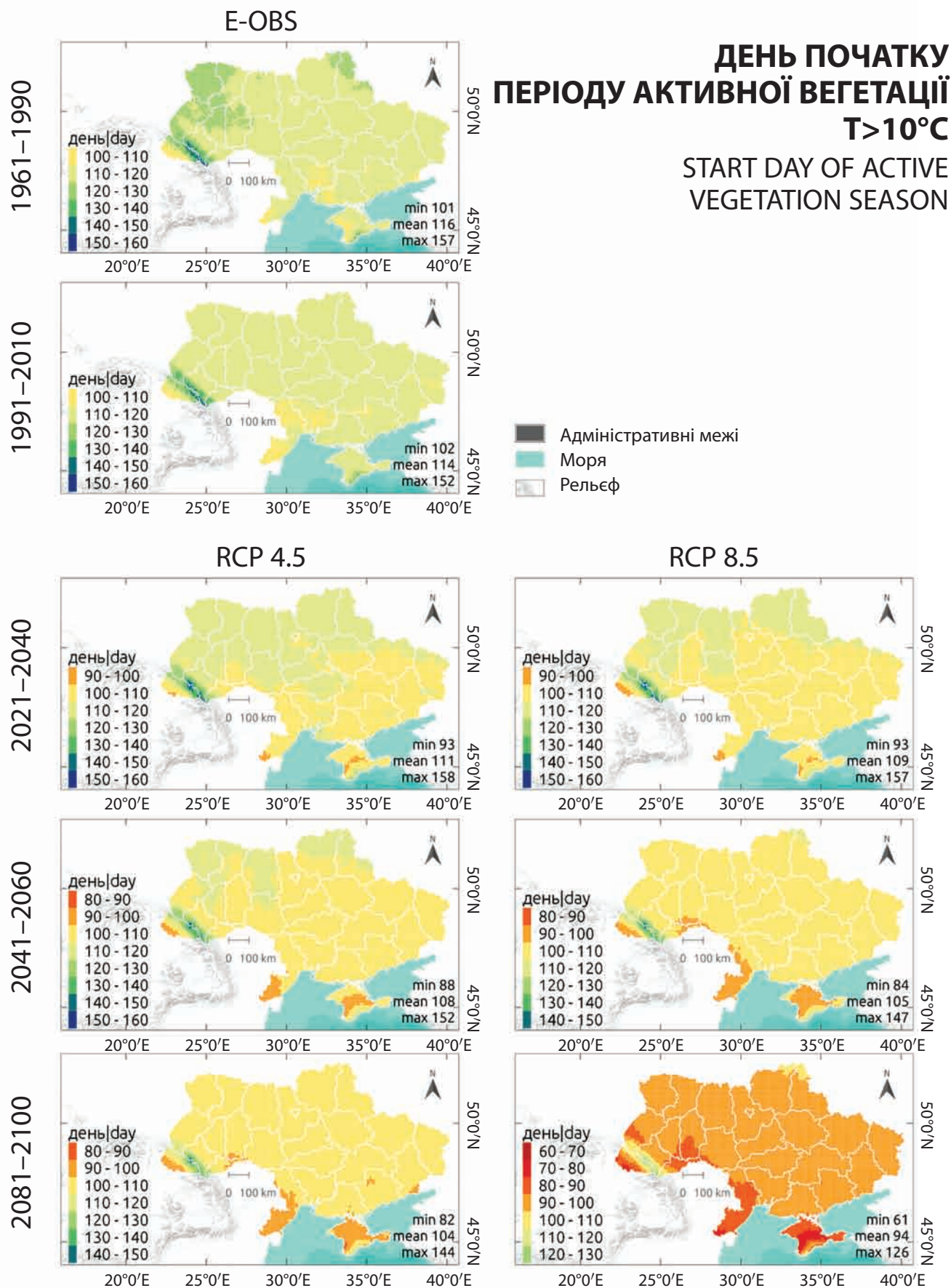


Рис. 1. Тривалість періоду активної вегетації за даними E-Obs, сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 у вказані періоди XX-XXI ст.



районах Чернігівської областей, у Волинській, на заході Рівненської, північній частині Тернопільської, в окремих районах Львівської та Хмельницької областей, у північно-західній частині Карпат та на їх схилах. У південно-східній частині Карпат — на 130–140, а у високих горах найпізніше — на 140–160 день. Раніше, на 100–110 день, починався сезон активної вегетації у Закарпатті, в районах південного заходу Одеської області, у центральних районах Миколаївської та західних Херсонської областей, в осередку на півдні Донецької області, на південному заході АР Крим, в осередках над Каховським водосховищем та на Акмонайському перешийку.

У **1991–2010**, як і в попередньому кліматичному періоді, на переважній території України активний вегетаційний сезон починався на 110–120 день (рис. 2). Лише у Карпатах та Кримських горах даний сезон приходив пізніше, на 120–130 та 130–140 день, а на височинах — на 140–150 та 150–160 день. Більш ранній початок активного вегетаційного сезону, на 100–110 день, відмічався у північних районах та на півдні Одеської області, на значній території Миколаївської, вздовж Каховського водосховища, в осередках Донецької та Луганської областей, на Акмонайському перешийку.

Згідно сценарію **RCP 4.5**, у **2021–2040** самий пізній початок ПАВ вірогідний у Карпатах: на 150–160 та 140–150 день у високогірній частині, 130–140 — у південно-східній частині, 120–130 — на решті території гірської країни (рис. 2). У північних, західних та частково центральних областях України даний сезон розпочнеться на 110–120 день. Такий процес охопить області Північного регіону, північ Полтавської, Харківської, Луганської областей, значні території Черкаської, Кіровоградської (крім західних районів), Вінницької (за винятком південних районів), а також Кримські гори та місцями у Миколаївській, Херсонській, Запорізькій, Луганській областях. У Західному регіоні — Волинську область, Рівненську, Львівську, Тернопільську (крім південно-східної частини), північну частину Хмельницької, Івано-Франківську (крім гірських територій), передгірські райони Чернівецької області, Вулканічний хребет. На решті території країни та місцями у Львівській, Київській, Черкаській та Кіровоградській областях — на 100–110 день. Також необхідно відзначити, що у центральній частині АР Крим, на півдні Закарпатської низовини і в межах Одеської області буде спостерігатись самий ранній початок активного вегетаційного сезону — на 90–100 день.

За сценарієм **RCP 8.5** у **2021–2040** очікується найпізніший початок ПАВ у Карпатах: на 150–160 та 140–150 день у високогір'ї, на 130–140 у південно-східній і на 120–130 день у північно-західній час-

тині (рис. 2). На схилах Карпат та у Чернігівській, Сумській, Житомирській, Волинській, Рівненській областях, значних територіях Львівської та Тернопільської, Івано-Франківської, сході Чернівецької, північних районах Луганської, Харківської, Полтавської, Київської, Вінницької областей та у Кримських горах даний сезон починатиметься на 110–120 день. На решті території — на 100–110 день за винятком Закарпаття, крайнього півдня Одеської області та місцями у межах АР Крим, де початок ймовірний на 90–110 день.

За сценарієм **RCP 4.5** у **2041–2060** на переважній території країни ПАВ починатиметься на 100–110 день (рис. 2). Пізніший початок, на 110–120 день, буде спостерігатись у Волинській області, північних та південно-західних частинах Рівненської, на сході Львівської, західній частині Тернопільської, на значних територіях Житомирської, у північних частинах Вінницької, Чернігівської та Сумської областей, у Кримських горах. А також у Карпатах: на 110–120 день вздовж схилів, 120–130 — на значній території гір, 130–140 — у південно-східному високогір'ї. У Закарпатті, південній частині Одеської області та центральній території АР Крим даний сезон почнеться на 90–100 день.

Сценарій **RCP 8.5** у **2041–2060** прогнозує, що ПАВ розпочнеться на 100–110 день (від початку календарного року) на більшій частині території України (рис. 2). На крайній півночі Сумської та північному сході Чернігівської областей та переважній території Карпат — на 110–120 день, у південно-східній частині — 120–130, у високих горах — 130–140 день. На 90–100 день ПАВ розпочнеться в Закарпатті, на півдні та заході Одеської області, а також на сході Чернівецької, південних районах Вінницької, Хмельницької та Тернопільської областей, в АР Крим (крім Тарханкутського та Керченського півостровів та Кримських гір).

Сценарій **RCP 4.5** для **2081–2100** аналогічний сценарію RCP 8.5 для 2041–2060 (рис. 2). Відмінності: ПАВ почнеться на 90–100 день місцями на заході Запорізької та півдні Донецької областей, а також на всій території АР Крим, крім Кримських гір, а в районі Херсонесу вірогідно на 80–90 день. Лише в невеликому осередку на крайній півночі Сумської області даний сезон почнеться на 110–120 день.

Сценарій **RCP 8.5** у **2081–2100** прогнозує початок ПАВ вже на 90–100 день на переважній території України (рис. 2). Пізніше, на 100–110 день, вірогідний початок на крайній півночі Сумської та північному сході Чернігівської областей та практично на всій території Карпат, у південно-східній частині гірської країни — на 110–120, в окремих горах — на 120–130 день. Раніше, на 80–90 день, ПАВ почнеться

в Закарпатті, на заході Львівської області, на значній частині території Чернівецької області, півдні Хмельницької, у південних районах Вінницької та Тернопільської областей, Одеській області (крім півночі), на півночі та північному заході АР Крим і Керченському півострові. У центральній частині АР Крим і півдні Керченського півострова, місцями в Закарпатті та півдні Одеської області ймовірний початок ПАВ на 70–80 день.

Закінчення (день року) періоду активної вегетації.

У **1961–1991** найраніше, на 228–270 день (від початку календарного року), закінчився ПАВ у південно-східному високогір'ї Карпат, на 270–280 — на решті території гірської країни та на півночі Чернігівської та Сумської областей (рис. 3). Переважно у південній частині України даний сезон закінчився на 290–300 день, а саме: у Миколаївській, Херсонській, Запорізькій областях (крім їх південних районів), на півдні Донецької та Дніпропетровської, північній частині Одеської, на крайньому півдні Кіровоградської та Вінницької областей, у Кримських горах, а також на Закарпатті, на сході Чернівецької та крайньому півдні Тернопільської та Хмельницької областей. Ще південніше, на південному заході Запорізької області, у південних районах Херсонської та місцями у Миколаївській, у центральних та південних частинах Одеської області та в АР Крим період активної вегетації завершувався найпізніше, на 300–310 день. На решті території країни, значній її частині від східних до західних кордонів, закінчення даного періоду відмічалось на 280–290 день.

У **1991–2010** на значній території Карпат найраніше закінчення ПАВ, на 228–270 день, спостерігалось у північно-західній частині Карпат, вздовж схилів, та на півночі Сумської та на північному сході Чернігівської області — на 270–280 день (рис. 3). У південній частині України: Миколаївській та Запорізькій областях (крім їх південних районів), північній частині Одеської та Херсонської, південній частині Донецької, Дніпропетровській (за виключенням північних районів), Кримських горах, а також Закарпатті закінчення сезону активної вегетації відмічалось на 290–300 день. У південній частині Одеської та Херсонської областей, на крайньому півдні Миколаївської та Запорізької, в АР Крим період активної вегетації тривав найдовше, до 300–310 дня, а в локації на південному сході Одеської області та сході Кримського півострова — до 310–320 дня. На решті території країни, яка включала області 4-х регіонів (крім Південного), даний сезон закінчувався на 280–290 день.

За сценарієм **RCP 4.5**, у **2021–2040** закінчення ПАВ очікується на 228–270 день у південно-східній

частині Карпат, на 270–280 — на решті території гірської країни (рис. 3). На 280–290 день — у передгір'ях Карпат та здебільшого на території північної частини України: у всіх областях Північного регіону (крім окремих районів у центрі та півдні Київської області), північних частинах Полтавської, Луганської та Вінницької областей, у Харківській (за винятком південних районів), Рівненській, Волинській (крім заходу), на північному сході та у центральних і гірських районах Львівської, у західній частині Тернопільської, гірських та північних районах Івано-Франківської області. На Закарпатті та на півдні країни, а саме: у південній та центральній частинах Одеської області, на південному сході Херсонської, на південному заході Запорізької, вздовж узбережжя у межах Миколаївської, Херсонської, Запорізької та Донецької областей закінчення даного сезону очікується на 300–310 день, місцями на південному сході Одеської — на 310–320. На решті території країни період активної вегетації закінчиться на 290–300 день. В АР Крим на Головному пасмі закінчення цього періоду ймовірне на 290–300 день, на решті території Кримських гір та у північній та північно-західній частині півострова — на 300–310, на решті території — на 310–320.

Сценарій **RCP 8.5** у **2021–2040** прогнозує закінчення ПАВ у високогірній частині південно-східних Карпат на 228–270 день, на північно-західних хребтах — на 270–280, на решті території Карпат та у Сумській, Чернігівській (крім районів на півдні та південному заході), на крайній півночі Харківської, Полтавської, Київської та Вінницької областей, на значній території Житомирської, у північних та південно-західних районах Рівненської, на сході Волинської та Львівської, на заході Тернопільської — на 280–290 день (рис. 3). В Одеській і Херсонській областях (крім їх північних частин), на заході Запорізької, вздовж узбережжя у межах Миколаївської, Запорізької та Донецької областей, а також в Закарпатті закінчення даного сезону ймовірне на 300–310 день, на південному сході Одеської області — 310–320. На значній частині території України (із заходу на схід) даний сезон буде закінчуватись на 290–300 день. В АР Крим закінчення ПАВ очікується в Кримських горах на 290–300 день, у північно-західній частині на 300–310 день і на 310–320 день на решті території півострова.

Згідно сценарію **RCP 4.5**, у **2041–2060** найраніше закінчення ПАВ прогнозується у високих горах південно-східних Карпат — на 228–270 день, по хребтах гірської країни — на 270–280, на решті території Карпат і також на півночі Сумської і Чернігівської областей, та місцями на півночі Житомирської області — на 280–290 (рис. 3). В Одеській, Запорізь-

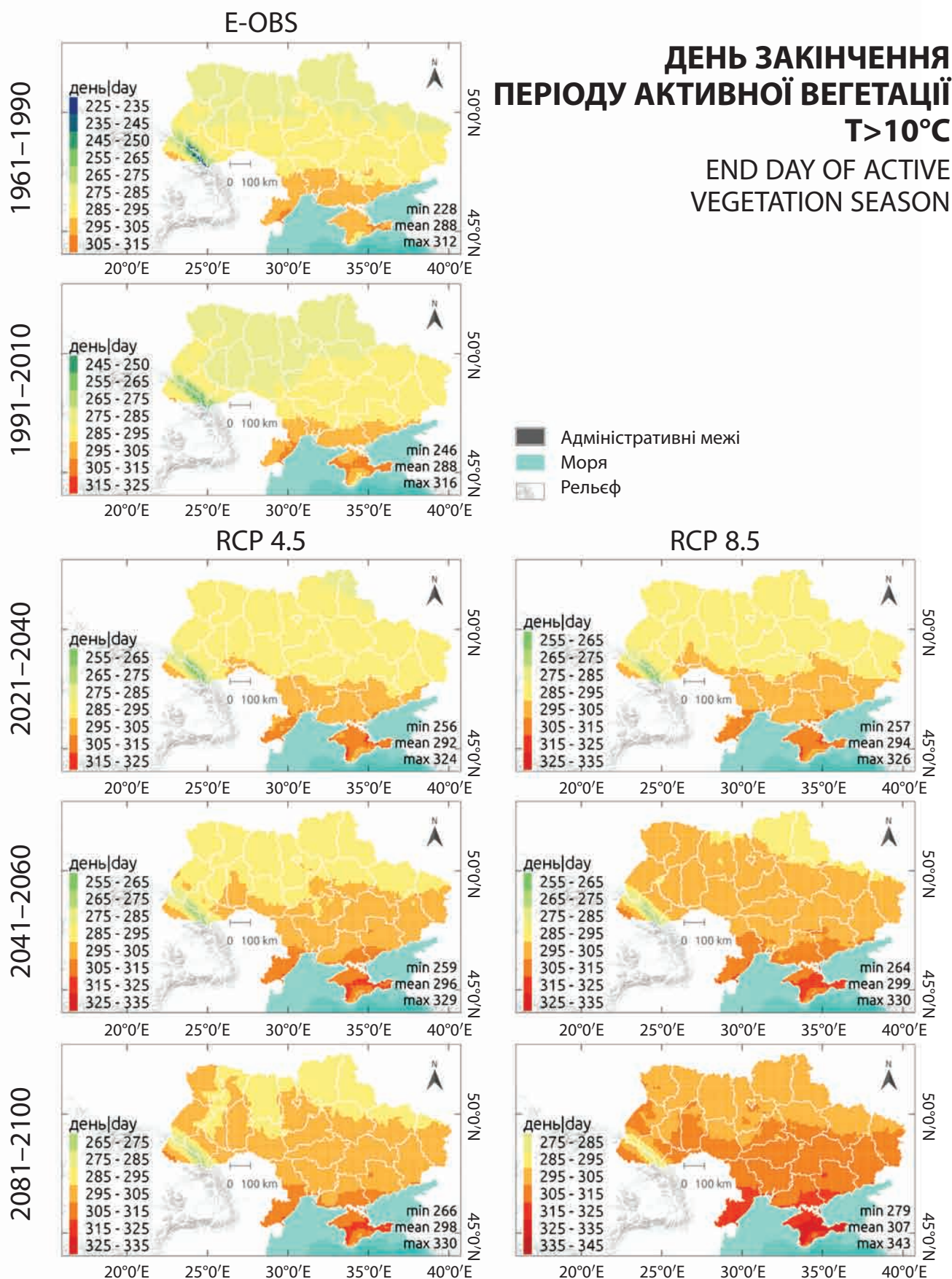


Рис. 3. Закінчення (день року) періоду активної вегетації за даними **E-OBS**, сценаріями **RCP4.5** та **RCP 8.5** у вказані періоди ХХ–ХХІ ст.

кій, Миколаївській областях (крім їх північних районів), у Херсонській, на півдні Донецької області, на Тарханкутському півострові, у Кримських горах та на Закарпатті кінець даного сезону очікується на 300–310 день, на решті території АР Крим та на півдні Одеської області — на 310–320, поблизу мису Херсонес — на 320–330. На решті території України, що охоплює практично всі її регіони (Південний — найменшою мірою), сезон активної вегетації закінчуватиметься на 290–300 день.

Сценарій **RCP 8.5 у 2041–2060** передбачає закінчення ПАВ у південно-східних Карпатах на 270–280 день (у високогірній частині — на 228–270), на решті території гірської країни та місцями на крайній півночі Чернігівської та Сумської областей — на 280–290 (рис. 3). У південній частині України даний період закінчиться на 300–310 день. Такий процес охопить Миколаївську, Херсонську, Запорізьку області, північну частину Одеської, південь Донецької та Хмельницької, Дніпропетровську (крім північних районів), південні райони Луганської, Кіровоградської та Вінницької, південний схід Тернопільської, східну частину Чернівецької області, Закарпаття та Кримські гори. На 310–320 день прогнозується закінчення ПАВ у південній частині Одеської області, в АР Крим, та вздовж узбережжя Херсонської та Запорізької областей, на 320–330 — в окремих районах на сході та південному заході Кримського півострова. На решті території України, в областях чотирьох регіонів (крім Південного) закінчення цього сезону прогнозується на 290–300 день.

За сценарієм **RCP 4.5, у 2081–2100** у південно-східній частині Карпат ПАВ закінчиться найраніше, на 270–280 день, місцями — на 228–270, на решті території Карпат та на північному сході Чернігівської та півночі Сумської областей — на 280–290 (рис. 3). До 300–310 дня триватиме сезон активної вегетації в Миколаївській (окрім півночі), Одеській, Херсонській, Запорізькій областях, у південних частинах Дніпропетровської та Донецької, на півдні Луганської, Вінницької та Хмельницької, у східній частині Чернівецької, в Закарпатті та Кримських горах і Тарханкутському півострові, а вздовж Арабатської стрілки та в районі мису Херсонес — до 310–320. На значній території України у всіх регіонах, крім Південного, даний період закінчиться на 290–300 день від початку календарного року.

Сценарій **RCP 8.5 у 2081–2100** передбачає саме раннє закінчення ПАВ у південно-східних Карпатах — на 280–290 день, на решті території гірської країни та у північній частині Сумської і північному сході Чернігівської областей — на 290–300 (рис. 3). На 310–320 день закінчиться даний сезон у Микола-

ївській, Одеській, Запорізькій областях (крім їх районів на півночі), у Херсонській, південних районах Луганської, Вінницької та Хмельницької, у східній частині Чернівецької областей, на Закарпатті, Кримських горах і поблизу Тарханкутського півострова. До 320–330 дня триватиме ПАВ на значній частині АР Крим та на південному сході Одеської області, місцями на сході та південному заході Кримського півострова — до 330–340. Закінчення сезону, на 310–320 день, буде спостерігатись в областях чотирьох регіонів України, крім Південного.

ВИСНОВКИ

Тривалість періоду активної вегетації у 1991–2010 рр. порівняно з **1961–1990** на значній території України становила переважно 160–180 днів і у середньому змінилася лише на один день, але її мінімальне значення у високогір'ї Карпат зросло на понад 20 днів, а максимальне в АР Крим — на 7 днів.

В короткостроковій перспективі в період **2021–2040** за обома сценаріями отримано збільшення тривалості ПАВ на 7–14 днів майже на всій території країни, в Карпатах — на 14–21, у Дніпропетровській області — до 7 днів порівняно з періодом **1991–2010**.

На середину сторіччя у період **2041–2060** очікується, що тривалість ПАВ в Україні за сценарієм **RCP 4.5** буде аналогічна сценарію **RCP 8.5** у попередній період **2021–2040** майже на всій території України і становитиме 180–200, на півдні та Закарпатті — 220, в окремих степових районах Криму — 240 днів і лише в Карпатах та на північному сході країни — менше 180 днів.

До кінця століття **тривалість ПАВ** зростатиме на всій території країни, істотно посилючись наприкінці століття, особливо при реалізації сценарію **RCP 8.5**, коли майже на всій території країни тривалість ПАВ на кінець ХХІ століття може сягнути 200–240, а в Криму та на півдні Одеської області — 240–285 днів. Такі кліматичні умови ні в середині ХХ ст., ні на початку ХХІ ст. в Україні не спостерігались. Найбільша тривалість ПАВ у минулому столітті і в сучасний кліматичний період сягала близько 200 днів лише в окремих районах південного узбережжя Криму.

Збільшення тривалості ПАВ відбувається й очікується у майбутньому, більшою мірою за рахунок пізнішого закінчення, ніж ранішнього початку, але у цілому триваліший ПАВ може посилити агрокліматичний потенціал України у майбутньому та сприятиме отриманню більших врожаїв сільськогосподарських культур за умови забезпечення рослин вологою, тобто вчасного запровадження сучасних

методів адаптації до зміни гідротермічного режиму й інших агротехнологій для захисту рослин.

ПОДЯКА. Дослідження виконано в Українсько-му гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України в рамках НДР 2/23 “Розроблення оновлених сценаріїв зміни кліматичних характе-

ристич термічних періодів в Україні до кінця ХХІ 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

- Вегетаційний період: Довідник. *Аграрна Платформа*. URL: https://aoplatforma.com/reference/agro-dictionary/page/vegetaciiiii-period?utm_source=chatgpt.com.
- Жовтоног О.І., Полищук В.В., Филиппенко Л.А., Салюк А.Ф., Бутенко Я.О., Чорна К.І. (2020). Дослідження прояву посухи та її впливу на тепловий режим вегетаційної поверхні сільськогосподарських культур при зрошенні. *Меліорація і водне господарство*, **2**, 39–48. <https://doi.org/10.31073/mivg202002-263>.
- Костенко М. (2025). Виноградна рослина: догляд крок за кроком. *Пропозиція — Головний журнал з питань агробізнесу*. URL: <http://propozitsiya.com/ua/vynogradna-roslyna-doglyad-krok-za-krokom>
- 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.
- 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.
- Краковська С.В., Шпиталь Т.М. (2018). Дати переходу температури повітря через 0, 5, 10 і 15°C та тривалість відповідних кліматичних сезонів з другої половини ХХ до середини ХХІ ст. в Україні. *Геоінформатика*, **4**(68), 74–92.
- Краковська С.В., Шпиталь Т.М., Чигарева А.Ю., Писаренко Л.А., Криштоп Л.Ю. (2023). 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. URL: https://journal.uhmi.org.ua/article/2_6_2024_3/.
- 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
- Рибченко Л.С., Савчук С.В. (2015). Особливості радіаційного режиму найбільш інтенсивних засух за 1991–2010 рр. в Україні. *Часопис картографії*, **12**, 185–193. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh_2015_12_18.
- Рибченко, Л.С., Савчук, С.В. (2023а). 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>
- Рибченко Л., Савчук С. (2023б). Сонячна радіація при посухах у холодний період року протягом 1991–2020 рр. в Україні. *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*, **1**(3), 4–13. <http://doi.org/10.15407/Meteorology2023.03.004>.
- 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). (2024). Шифр роботи 2/23. К.: УкрГМІ. 194 с. № ДР 0123U100461.
- Розроблення оновлених сценаріїв зміни характеристик регіонального клімату України до кінця ХХІ ст.: звіт про НДР (остаточний). (2021). К.: УкрГМІ. 231 с. № ДР 0119U001123.
- Фурман О.В. (2019). Тривалість вегетаційного періоду та фаз росту і розвитку рослин сої залежно від технологічних заходів вирощування. *Таврійський науковий вісник: Землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво*. **109**(1), 148–154. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-1.23>
- Черчель В., Боденко Н., Таганцов М. (2020). Зміна тривалості вегетаційного періоду кукурудзи: яке ФАО обрати? Агробізнес сьогодні. *Газета підприємців АПК*, **6**(421), 58–62. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/19510-zmina-tryvalosti-vehetatsiinoho-periodu-kukurudzy-i-ake-fao-obraty.html>
- Швиденко А.З., Букша І.Ф., Краковська С.В. (2018). *Уразливість лісів України до зміни клімату*: монографія. Київ: Вид-во “Ніка-Центр”.
- Шедеменко І.П., Краковська С.В., Гнатюк Н.В. (2012). Верифікація даних Європейської бази E-OBS щодо приземної температури та кількості опадів адміністративних областях України. *Наук. пр. УкрНДГМІ*, **262**, 71–90.
- Шубенко Л. (2024). Вплив зміни клімату на поширення нових плодово-овочевих культур в Україні. *Агробізнес сьогодні. Газета підприємців АПК*, **23–24** (534–535). URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/31280-vplyv-zminy-klimatu-na-poshyrennia-novykh-plodovoovochevykh-kultur-v-ukraini.html>
- Шуліка, Б. (2013). Фази розвитку винограду в контексті типів погоди селища високий. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*, **18**, 176–181. URL: <https://periodicals.karazin.ua/pbgok/article/view/4193>
- Breakout Group 3bis: Bias Correction (pp. 21–23) in IPCC (2015): Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis Studies [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, and M. Tignor (eds.)]. *IPCC Working Group I Technical Support Unit*, University of Bern, Bern, Switzerland, pp. 171. https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/RPW_WorkshopReport.pdf (Accessed: 10.12.2023).
- 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>
- IPCC Special Report on Climate Change and Land (SRCCL). (2019). <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- IPCC AR6 Working Group II Report (2022). *Impacts, Adaptation, and Vulnerability: IPCC AR6 WGII Repor*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bower, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G.,

- Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., ... Yiou, P. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, **14**(2), 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Lee, Z., Lim, J., Harikrishna, J. et al. (2024). Regulation of Plant Responses to Temperature Stress: A Key Factor in Food Security and for Mitigating Effects of Climate Change. *Int. J. Plant Prod.* **18**, 141–159. <https://doi.org/10.1007/s42106-024-00282-7>
- Lyalko, V.I., Artemenko, I.G., Zholobak, G.M., Kostyuchenko, Y.V., Levchik, O.I., Sakhaty, O.I. (2009). Evaluating Vegetation Cover Change Contribution into Greenhouse Effect by Remotely Sensed Data: Case Study for Ukraine. In: *Groisman, P.Y., Ivanov, S.V. (eds) Regional Aspects of Climate-Terrestrial-Hydrologic Interactions in Non-boreal Eastern Europe*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2283-7_17.
- Nievola, C.C., Carvalho, C.P., Carvalho, V., & Rodrigues, E. (2017). Rapid responses of plants to temperature changes. *Temperature*, **4**(4), 371–405. <https://doi.org/10.1080/23328940.2017.1377812>
- Predicting the Distribution of Invasive Plants in the Ukrainian Carpathians under Climatic Change. (2021). *Cambridge University Press*.
- Schulzweida, Uwe. (2019, October 31). CDO User Guide (Version 1.9.8). <http://doi.org/10.5281/zenodo.3539275>
- Summary for Policymakers. (2022a). In *Global Warming of 1.5°C* (pp. 1–24). *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>
- Summary for Policymakers. (2022b). In *Climate Change and Land* (pp. 1–36). *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.001>
- 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>
- Technical Summary. (2023). In *Climate Change 2021 — The Physical Science Basis* (pp. 35–144). *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>
- The WCRP Coupled Model Intercomparison Project — Phase 5 (CMIP5) — CLIVAR Exchanges Special Issue. (2011). **56**(16), 32 pp.
- Wang, Y., Sarmah, S., Singha, M., Chen, W., Ge, Y., Liang, L.L., et al. (2024). Increasing optimum temperature of vegetation activity over the past four decades. *Earth's Future*, **12**, e2024EF004489. <https://doi.org/10.1029/2024EF004489>.
- WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. (2017). *WMO-No. 1203*. 574 p.
- Yamasaki, T., Yamakawa, T., Yamane, Y., Koike, H., Satoh, K., & Kato, S. (2002). Temperature acclimation of photosynthesis and related changes in photosystem II electron transport in winter wheat. *Plant physiology*, **128**(3), 1087–1097. <https://doi.org/10.1104/pp.010919>.

REFERENCES

- Vegetation period: Reference book. *Agrarian Platform*. URL: https://aoplatforma.com/reference/agro-dictionary/page/vegetacii-period?utm_source=chatgpt.com [in Ukrainian]
- Zhovtonog, O., Polishchuk, V., Filipenko, L., Saliuk, A., Butenko, Y., & Chorna, K. (2020). Study of drought manifestation and its effect on the thermal regime of vegetation surface of crops under irrigation. *Land Reclamation and Water Management*, **2**, 39–48. <https://doi.org/10.31073/mivg202002-263> [in Ukrainian]
- Kostenko M. (2025). Grape plant: care step by step. *Proposal — Main journal on agribusiness issues*. URL: <http://propozitsiya.com/ua/vynogradna-roslyna-doglyad-krok-za-krokom> [in Ukrainian]
- 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 [in Ukrainian]
- Krakovska, S.V., Palamarchuk, L.V., Shpytal, T.M. (2016b). Electronic databases and results of numerical simulations in defining specialized climate indices. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, **3**(42), 95–105 [in Ukrainian]
- Krakovska, S.V., Shpytal, T.M. (2018). Dates of air temperature transition over 0, 5, 10 and 15°C and corresponding lengths of climatic seasons from the second part of the 20th to the middle of the 21st century in Ukraine. *Geoinformatika*, **4**(68), 74–92 [in Ukrainian]
- Krakovska, S., Shpytal, T., Chyhareva, A., Pysarenko, L., Kryshstop, L. (2023). Climatic 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., Kryshstop, L. (2024). Climate 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. URL: https://journal.uhmi.org.ua/article/2_6_2024_3/ [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. [in Ukrainian]
- Rybchenko L.S., Savchuk S.V. (2015). Peculiarities of the radiation regime of the most intense droughts for 1991–2010 in Ukraine. *Journal of cartography*, **12**, 185–193. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh_2015_12_18 [in Ukrainian].
- Rybchenko, L.S., Savchuk, S.V. (2023a). 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. (2023b). Solar radiation during droughts in the cold period of the year during 1991–2020 in Ukraine. *Meteorology. Hydrology. Environmental monitoring*, **1**(3), 4–13. <http://doi.org/10.15407/Meteorology2023.03.004> [in Ukrainian].
- 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). (2024) Job code 2/23. K.: UHMI. 194 p. State Registration № 0123U100461. [in Ukrainian]
- 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). (2021) K.: UHMI. 231 p. State Registration № 0119U001123. [in Ukrainian]
- Furman, O.V. (2019). The duration of the growing season and phases of growth and development of soybean plants de-

- pending on the technological measures of cultivation. *Taurian scientific bulletin: Agriculture, plant growing, vegetable growing and melon growing*. **109**(1), 148–154. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-1.23> [in Ukrainian]
- Cherchel, V., Bodenko, N., Tagantsov, M. (2020). Change in the duration of the growing season of corn: which FAO to choose? *Agribusiness today. Newspaper of entrepreneurs of the agricultural sector*, **6**(421), 58–62. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/19510-zmina-tryvalosti-vehetatsiinoho-periodu-kukurudzy-iake-fao-obraty.html> [in Ukrainian]
- Shvydenko, A., Buksha, I., Krakovska, S. (2018). *Vulnerability of Ukraine's forests to climate change: monograph*. Kyiv: Nika-Center Publishing House. [in Ukrainian]
- 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. [in Ukrainian]
- Shubenko L. (2024). The impact of climate change on the spread of new fruit and vegetable crops in Ukraine. *Agribusiness today. Newspaper of entrepreneurs of the agricultural and industrial complex*, **23–24** (534–535). URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/31280-vplyv-zminy-klimatu-na-poshyrennia-novykh-plodovoovochevykh-kultur-v-ukraini.html> [in Ukrainian]
- Shulika, B. (2013). Phases of the development of grapes in the context of the types of weather in the village of Vosko. *Problems of continuous geographical education and cartography*, **18**, 176–181. URL: <https://periodicals.karazin.ua/pbgok/article/view/4193> [in Ukrainian]
- Breakout Group 3bis: Bias Correction (pp. 21–23) in IPCC. (2015). Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis Studies [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, and M. Tignor (eds.)]. *IPCC Working Group I Technical Support Unit*, University of Bern, Bern, Switzerland, pp. 171. https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/RPW_WorkshopReport.pdf (Accessed: 10.12.2023).
- 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>
- IPCC Special Report on Climate Change and Land (SRCCL). (2019). <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- IPCC AR6 Working Group II Report. (2022). *Impacts, Adaptation, and Vulnerability: IPCC AR6 WGII Repor*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., ... Yiou, P. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, **14**(2), 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Lee, Z., Lim, J., Harikrishna, J. et al. (2024). Regulation of Plant Responses to Temperature Stress: A Key Factor in Food Security and for Mitigating Effects of Climate Change. *Int. J. Plant Prod.* **18**, 141–159. <https://doi.org/10.1007/s42106-024-00282-7>
- Lyalko, V.I., Artemenko, I.G., Zholobak, G.M., Kostyuchenko, Y.V., Levchik, O.I., Sakhaty, O.I. (2009). Evaluating Vegetation Cover Change Contribution into Greenhouse Effect by Remotely Sensed Data: Case Study for Ukraine. In: *Groisman, P.Y., Ivanov, S.V. (eds) Regional Aspects of Climate-Terrestrial-Hydrologic Interactions in Non-boreal Eastern Europe*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2283-7_17
- Nievol, C.C., Carvalho, C.P., Carvalho, V., & Rodrigues, E. (2017). Rapid responses of plants to temperature changes. *Temperature*, **4**(4), 371–405. <https://doi.org/10.1080/23328940.2017.1377812>
- Predicting the Distribution of Invasive Plants in the Ukrainian Carpathians under Climatic Change. (2021). Cambridge University Press
- Schulzweida, Uwe. (2019, October 31). CDO User Guide (Version 1.9.8). <http://doi.org/10.5281/zenodo.3539275>
- Summary for Policymakers. (2022a). In *Global Warming of 1.5°C* (pp. 1–24). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>
- Summary for Policymakers. (2022b). In *Climate Change and Land* (pp. 1–36). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.001>
- 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>
- Technical Summary. (2023). In *Climate Change 2021 — The Physical Science Basis* (pp. 35–144). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>
- The WCRP Coupled Model Intercomparison Project — Phase 5 (CMIP5) — CLIVAR Exchanges Special Issue. (2011). **56**(16), 32 pp.
- Wang, Y., Sarmah, S., Singha, M., Chen, W., Ge, Y., Liang, L.L., et al. (2024). Increasing optimum temperature of vegetation activity over the past four decades. *Earth's Future*, **12**, e2024EF004489. <https://doi.org/10.1029/2024EF004489>
- WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. (2017). WMO-No. **1203**. 574 p.
- Yamasaki, T., Yamakawa, T., Yamane, Y., Koike, H., Satoh, K., & Katoh, S. (2002). Temperature acclimation of photosynthesis and related changes in photosystem II electron transport in winter wheat. *Plant physiology*, **128**(3), 1087–1097. <https://doi.org/10.1104/pp.010919>

Svitlana KRAKOVSKA^{1*}

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

Tetiana SHPYTAL¹

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

Svitlana SAVCHUK¹

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

Anastasia CHYHAREVA^{1,2}

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

Lidiia KRYSHTOP^{1,3}

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

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

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

³ UNIGIS, Vrije Universiteit Amsterdam, Netherlands

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

Part III: PERIOD OF ACTIVE VEGETATION

With the ongoing climate change, updated climate scenarios, and higher-resolution Regional Climate Models (RCMs), there is a growing need for a detailed assessment of the duration and changes in start and end dates of thermal periods, which are critical for various economic sectors. Previous studies have analyzed changes in the warm period (when temperatures stay above 0°C) and the growing season (above 5°C). This article is the next part in the series examining shifts in thermal periods across Ukraine till the end of the 21st century, focusing specifically on the Period of Active Vegetation (PAV) which is defined by the persistent transition of daily average temperatures above 10°C and is a key factor in determining suitable conditions for heat-loving crops and plays a crucial role in planning agricultural practices. The goal of this study was to analyze the spatial and temporal characteristics of the PAV and how they are changing over time. Using data from the E-Obs database, we calculated duration, the start and end dates of the PAV across Ukraine for the baseline climate period of 1961–1990 and assessed changes in 1991–2010. Additionally, we estimated future shifts for three periods: 2021–2040, 2041–2060, and 2081–2100, using Representative Concentration Pathways of both

moderate (RCP 4.5) and high (RCP 8.5) concentrations. The analysis is based on an ensemble of 34 RCMs from the Euro-CORDEX project, with a spatial resolution of approximately 12×12 km that corresponds to over 7300 grid nodes in Ukraine. In period 1991–2010, the duration of the PAV in Ukraine increased compared to 1961–1990, particularly in the northwest, where it extended by at least 10 days. By 2021–2040, under RCP 4.5, the PAV is expected to lengthen by about 7 days across most of Ukraine and by 7–14 days in the steppe regions of Crimea, southern Odesa Oblast, and the Carpathians. Under RCP 8.5, the increase is projected to be mostly 7–14 days, with the Carpathians seeing an increase of 14–21 days, and up to 7 days in Dnipropetrovsk Oblast. By 2041–2060, under RCP 8.5, the PAV is expected to increase significantly—by an average of 14–21 days, and up to 30 days in western Ukraine, Crimea, and southern Odesa Oblast. In 2081–2100, under RCP 4.5, the duration of the PAV in Ukraine is projected to resemble that of the RCP 8.5 scenario for 2041–2060. Under RCP 8.5, the extension of this period relative to 1991–2010 could range from 31 to 70 days, with the most pronounced increases occurring from east to west. Increasing the duration of the growing season and PAV can strengthen the agroclimatic potential of Ukraine in the future and will contribute to obtaining higher crop yields, if plants will be provided with moisture, that is, the timely implementation of modern methods of adaptation to changes in hydrothermal conditions and other agrotechnologies for plant protection.

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

