

С.В. Краковська^{1*}

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

Т.М. Шпиталь¹

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

А.Ю. Чигарева^{1,2}

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

С.В. Савчук¹

ORCID: 0009-0007-7861-9419
svetlanasvs120676@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/Meteorology2024.06.033>

КЛІМАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМІЧНИХ ПЕРІОДІВ В УКРАЇНІ ДО КІНЦЯ ХХІ СТ. Частина II: ВЕГЕТАЦІЙНИЙ ПЕРІОД

У статті представлено результати дослідження термічних періодів в Україні, а саме його друга частина, яка стосується тривалості та дат початку і закінчення вегетаційного періоду, що визначається за стійким переходом середньої за добу температури повітря через 5°C. Кліматичні характеристики вегетаційного періоду визначають початок і закінчення сільськогосподарських робіт, а також низки інших заходів, які проводяться, наприклад, у лісовому та інших господарствах. Методи визначення кліматичних характеристик у даному дослідженні були аналогічними тим, що використовувалися у першій частині, де проаналізовані зміни у теплий період (Краковська та ін., 2023, <http://doi.org/10.15407/Meteorology2023.04.035>). Значення кліматичних характеристик вегетаційного періоду для кліматологічної норми 1961–1990 і базового періоду 1991–2010 розраховувалися за даними європейської бази даних E-OBS, а проєкції змін відносно базового і значення у майбутні три періоди (2021–2040, 2041–2060 і 2081–2100) — за добовими даними 34 регіональних кліматичних моделей (PKM) міжнародної ініціативи для Європи Euro CORDEX за сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5. Для розрахунків використовували функцію `esa_gsl` пакетного програмного продукту CDO (Climate Data Operator) для визначення дат стійкого переходу температури через 5°C. Для корекції різниць масок у E-OBS і ансамблю PKM через різницю кількості точок сітки переважно прибережної лінії використано засоби геоінформаційної системи QGIS 3.28, за допомогою якої також відбувалося картографування для візуалізації та аналізу результатів із подальшим представленням у вигляді карт в електронному атласі за допомогою JavaScript-бібліотеки Leaflet. Встановлено, що тривалість вегетаційного періоду зростає на всій території країни до кінця століття. Ці зміни очікуються більш однорідними, ніж зміни тривалості теплого періоду. Тривалість вегетаційного сезону, яка на початку ХХІ століття була характерна лише для південного узбережжя Чорного моря та Кримського півострова, у кінці століття за реалізації сценарію високих концентрацій RCP 8.5 може бути характерною і на крайньому північному сході країни та в Українських Карпатах. Очевидно, що це значно змінить і потребуватиме швидкої адаптації екосистем і зміни практик ведення лісівництва та агропромисловості. Представлені результати можуть бути використані в розробці секторальних, національної, обласних і муніципальних стратегій з адаптації до зміни клімату.

Ключові слова: термічний режим, зміна клімату, репрезентативні шляхи концентрацій, проєкції кліматичних характеристик, дата стійкого переходу температури повітря, Euro CORDEX.

ВСТУП

Дослідження глобального клімату останніх десятиліть підтвердили, що його зміна пов'язана з інтенсифікацією антропогенної діяльності. Викиди промисловості, транспорту та інших секторів економіки спричиняють зміну хімічного складу та збільшення концентрації парникових газів у атмосфері з відповідним накопиченням тепла, яке підсилюється через значну зміну землекористування із зниженням поглинальної здатності не тільки суходолу,

але й океанів (Summary..., 2022a, 2022b, Technical..., 2023). Підвищення глобальної температури безпосередньо впливає на регіональний клімат з відповідною зміною термічного режиму, зокрема в Україні (Mean Projections..., 2021), на який також впливає зміна головних кліматоутворюючих чинників — сонячної радіації, яка зростає в країні синхронно з температурою повітря з 80-х рр. ХХ ст. (Рибченко та ін., 2023), а також циркуляція атмосфери (Мартазінова та ін., 2023), яка впливає на характер хмарності

(Заболотська та ін., 2021). В Україні наслідки зміни клімату посиленні військовою агресією росії з 2014 року, а отже перерозподілом ресурсів на реінтеграцію та відбудову інфраструктури, продовольчі програми тощо (КМУ, 2019, 2022).

Зміни у просторовому та сезонному розподілі температури повітря позначаються на різних аспектах життєдіяльності людства, особливо пов'язаних із кліматовразливими галузями економіки. Серед них передусім аграрний сектор, який визначає глобальну продовольчу безпеку, а також управління екосистемами, лісове, водне, комунальне та транспортне господарства, будівництво, енергетику, охорону здоров'я тощо. За нещодавно проведеними оцінками ці галузі в Україні вже перебувають і надалі перебуватимуть під значним кліматичним впливом принаймні до кінця ХХІ ст. (Швиденко та ін., 2018; Краковська та ін. 2016а, 2016b; Кліматичні ризики..., 2018; Шевченко та ін., 2019; КМУ, 2019).

Економічні ризики для аграрного сектору в Україні, де близько 70% території країни знаходяться під сільськогосподарськими угіддями (КМУ, 2022), пов'язані передусім з термічними періодами та їхніми часовими варіаціями, що впливають на регіональні умови вирощування культур (Lalic et al., 2018). Термічні періоди характеризуються спеціалізованими метеорологічними показниками, які значно залежать від географічного розташування. Безпосередньо для сільського господарства критичними і визначальними є дати початку, закінчення та тривалість періодів із середньою за добу температурою повітря (Тсер, °C) вище визначених порогових значень (Growing season length), а також суми ефективних температур за ці періоди, які визначають теплові ресурси території, показники морозності і континентальності клімату тощо (Клімат України, 2003; Польовий та ін., 2004; Дати переходу..., 2010; Атлас "Агрокліматичні...", 2016; Краковська та ін., 2023; Мартазінова та ін, 2023).

Важливе значення для сільськогосподарського виробництва має вегетаційний період — проміжок часу обмежений датами стійкого переходу середньої за добу температури повітря навесні та восени через 5°C. За таких температурних умов починається зростання та розвиток (вегетація) холодостійких і, особливо, теплолюбних рослин, коли активізуються фізіологічні процеси (фотосинтез, дихання та ріст). Для одnorічників це час від посадки (проростання насіння), а багаторічників — від сходів або набухання бруньок до дозрівання (збирання врожаю); для дерев — час активної життєдіяльності від початку сокоруху та розпускання бруньок до обпадання листя (Ботанико-фармакогностический..., 1990). Тривалість періоду вегетації безпосередньо

впливає на продуктивність рослин, врожайність і біорізноманіття. Залежно від регіону його можливі просторово-часові зсуви мають позитивні (Північна та Центральна Європа) та негативні (Південна та Східна Європа) наслідки, особливо для аграрного сектору. Поріг у 5°C важливий для рослин помірною клімату оскільки визначає біорізноманіття, яке потребує охорони середовища теплолюбних видів і адаптації в управлінні лісовими ресурсами (росту дерев, відновлення лісів і складу видів), динаміки екосистем через зв'язки між рослинами, травоядними тваринами та запилювачами, які чутливі до сезонних змін, контролю розповсюдження інвазійних видів рослин і комах. Для основних сільськогосподарських культур (пшениця, ячмінь, овес) дата початку вегетаційного періоду і його тривалість визначають проростання, ріст та розвиток, цвітіння і плодоношення. Тому ці показники є вкрай важливою інформацією при плануванні стійких методів ведення агробізнесу, а саме строків посіву та збору врожаю, селекції та диверсифікації культур, заміни сортів і типів культур, зміні агротехнологій, управління водними ресурсами та поливу, боротьби зі шкідниками (Лозовіцький, 2010; Дем'янюк та ін., 2016); Балабух, 2017; Яровий та ін., 2017; Predicting the Distribution..., 2021; Садовська та ін., 2023).

Враховуючи важливість прогнозування вегетаційного періоду, його дослідження мають досить довгу історію (Клімат України, 2003; Польовий та ін., 2004; Дати переходу..., 2010; Атлас "Агрокліматичні...", 2016). Методи визначення дат переходу температури через певні межі можуть бути різними в залежності від поставлених завдань (Скриник & Скриник, 2006; Сніжко та ін., 2007; Заболотська & Скриник, 2009; Мартазінова та ін., 2023). У даному дослідженні використовували кліматологічний метод, коли спочатку усереднювали за кліматичний період річний хід середньої за добу температури повітря, а потім визначали стійкий перехід, коли 6 днів поспіль температура була вищою (нижчою) навесні (восени), ніж порогове значення.

В останні роки увага науковців прикута переважно до аналізу поточних і прогнозованих змін температури повітря і низці супутніх питань, включно зі змінами термічних періодів у майбутньому за сценаріями (Сніжко та ін., 2007; Evaluating Vegetation..., 2007; Заболотська & Скриник, 2009; Польовий & Божко, 2015; Хохлов & Єрмоленко, 2015; Польовий та ін., 2017; Краковська & Шпиталь, 2018). Так у роботі (Польовий та ін., 2017) порівнювалися зміни за сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5, отриманими в моделях сімейства CMIP5, але різкіші зміни очікуються саме для вегетаційного періоду за сценаріями A1B та A2 попереднього глобального експерименту CMIP3.

Також у попередніх дослідженнях авторів (Дослідження..., 2013; Краковська & Шпиталь, 2018) встановлено, що до середини ХХІ ст. початок і закінчення вегетаційного періоду змістяться максимально на 9–13 днів із подовженням вегетації на 20–23 дні на півдні згідно до сценарію А1В на основі ансамблю шести регіональних кліматичних моделей (РКМ). Але на відміну від попередніх оцінок, для території України наразі доступні дані більшої кількості РКМ з просторовим розділенням $0,1^\circ$ для сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5 Міжнародної ініціативи Euro-CORDEX. Отже, метою цього дослідження був аналіз зміни характеристик вегетаційного періоду в Україні за оновленими сценаріями у майбутні періоди 2021–2040, 2041–2060 і 2081–2100 відносно базового періоду 1991–2010, а також фактичних змін у базовий період порівняно з періодом стандартної кліматологічної норми 1961–1990.

ПОЧАТКОВІ ДАНІ ТА МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ

Методика, алгоритм, підходи до візуалізації отриманих результатів були аналогічні викладеним у статті авторів щодо теплого періоду в цьому циклі публікацій результатів дослідження термічних періодів й їхніх проєкцій для України до кінця ХХІ ст. (Краковська та ін., 2023). А саме, в якості фактичних використано дані про середню за добу температуру повітря Європейської бази E-OBS 20.0e (Cornes et al., 2018). Для оцінок проєкцій до 2100 року використовували дані про середню за добу температуру повітря 34 РКМ за сценаріями репрезентативних помірних (RCP 4.5) і високих (RCP 8.5) концентрацій парникових газів Міжнародного Координованого експерименту з масштабування для Європи Euro-CORDEX (Jacob et al., 2014) у межах проєкту CMIP5 (Taylor et al., 2012; WCRP, 2011). Просторове розділення даних бази E-OBS і ансамблю обраних моделей є однаковим із кроком горизонтальної сітки близько 12×12 км, що складає більше 7300 вузлів у межах України.

Обробка даних включала методи математичної статистики, а саме квартильного мапування для корекції відхилень на стадії підготовки даних провайдерами (Breakout group..., 2015). Адитивний (або дельта) метод зсуву використовувався для подальшої корекції похибок ("bias-adjustment") розрахованих прогностичних значень за ансамблем РКМ із застосуванням базових значень, отриманих аналогічними розрахунками за даними E-OBS (Шедеменко та ін., 2012; Паламарчук & Краковська, 2018; Розроблення..., 2021, 2023). Для розрахунків використовували функцію `esa_gsl` пакетного програмного продукту CDO (Climate Data Operator) для

визначення дат стійкого (шість і більше діб поспіль) переходу температури через визначені порогові межі, у цьому дослідженні 5°C (Schulzweida, 2019). Для корекції різниць масок в E-OBS і ансамблю РКМ через різницю кількості точок сітки переважно прибережної лінії використано засоби геоінформаційної системи QGIS 3.28, за допомогою якої також відбувалося картографування для візуалізації та аналізу результатів із подальшим представленням у вигляді карт в електронному атласі за допомогою JavaScript-бібліотеки Leaflet (Краковська та ін., 2023).

Розрахунки показників проводилися для кожної РКМ окремо, після чого визначалися їхні зміни у майбутні періоди відносно базового, і лише потім усереднювали значення змін за ансамблем 34 РКМ в окремі 20-річчя ХХІ ст. (Паламарчук & Краковська, 2018; Розроблення..., 2021, 2023; Краковська та ін., 2023). Ці зміни додавалися до значень у базовий період і таким чином отримували дати початку, закінчення та тривалості вегетаційного періоду в Україні й їхні зміни за окремі обрані майбутні 20-річчя відносно базового 1991–2010. Вибір 20-річних періодів відповідає методичним підходам останнього Шостого звіту Міжурядової групи експертів зі зміни клімату МГЕЗК (Summary..., 2022a, 2022b, Technical..., 2023; Краковська та ін., 2023). У зв'язку із зменшенням кількості метеорологічних станцій України після анексії АР Крим і частини східних областей після 2014 року і у відповідності до рекомендацій ВМО, обраний базовий період закінчувався найближчим "нульовим" роком, де були дані по всій території країни, тобто 2010 (WMO, 2017; Краковська та ін., 2023).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХНІЙ АНАЛІЗ

Тривалість вегетаційного періоду. У кліматичний період **1961–1990** усереднене значення тривалості вегетаційного періоду становило 219 днів із мінімумом 162 дні у Карпатах і максимумом у 284 дні в АР Крим (рис. 1). Найкоротший вегетаційний сезон (162–180 днів) спостерігався вздовж високогірних хребтів Карпатських гір, 180–200 — у південно-східній частині Карпат та на крайньому північному сході країни (на півночі та у східних районах Сумської області, в осередку на північному сході Чернігівської та локально на півночі Харківської). На решті території Карпат та переважній частині України від сходу до західних областей — тривалість вегетаційного періоду становила 200–220 днів. У південній частині країни (Миколаївська, Херсонська, західна та південні частини Запорізької, узбережжя Донецької, північна частина Одеської, південні райони Вінницької, Кіровоградської та Дніпропет-

ровської області) та у південно-західній (центральні райони Львівської, північно-східна частина Івано-Франківської, значні території Чернівецької, південні райони Тернопільської та Хмельницької областей, Вулканічний хребет), а також вздовж Дніпровських водосховищ у Київській, Черкаській та Дніпропетровській областях вегетаційний сезон тривав 220–240 днів. На Кримському півострові виділяється досить контрастний характер тривалості вегетаційного періоду: на південному заході та у східних районах — 260–280 днів, в окремих локаціях Керченського півострова найдовше — 280–284, у Кримських горах 200–220, 220–240 (північні схили). Решта території АР Крим, а також південна частина Одеської області та південні райони Херсонської — 240–260 днів.

У період **1991–2010** порівняно із минулим **1961–1990** вегетаційний сезон в Україні зріс у Карпатах на 6 днів і тривав 168 днів, а в районі Керченського півострову — на 10 днів до максимальних 294 днів. У середньому в країні зміни склали 4 дні і вегетаційний сезон тривав 223 дні (рис. 1). Найкоротший вегетаційний період у 168–180 днів тривав вздовж високогірних хребтів, а 180–200 днів — здебільшого у південно-східній частині Карпат та в локації на північному сході Сумської області. На решті території Карпатських гір та на значній частині України від сходу до західних областей вегетаційний сезон тривав 200–220 днів, але порівняно з періодом 1961–1990, ці площі значно скоротились за рахунок відсутнього збільшення територій з більшою тривалістю у 220–240 днів. Такий процес поширився у всі регіони країни: Дніпропетровську, Запорізьку, Миколаївську області, північні частини Одеської та Херсонської, південні райони Донецької, Кіровоградської і Полтавської, центральні Луганської і Київської, схід Черкаської, південні частини Вінницької, Хмельницької та Тернопільської, Волинську область, а також Львівську, Івано-Франківську та Чернівецьку (за виключенням гірських частин) та вздовж Вулканічного і Полонинського хребтів. Тривалість вегетаційного сезону у 240–260 днів отримана у Закарпатті, південній частині Одеської області (крім крайнього півдня), вздовж узбережжя Миколаївської, у південній частині Херсонської, в осередку на південному заході та вздовж узбережжя Запорізької області. В АР Крим тривалість вегетаційного сезону була досить різною: 200–220 днів на Головному пасмі, 220–240 на Внутрішньому, 240–260 на Зовнішньому пасмі та північному заході півострова, 280–294 у локаціях на заході та півдні Керченського півострова. На решті території АР Крим та в осередку на крайньому півдні Одеської області — 260–280 днів.

За сценарієм **RCP 4.5**, у **2021–2040** роках найкоротший вегетаційний сезон очікується у високогір'ї південно-східних Українських Карпат — 180–200 днів (на окремих вершинах 172–180) (рис. 1). На решті території Карпат, у північних та східних районах Сумської області, північному сході Чернігівської та осередку на півночі Харківської — 200–220 днів. На значній території України вегетаційний сезон триватиме 220–240 днів. Тривалість у 240–260 днів очікується на півдні та заході країни: у західній частині Запорізької області, на Херсонщині і Миколаївщині (крім її північних районів), північній частині Одещини, на півдні Хмельницької, південному заході Вінницької, сході Чернівецької, південному сході Тернопільської, у центрі Львівської областей та Закарпатті. У південній частині Одеської області очікується 260–280, а в локаціях на узбережжі до 300 днів. В АР Крим тривалість вегетаційного сезону буде від 240–260 днів на Головному та Внутрішньому пасмі, 260–280 — на Зовнішньому пасмі, Керченському півострові та у північній частині Кримського півострова, 280–300 — у центральній частині, а в локації на південному заході — до 300–320 днів.

Сценарій **RCP 8.5** для періоду **2021–2040** практично аналогічний сценарію RCP 4.5 для цього періоду навіть за середнім значенням 235 днів, але меншим розкидом значень: від 175 до 317 днів (рис. 1).

У період **2041–2060** за сценарієм **RCP 4.5** у високогір'ї південно-східних Карпат вегетаційний сезон триватиме так само 180–200 днів (на поодиноких вершинах 178–180), на решті території гірського масиву та в осередку на півночі Сумської області — 200–220 (рис. 1). На значній території України від сходу до західних областей вегетаційний сезон триватиме 220–240 днів. Як і раніше 240–260 днів очікується здебільшого у Південному та Західному регіонах: Запорізькій та Херсонській (крім їх південних районів), Миколаївській областях, південних частинах Донецької, Дніпропетровської та Вінницької областей, північній частині Одеської, сході Тернопільської, заході Волинської, центрі Івано-Франківської, переважно у Чернівецькій, Хмельницькій та Львівській областях, вздовж Полонинського та Вулканічного хребтів, а також вздовж Дніпровських водосховищ та в локації на сході Луганської області. Тривалість у 260–280 днів отримано на півдні Одеської області (в окремих локаціях на узбережжі до 280–300), у південно-східних районах та по узбережжю Херсонської, в осередку на південному заході Запорізької областей. Вегетаційний сезон в АР Крим триватиме переважно 280–300 днів, в осередку на південному заході — 300–320 (в районі Херсонесу до 324), на північному заході — 260–280, у Кримських горах — 240–260 днів.

Сценарій **RCP 8.5** для **2041–2060** років прогнозує найкоротшу тривалість вегетаційного сезону так само у південно-східній частині Українських Карпат — 200–220 днів, 180–200 днів у високогір'ях (рис. 1). Вегетаційний сезон у 220–240 днів очікується на сході та північному сході України: в Луганській (крім центральних районів), північному сході Донецької областей, у Харківській, Сумській, Чернігівській (крім південного заходу), значній площі Полтавської, в осередку на півночі Кіровоградської, а також у північних та південних районах Житомирської, на півночі Вінницької, у суміжних районах Львівської та Тернопільської областей, на решті території Карпат. На значній площі України вегетаційний сезон триватиме 240–260 днів. Збільшення тривалості до 260–280 днів прогнозується на заході та півдні країни: у Закарпатті, локації на заході Львівської області, у південних районах Хмельницької, на сході Чернівецької, крайньому південному заході Вінницької, у південних частинах Одеської (в осередках до 280–300) та Херсонської областей, узбережжі Миколаївської, на південному заході Запорізької області, в районі Каховського водосховища. На переважній території АР Крим вегетаційний сезон вже триватиме 280–300 днів, в Кримських горах та Тарханкутському півострові — 260–280, на південному заході та у центральних районах — 300–320, у локації Херсонесу — 320–330 днів.

Отримана проєкція тривалості вегетаційного сезону за сценарієм **RCP 4.5** для періоду **2081–2100** практично аналогічна сценарію **RCP 8.5** для **2041–2060** навіть за середнім і максимальним значенням у 247 і 330 днів відповідно (рис. 1).

У **2081–2100** роках сценарій **RCP 8.5** передбачає найкоротший вегетаційний сезон у південно-східних Карпатах — 220–240 днів (на окремих хребтах — 209–220), 240–260 — на решті території Карпат, а також на північному сході України (північних районах Луганської та Харківської, північній та східній частинах Сумської областей) (рис. 1). Подовження сезону до 260–280 днів очікується на значній території Східного, Центрального і Північного регіонів країни, а також Західного — в ареалі суміжних територій Тернопільської, Львівської, Волинської та Рівненської областей. Тривалість вегетаційного сезону 280–300 днів прогнозується у західній та південній частині країни: у Херсонській та Миколаївській областях, західній частині та по узбережжю Запорізької, вздовж узбережжя Донецької, південних районах Дніпропетровської, північній частині Одеської, півдні Вінницької, східній частині Тернопільської, у Львівській, Івано-Франківській та Чернівецькій областях (крім їх гірських територій), на значних територіях Волинської та Рівненської

областей, на Полонинському та Вулканічному хребтах, у Хмельницькій та центральних районах Київської області. Тривалість у 300–320 днів очікується у південній частині Одеської області (в локаціях на узбережжі до 320–340), в окремих районах півдня Херсонської та Запорізької, у північно-західній частині АР Крим, у Кримських горах (на височинах 280–300), в осередку на сході Чернівецької та півдні Хмельницької областей, у Закарпатті. На значній території Кримського півострова (у східній, центральній та південно-західній частинах) за цим сценарієм вегетаційний сезон триватиме найдовше — 320–340 днів, в окремих локаціях максимально до 346 днів на рік.

Початок (день року) вегетаційного періоду.

У період **1961–1990** найпізніший початок вегетаційного сезону, на 100–110 день року, відбувався у Карпатах (на 110–120 у високогір'ї, 120–130 на окремих вершинах), а також в осередку між Донецькою і Луганською областями та на північному сході країни: у Сумській області, північних районах Харківської і Луганської областей, на північному сході Полтавської, у північній та східній частинах Чернігівської області (рис. 2). На схилах Карпат, у Кримських горах та значній території України вегетаційний сезон починався на 90–100 день. З 80–90 дня відмічався початок сезону на Полонинському хребті, центральних районах Чернівецької області, у південних частинах Одеської, Миколаївської та Херсонської областей, на півночі АР Крим, з 70–80 — на Закарпатті, в локації на півдні Одеської області, та на значній території АР Крим. Найраніше вегетаційний сезон розпочинався вздовж південного узбережжя Керченського півострова — 50–60 день, на сході та на південному заході Кримського півострова — на 60–70 день.

У **1991–2010** роках, найпізніше, на 100–110 день, починався вегетаційний сезон у Карпатах (у високогір'ях 110–120) та у східних районах Сумської області, на 90–100 — на схилах Карпат та значній території України від сходу до західних областей (рис. 2). Настання вегетаційного сезону на 80–90 день відмічалось здебільшого у Південному та Західному регіонах: у західній та південній частині Запорізької області, Херсонській (крім південних районів), Миколаївській, у північній частині Одеської, у південних районах Вінницької області, у Чернівецькій, Івано-Франківській та Львівській областях (крім їх гірських територій), Волинській, південних частинах Тернопільської та Хмельницької областей, на Полонинському хребті, а також в районах Дніпровських водосховищ. Початок на 70–80 день спостерігався в осередку на заході Львівської області, на Вулканічному хребті, у південній частині та східних районах

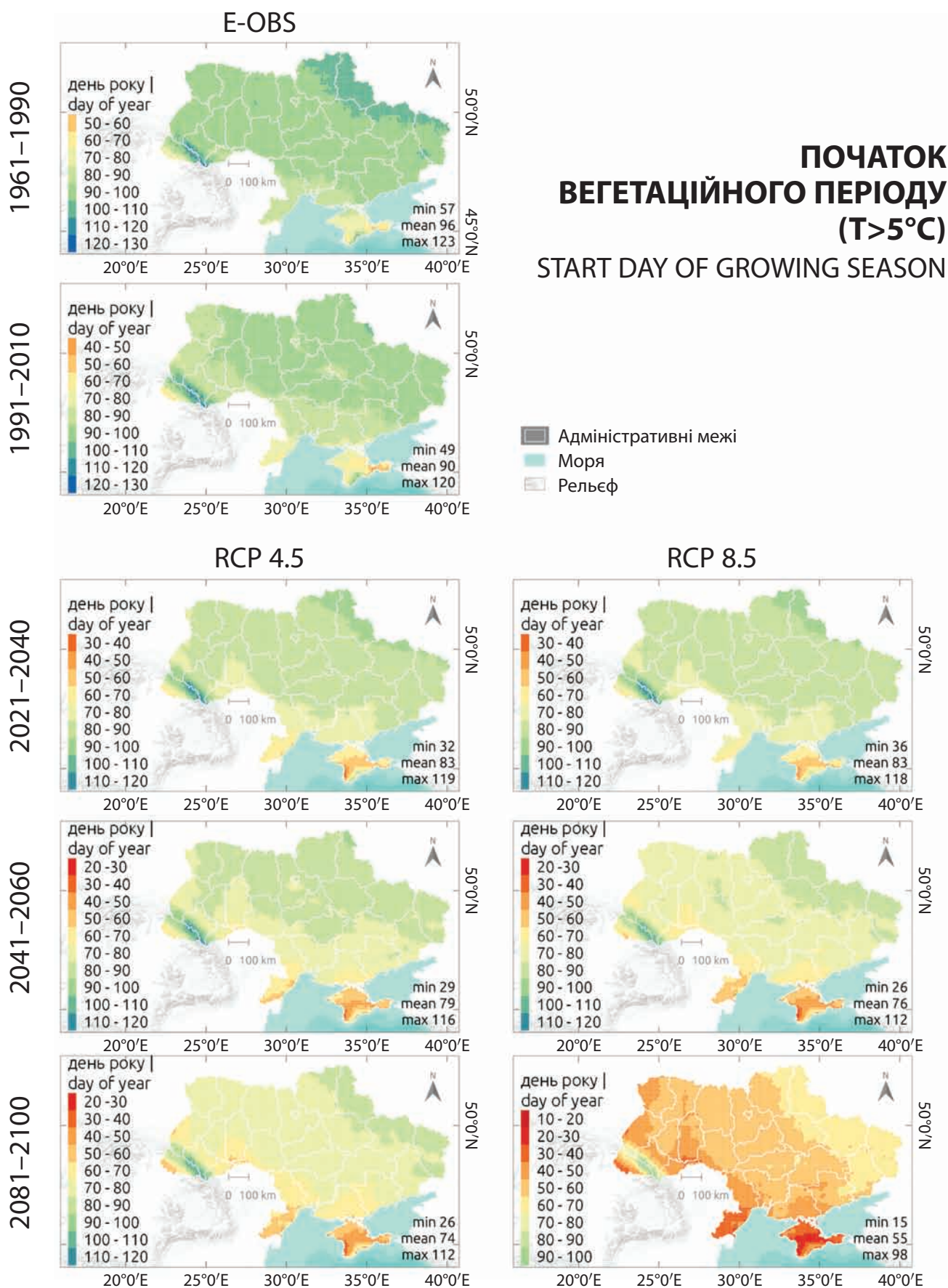


Рис. 2. Початок (день року) вегетаційного періоду за даними E-OBS, сценаріями **RCP 4.5** та **RCP 8.5** у вказані періоди XX–XXI ст.

Одеської області, південних районах Херсонської, на 60–70 день — у Закарпатті, південних локаціях Одеської області. В АР Крим відмічалось 7 градацій початку вегетаційного сезону: на 90–100 день на Головному пасмі Кримських гір (100–110 на вершинах), 80–90 — на Внутрішньому пасмі, 70–80 — на Зовнішньому пасмі та у північній частині півострова, 50–60 — на перешийку Ак-Монай (40–50 на його півдні), 60–70 — на решті території Кримського півострова.

Сценарій **RCP 4.5** у **2021–2040** роках прогнозує самий пізній початок вегетаційного сезону так само на 100–110 день у південно-східних Карпатах (у високогір'ях 110–120). На 90–100 день — на решті території Карпат та на північному сході України: у Сумській області (крім південного заходу), північному сході Чернігівської, у північних районах Харківської та Луганської областей (рис. 2). На переважній території країни початок вегетаційного сезону очікується на 80–90 день. На 70–80 день вірогідний початок даного сезону у Західному та Південному регіонах: у Херсонській області, західній частині Запорізької, південній частині Миколаївської, у північній частині Одеської, у південно-західних районах Вінницької областей, у Чернівецькій (крім заходу), південній частині Хмельницької, у південно-східних районах Тернопільської, на заході Львівської та Волинської областей, у Кримських горах. У Закарпатті, південній частині Одеської області, на півночі АР Крим та на Керченському півострові вегетаційний сезон буде починатись на 60–70 день, у центральних районах АР Крим та вздовж узбережжя Керченського півострова — на 50–60, в локації на південному заході Кримського півострова — на 40–50 та 30–40 день.

Сценарій **RCP 8.5** для **2021–2040** років практично аналогічний сценарію **RCP 4.5** для цього періоду (рис. 2).

За сценарієм **RCP 4.5**, на середину XXI ст. у **2041–2060** роках початок вегетаційного сезону на 80–90 день очікується у всіх регіонах країни, крім Південного (рис. 2). Пізніший початок прогнозується у південно-східних Карпатах — на 100–110 (у високогір'ях 110–120) та на решті території Карпатських гір і у північних районах Сумської області — на 90–100 день. На переважній території південної та західної частин країни вегетаційний сезон почнеться на 70–80 день: у південних частинах Донецької та Вінницької областей, у Дніпропетровській (крім північних районів), Запорізькій, Миколаївській та Хмельницькій областях, Херсонській (крім півдня), на півночі Одеської, заході Кіровоградської, у східній частині Тернопільської, значних площах Чернівецької, Івано-Франківської та Львівської областей, на заході Волинської області, вздовж Вулканічного

хребта, в осередках Луганської та Київської областей, в районах Дніпровських водосховищ. У Закарпаття, суміжні райони Чернівецької та Хмельницької областей, південну частину Одеської області, південь Херсонської, південний захід Запорізької, північний захід АР Крим та Кримські гори вегетаційний сезон прийде на 60–70 день. У локаціях на південному узбережжі Одеської області та переважній території АР Крим — на 50–60 день, на південний захід півострова, центральні райони, узбережжя Керченського півострова — на 40–50, у локації на південно-західному узбережжі — на 30–40 та 20–30 день.

Сценарій **RCP 8.5** для **2041–2060** років передбачає самий пізній початок вегетаційного сезону у південно-східних Українських Карпатах — на 100–110 день (110–120 на окремих вершинах), на решті високогірних територій — на 90–100 (рис. 2). По схилах Карпатських гір та на північному сході країни (Сумська область, значні території Чернігівської, Харківської, Полтавської, північна частина та на південні райони Луганської), а також в ареалах між Житомирською та Вінницькою областями і на півночі Кіровоградської початок вегетаційного сезону очікується у середньому на 80–90 день. На значній території України, що охопить всі регіони, вегетація почнеться раніше — на 70–80 день. На 60–70 день прогнозується початок вегетаційного періоду у південній та південно-західній частинах України: на значній території Херсонської області (крім північних та західних районів), у південних ареалах Запорізької, Миколаївської та Вінницької областей, центральних районах Одеської області, у Чернівецькій (крім гірських районів), у південній частині Хмельницької, на південному сході Тернопільської, у Закарпатті та Передкарпатті Львівської області, а також вздовж Головного пасма Кримських гір. У південній частині Одеської області, у північній частині АР Крим, на значній території Керченського півострова, вздовж Внутрішнього пасма Кримських гір та в осередку на півдні Закарпатської області вегетація буде починатись на 50–60 день. У центральній частині Кримського півострова та у 2-х локаціях на узбережжі Одеської області початок вегетаційного періоду очікується на 40–50 день, а у південно-західному осередку Криму та в локаціях на півдні Арабатської стрілки та Керченського півострова, на крайньому заході Тарханкутського півострова — на 30–40 та, навіть раніше — на 20–30 день.

Згідно сценарію **RCP 4.5**, у **2081–2100** роках самий пізній початок вегетаційного сезону прогнозується у південно-східній частині Карпат: на 100–110 день у високогірній частині, на 110–120 на окремих вершинах, на 90–100 на решті території (рис. 2).

У північно-західних Карпатах – на 80–90 день, вздовж схилів — на 70–80. Прихід вегетаційного періоду на 80–90 день також очікується на північному сході та сході України: у Сумській області, Луганській (крім центральних районів), північній частині Харківської, на північному сході Чернігівської та Полтавської областей. Початок вегетаційного сезону на 60–70 день передбачається, переважно, на півдні та південному заході країни: у Херсонській, північній частині Одеської області, в західних частинах Запорізької та Миколаївської, в районах на крайньому півдні Вінницької, у Чернівецькій (без західних гірських територій), південній частині Хмельницької, на південному сході Тернопільської, окремих районах на сході Івано-Франківської, у західній частині Львівської області, вздовж Вулканічного хребта Карпатських гір. Початок вегетаційного періоду на 50–60, 40–50, 30–40 та 20–30 дні аналогічний сценарію **RCP 8.5** для **2041–2060**. На решті території України, що охопить всі регіони, сезон вегетації почнеться на 70–80 день.

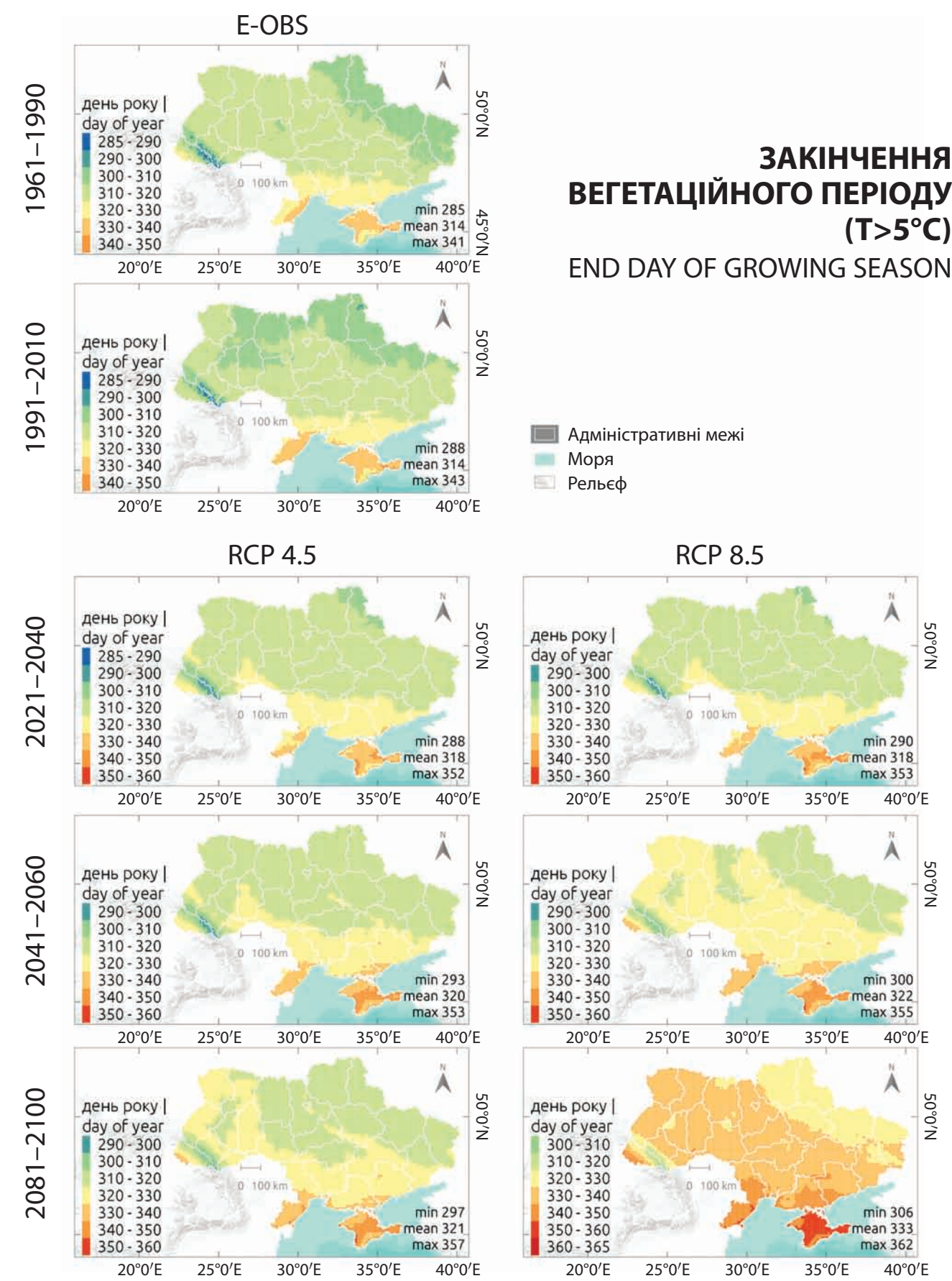
За сценарієм **RCP 8.5**, у **2081–2100** роках самий пізній початок вегетаційного сезону прогнозується у Карпатах: у південно-східній частині — на 80–90 день (у високогір'ях на 90–100), у північно-західній — на 70–80, вздовж схилів — на 60–70, у передгір'ях — на 50–60 (рис. 2). На 60–70 день очікується старт вегетації на сході та північному сході України: у Сумській, Харківській, Луганській областях, Донецькій (крім районів на крайньому півдні), у східних частинах Чернігівської та Полтавської, в осередку на сході Запорізької областей. Початок вегетаційного періоду на 40–50 день буде відмічатись, переважно, на півдні та заході країни: у північній частині Одеської області, районах на заході Запорізької, значній території Херсонської (крім півночі та південного заходу), південному заході Вінницької, у південній частині та центральних районах Хмельницької, південному сході Тернопільської, центральній частині Чернівецької, північно-східних районах Івано-Франківської, західних частинах Львівської та Волинської областей, вздовж Вулканічного хребта Карпат та Головного пасма Кримських гір. На 30–40 день очікується початок вегетації у Закарпатті, в осередку, що охопить схід Чернівецької та крайні південні райони Хмельницької областей, у південній частині Одеської області (крім районів на узбережжі), у північній частині АР Крим, на Керченському півострові, по Внутрішньому пасму Кримських гір. Самий ранній початок вегетаційного періоду. На 20–30 день прогнозується у центральній та південно-західній частині АР Крим та по узбережжю Керченського півострова, а у локації Херсонесу — на 10–20.

Закінчення (день року) вегетаційного періоду.

У **1961–1990** роках на 290–300 день вегетаційний сезон закінчувався у південно-східному високогір'ї Карпат, найраніше на 285–290 день року — на вершинах, на 300–310 — на решті території гірського масиву, а також на сході та північному сході України: в Луганській і Сумській областях, північних частинах Донецької та Полтавської, у Харківській (крім південних районів), у північній та східній частинах Чернігівської (рис. 3). На 320–330 день спостерігався кінець вегетаційного сезону у Закарпатті та південній частині країни: в Одеській, Миколаївській та Херсонській областях (крім їх північних районів), у південній частині Запорізької та у Кримських горах (на Головному пасмі на 310–320). Закінчення на 330–340 день спостерігалось на південному сході Одеської області, на Азовському узбережжі Херсонської та на значній території АР Крим. До 340–350 дня тривав вегетаційний сезон на південному узбережжі Керченського півострова, на перешийку Ак-Монай, та в районі Херсонесу. На значній території України від сходу до заходу країни вегетаційний сезон закінчувався у середньому на 310–320 день року.

У **1991–2010** роках закінчення вегетаційного сезону на переважній території України відмічалось так само на 310–320 день (рис. 3). Раніше, на 300–310 день, фіксувалось закінчення в Карпатах (290–300 — у південно-східному високогір'ї, 285–290 день — на вершинах). А також у північній частині країни: у Сумській, значних територіях Чернігівської, Житомирської та Рівненської областей, у північних частинах Тернопільської, Хмельницької, Київської, Полтавської та Харківської, у північних районах Луганської та Вінницької областей. На 320–330 день закінчувався вегетаційний період у центральних та південно-західних районах Одеської області, південних частинах Миколаївської та Запорізької, значній території Херсонської, вздовж узбережжя Донецької, у Кримських горах (на Головному пасмі 310–320). У південній частині Одеської області, на Чорноморському узбережжі Херсонської та значній території АР Крим закінчення вегетаційного сезону відмічалось на 330–340 день, а на південному узбережжі Керченського півострова та перешийку Ак-Монай — на 340–350 день.

Згідно сценарію **RCP 4.5**, у **2021–2040** роках на значній території України закінчення вегетаційного сезону прогнозується на 310–320 день, на 290–300 — у високогір'ї південно-східних Карпат (на вершинах — 280–290), на 300–310 — на решті території гірського масиву, а також у північній і східній частині Сумської області та у північно-східному районі Чернігівської (рис. 3). На 320–330 день віро-



гідне закінчення вегетаційного сезону в Закарпатті, в осередку на заході Львівської області, в ареалі, що охоплює південь Хмельницької, східну частину Чернівецької та південно-західний район Вінницької областей, в Херсонській області, на переважних територіях Одеської, Миколаївської та Запорізької, південних районах Дніпропетровської та Донецької областей, на Головному пасмі Кримських гір. У південно-східних районах Одеської області, на узбережжі Запорізької та значній території АР Крим закінчення вегетаційного сезону очікується на 330–340 день, а в осередках на південному заході та сході АР Крим, вздовж узбережжя Керченського півострова та в районі мису Тарханкут — на 340–350, в локації Херсонесу — на 350–360 день.

Сценарій **RCP 8.5** для періоду **2021–2040** практично аналогічний сценарію **RCP 4.5** для цього ж періоду (рис. 3).

За реалізації сценарію **RCP 4.5**, у **2041–2060** роках саме раннє закінчення вегетаційного сезону, на 290–300 день, прогнозується у південно-східному високогір'ї Карпат, на 300–310 день — на решті території гірської країни (рис. 3). На значній території України закінчення вегетаційного сезону відбуватиметься на 310–320 день. У південній частині країни і, частково, у західній — на 320–330 день. Такі значення очікуються у Запорізькій, Херсонській, Миколаївській областях, північній частині Одеської, на півдні Донецької, Дніпропетровської, Вінницької та Тернопільської областей, на значній площі Хмельницької та Чернівецької, в ареалі Львівської області, у Закарпатті, районах Кременчуцького, Кам'янського та Дніпровського водосховищ. У південній частині Одеської, південних районах Херсонської та Запорізької областей, у північно-західній частині АР Крим та Кримських горах закінчення вегетаційного сезону очікується на 330–340 день, тобто в грудні, в районі Херсонесу — на 350–360, на решті території Кримського півострова — на 340–350 день року.

За сценарієм **RCP 8.5**, у **2041–2060** роках на 300–310 день закінчуватиметься вегетаційний сезон у високогір'ї Українських Карпат, на 310–320 — на решті території Карпатських гір (рис. 3). Закінчення на 310–320 день очікується на сході та північному сході країни: у Луганській (крім центральних районів), Чернігівській, Сумській, Харківській областях, північній частині Донецької, значній території Полтавської (крім південного заходу). Таке подовження вегетації очікується і в ареалі, що охопить східні райони Львівської, західні Тернопільської та південні Рівненської областей, а також на значних площах Житомирської та суміжних до них північних районах Вінницької та південних Київської областей. На значній території України прогнозується закінчення

вегетаційного сезону на 320–330 день, пізніше на 330–340 — у Закарпатті, південній частині Одеської, південно-східній частині Херсонської, на південному заході Запорізької областей, на узбережжях Миколаївської, Херсонської та Запорізької областей, північно-західній частині АР Крим та у Кримських горах. Ще пізніше закінчення вегетаційного сезону на 340–350 день очікується на решті Кримського півострова, а найпізніше — в районі Херсонесу на 350–360 день року.

Сценарій **RCP 4.5** у **2081–2100** роках передбачає закінчення вегетаційного сезону на 300–310 день у південно-східних Карпатах (у Чивчинських та Рахівських горах — на 290–300) (рис. 3). На 310–320 день — на решті території Карпат, в ареалі, що охопить схід Львівської, західну частину Тернопільської та південні райони Рівненської і Волинської областей, а також у Чернігівській, Сумській, Харківській, Київській, Житомирській, значних територіях Черкаської, Кіровоградської, Луганської, Полтавської, північних частинах Донецької та Вінницької областей. Закінчення вегетаційного сезону на 320–330 день очікується здебільшого у західній частині країни: у Львівській, Івано-Франківській та Чернівецькій областях (крім їх гірських територій), на значних територіях Волинської, Рівненської, Хмельницької, Дніпропетровської областей, у східній частині Тернопільської, на Полонинському та Вулканічному хребтах, у південних частинах Вінницької та Донецької областей, в Миколаївській, Херсонській, Запорізькій областях, північній частині Одеської, вздовж Дніпровських водосховищ. На 330–340 день — в Закарпатті, південній частині Одеської, південних районах Херсонської, південно-західних Запорізької областей, вздовж узбережжя Миколаївської та Запорізької областей, північно-західній частині АР Крим та у Кримських горах; на 340–350 — на решті Кримського півострова та в локаціях на південному сході Одеської області, на 350–360 — навколо місів Херсонес і Тарханкут.

Згідно сценарію **RCP 8.5**, у **2081–2100** роках найраніше закінчення вегетаційного сезону, на 310–320 день, очікується так само у південно-східних Карпатах (на окремих вершинах — 300–310) (рис. 3). Закінчення сезону на 320–330 день прогнозується у північно-східній частині України: у Чернігівській (крім південного заходу), Сумській, Харківській областях, північних частинах Полтавської та Донецької, на значних площах Луганської області, а також в ареалах на півночі Житомирської і Вінницької областей, на заході Тернопільської і на решті території Карпат. Переважна територія країни зазнає закінчення вегетаційного сезону на 330–340 день. У Закарпатті, Одеській (крім північних районів),

південно-східній частині Херсонської, південно-західних районах Запорізької, в ареалі Каховського водосховища, вздовж узбережжя Миколаївської, Херсонської, Запорізької областей, на Тарханкутському півострові, на Головному пасмі Кримських гір вегетаційний сезон закінчиться на 340–350 день, а на решті території АР Крим та в локаціях південного сходу Одеської області — на 350–360 та навіть 360–365 день, тобто по суті до 31 грудня.

ВИСНОВКИ

Для **вегетаційного періоду** в минулому характерні такі ж просторово-часові закономірності, що й для теплого періоду: збільшення тривалості з північного сходу на південь і південний захід від 200 до 290 днів і більше. Такі розподіли, що спостерігались у минулому, та зміни у сучасному кліматичних періодах будуть зберігатись до кінця ХХІ століття, але із збільшенням тривалості в залежності від інтенсивності впливу антропогенного чинника, тобто розглянутих сценаріїв.

Ранній початок теплого періоду зумовлює раннє відновлення вегетації рослин, що призводить до збільшення тривалості і зростання теплозабезпеченості у вегетаційний період. Зростання тривалості вегетаційного сезону протягом останніх десятиріч у період **1991–2010** спостерігались майже на всій території України, а найбільш значними вони були у південних, південно-східних та північно-західних регіонах країни, де зміни сягали від 7 до 14 днів, порівняно з кліматичною нормою **1961–1990**. Тривалість вегетаційного періоду зростатиме на всій території країни і до кінця століття. Ці зміни будуть більш однорідні, ніж зміни тривалості теплого періоду, з найінтенсивнішими змінами впродовж століття за сценарієм **RCP 8.5**.

В короткостроковій перспективі (**2021–2040**) за сценарієм **RCP 4.5** майже на всій території країни вегетаційний період збільшиться на 14 днів порівняно з базовим періодом **1991–2010**, за винятком АР Крим, окремих районів Одеської, Чернівецької, Хмельницької та Тернопільської областей, де отримано подовження вегетаційного періоду на понад 20 днів. В сценарії **RCP 8.5** прогнозується подовження вегетаційного сезону від 14 до 21 дня майже на всій території країни. У Карпатах менше — до 7 днів, а у південних областях та в АР Крим до 28 днів. У найближчі десятиліття сценарії **RCP 4.5** і **RCP 8.5** прогнозують аналогічні просторові розподіли тривалості вегетаційного періоду, але з певними регіональними особливостями відносно сучасного періоду **1991–2010**. Майже на всій території країни тривалість вегетаційного періоду очікується від 220 до 240 днів. У ХХ і на початку ХХІ сторіччя такі умо-

ви були характерні лише для південних областей країни. Вегетаційний сезон тривалістю у 180–200 днів буде відмічатись лише на високогір'ї Карпат, хоча у **1961–1990** такі умови були характерні і для північного сходу країни. Майже на 200 км на північ пошириться територія з тривалішим вегетаційним періодом (240–260 днів), яка охопить майже всю територію південного степу. Такі умови вперше будуть спостерігатись і в окремих районах Прикарпаття. У степовій частині Криму тривалість вегетаційного періоду збільшиться до 300 днів, у той час як у сучасний період такі умови спостерігались лише в окремих районах.

На середину ХХІ сторіччя у період **2041–2060** за реалізації сценарію **RCP 4.5** майже на всій території України тривалість вегетаційного сезону відносно сучасного періоду **1991–2010** зросте на три тижні (21 день), а в АР Крим, південних районах Одеської та Херсонської областей — на чотири (до 28 днів). В АР Крим тривалість вегетаційного сезону очікується у 280–300 днів, за винятком Кримських гір та окремих районів північно-східного узбережжя Чорного моря. Вегетаційний період тривалістю у 240–280 днів очікується як у південному, так і у північному степу, на Закарпатті та в Прикарпатті. На решті території, за винятком Карпат і північно-східних районів Сумської області, тривалість даного періоду становитиме 220–240 днів. Сценарій **RCP 8.5** прогнозує більш інтенсивне зростання тривалості періоду вегетації: від 18 днів у південно-східних та центральних областях до 34 днів в АР Крим, Чернівецькій області, південних районах Одеської, Хмельницької та Тернопільської областей. Такі зміни призведуть до того, що в середині століття на значній території країни вегетаційний період триватиме 240–260 днів, тобто будуть спостерігатись такі кліматичні умови, які в середині ХХ століття були характерні лише для Кримського півострова, Закарпаття та південних районів Одеської області. У степовій частині Криму вегетація вперше триватиме 300–320 днів, що у другій половині ХХ століття було характерно лише для його південного узбережжя.

На кінець ХХІ сторіччя у період **2081–2100** за сценарієм помірних концентрацій **RCP 4.5** зміни тривалості вегетаційного періоду будуть аналогічними сценарію **RCP 8.5** для середини століття. При реалізації **RCP 8.5** тривалість даного сезону зросте на 40–70 днів, посилюючись зі сходу на захід. Такий процес призведе до небувалих наслідків: вперше на території України з'являться регіони, де вегетація триватиме практично протягом усього року. Такий результат отримано для південного узбережжя Кримського півострова, у степовій частині

Криму та в окремих південних районах Одеської області. Тривалий вегетаційний період, 280–300 днів, прогнозується не лише в окремих районах Кримського півострова, як це характерно для сучасного періоду, а й на значній території країни: у південних та західних областях і навіть на Київщині. Тривалість вегетаційного сезону, яка на початку століття була характерна лише для узбережжя Чорного моря та Кримського півострова, у кінці століття за реалізації сценарію найвищих концентрацій може бути характерною й на крайньому північному сході країни та в Українських Карпатах. Очевидно, що це значно змінить і потребуватиме швидкої адаптації екосистем і ведення агропромислової діяльності з урахуванням не тільки тривалості вегетації, але й потреб у зволоженні територій країни.

У цілому отримані результати можуть бути базою для оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату та розробки відповідних заходів із адаптації сільського і лісового господарств, для яких період вегетації є визначальним для стійкого розвитку. Отримані проєкції тривалості і дат початку та закінчення вегетаційного сезону у майбутні періоди дозволять визначити, наприклад, сортовий склад у плодівництві (ягідництві, садівництві і горіхівництві), луківництві та лісівництві, тобто у тих підгалу-

зях рослинництва, де використовуються багаторічні рослини, та спланувати рільництво для стійкого економічного розвитку країни. Таким чином, представлені результати можуть бути використані у розробці секторальних, національної, обласних, районних та муніципальних стратегій із адаптації до зміни клімату.

У двох наступних запланованих авторами публікаціях цього циклу буде представлено аналіз проєкцій інших важливих показників термічного режиму в Україні до кінця ХХІ сторіччя: періоду активної вегетації рослин ($T_{\text{сеп}} > 10^{\circ}\text{C}$) і кліматичного літа ($T_{\text{сеп}} > 15^{\circ}\text{C}$), які отримані за тими самими детальними даними ансамблю 34 РКМ для двох сценаріїв репрезентативних концентрацій за допомогою аналогічних методологічних підходів.

Подяка. Дослідження виконано в УкрГМІ в рамках НДР 2/23 “Розроблення оновлених сценаріїв зміни кліматичних характеристик 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

- Атлас “Агрокліматичні ресурси України” (2016) / за ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбиди, А.Л. Прокопенка. Київ: ТОВ “Українська картографічна група”.
- Балабух В.О. (2017) Зміна кліматичних умов в Україні та її вплив на сільськогосподарське виробництво. *Всеукраїнський аграрний журнал “АгроЕліта”*. URL: <https://agroelita.info/zmina-klimatichnyh-umov-v-ukrajini-ta-jiji-vplyv-na-silskohospodarske-vyrobnytstvo/>
- Ботанико-фармакогностический словарь: справ. пособие (1990) / под ред. К.Ф. Блиновой, Г.П. Яковлева. М.: Высш. шк.
- Дати переходу температури повітря в Україні за сучасних умов клімату (2010) / за ред. В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко. Київ: Вид-во “Ніка-Центр”.
- Дем’янюк О.С., Шерстобоева О.В., Клименко А.М., Чабанюк Я.В. (2016) Вплив гідротермічного режиму вегетації на екологічний стан ґрунту та врожайність кукурудзи. *Агроекологічний журнал*, 3, 45–50.
- Дослідження регіональних особливостей зміни клімату в Україні у ХХІ ст. на основі чисельного моделювання: звіт про НДР (заключний). (2013) Шифр роботи 1/11. К.: УГМІ. 173 с. № ДР 0111U001571.
- Заболоцька Т.М., Скриник О.А. (2009) Прогнозування дат стійкого переходу середньої добової температури повітря через зазначені межі. *Наук праці УкрНДГМІ*, 25, 84–105.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.8>
- Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: колективна монографія (2018) / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеський державний екологічний університет. Одеса: Вид-во “ТЕС”.
- Клімат України: колективна монографія (2003) / за редакцією В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського.
- КМУ. (2019) Про затвердження Правил надання послуги з постачання теплової енергії і типових договорів про надання послуги з постачання теплової енергії: постанова Кабінету Міністрів України від 21 серпня 2019 р. № 830. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/830-2019-%D0%BF#Text>
- КМУ. (2022) Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової програми використання та охорони земель: розпорядження Кабінету Міністрів України від 19 січня 2022 р. № 70-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/70-2022-%D1%80#Text>
- Краковська С.В., Гнатюк Н.В., Шпиталь Т.М., Паламарчук Л.В. (2016а). Проєкції змін приземної температури повітря за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей у регіонах України в ХХІ столітті. *Наук. праці УкрГМІ*, 268, 33–44.
- 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 XXI ст. Частина I: теплий період. *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*, 2 (4), 35–50. DOI <http://doi.org/10.15407/Meteorology2023.04.035>
- Лозовіцький П.С. (2010) Основи землеробства та рослинництва. Книга 2. Рослинництво: посібник для вищих учбових закладів / за ред. П.С. Лозовіцький. К.
- Мартазінова В., Ставнічук В., Корнієнко Є. (2023) Сучасний клімат на заході України від початку 21 століття: монографія. Одеса: Видавничий дім "Гельветика".
- 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.
- Польовий А.М., Божко Л.Ю. (2015) Теплові ресурси України в умовах зміни клімату. *Український гідрометеорологічний журнал*, 16, 99–106. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.13>
- Польовий А.М., Божко Л.Ю., Барсукова О.А. (2017) Вплив змін клімату на агрокліматичні умови вегетаційного періоду основних сільськогосподарських культур. *Український гідрометеорологічний журнал*, 20, 61–70. <https://doi.org/10.31481/uhmj.20.2017.07>
- Польовий А.М., Божко Л.Ю., Вольвач О.В. (2004) Основи агрометеорології: конспект лекцій. Одеса: Вид-во "ТЕС".
- Розроблення оновлених сценаріїв зміни кліматичних характеристик термічних періодів в Україні до кінця XXI 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 XXI ст.: звіт про НДР (остаточний). (2021) К.: УкрГМІ. 231 с. № ДР 0119U001123.
- 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>
- Садовська, Н.П., Попович, Г.Б., Гамор А.Ф. (2023) Еколого-біологічні особливості овочевих культур: методичні розробки до вивчення курсу "Овочівництво" для студентів спеціальності 203 "Садівництво та виноградарство". Ужгород: Видавництво УжНУ "Говерла".
- Скриник, О.А., Скриник, О.Я. (2006) До проблеми визначення дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через фіксоване значення. *Наук. праці УкрНДГМІ*, 255, 42–56.
- Сніжко, С.І., Скриник, О.А., Щербань, І.М. (2007) Особливості тривалості вегетаційного періоду і періоду активної вегетації на території України (тенденції зміни внаслідок глобального потепління). *Український гідрометеорологічний журнал*, 2, 119–128
- Хохлов, В.М., Ермоленко Н.С. (2015) Майбутні зміни клімату та їх вплив на режим опадів та температури в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*, 16, 76–82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10>
- Швиденко, А.З., Букша, І.Ф., Краковська, С.В. (2018) Уразливість лісів України до зміни клімату: монографія. Київ: Вид-во "Ніка-Центр".
- Шевченко, О.Г., Сніжко С.І., Вітренко А.О. Економічна метеорологія: підручник (2019) К.: Майстер книг.
- 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.
- Яровий, Г.І., Романов, О.В. (2017) Овочівництво: навч. посіб. / за ред. Г.І. Яровицького, О.В. Романова. Харків: ХНАУ.
- 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>
- Evaluating Vegetation Cover Change Contribution into Greenhouse Effect by Remotely Sensed Data: Case Study for Ukraine. (2007) SpringerLink.
- 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>
- Lalic, B., Eitzinger, J., Dalla Marta, A., Orlandini, S., Firanj Sremac, A., Pacher, B. (2018) Agricultural Meteorology and Climatology. Firenze: Firenze University Press.
- Mean Projections for Ukraine in Climate Scenarios. (2021) World Bank Climate Change Knowledge Portal. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/ukraine/climate-data-historical>
- 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.
- WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals (2017). WMO-No. 1203. 574 p. <https://www.ecad.eu> <https://www.esgf-node.ipsl.upmc.fr/search/cordex-ipsl> <https://www.euro-cordex.net> <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>

REFERENCES

- Atlas "Agroclimatic resources of Ukraine" (2016) / edited by T.I. Adamenko, M.I. Kulbida, A.L. Prokopenko. Kyiv: LLC "Ukrainian cartographic group" [in Ukrainian].
- Balabukh, V.O. (2017) Climate change in Ukraine and its impact on agricultural production. All-Ukrainian agrarian journal "AgroE-lita". URL: <https://agroelita.info/zmina-klimatychnyh-umov-v-ukrajini-ta-jiji-vplyv-na-silskohospodarske-vyrobnytstvo/> [in Ukrainian]
- Botanical-pharmacognostic dictionary: cases. manual (1990) / editor. K.F. Blynovai, G.P. Yakovleva. M.: Higher School. [in Russian]
- Dates of air temperature transition in Ukraine under modern climate conditions (2010) / edited by V.I. Osadchyo, V.M. Babichenko. Kyiv: Nika-Center Publishing House. [in Ukrainian].
- Demyaniuk, O.S., Sherstoboyeva, O.V., Klymenko, A.M., Chabanyuk Y.V. (2016) The influence of the hydrothermal regime of vegetation on the ecological state of the soil and the yield of corn. *Agroecological Journal*, 3, 45–50. [in Ukrainian]
- Study of regional features of climate change in Ukraine in the 21st century. based on numerical simulation: Report on Scientific Research Work (final). (2013) Work cipher 1/11. K.: UGMI. 173 p. State Registration № 0111U001571. [in Ukrainian]
- Zabolotska, T.M., Skrynyk, O.A. (2009) Forecast of data to the stable change of earth mean daily temperature through appointed limits. *Science Proceedings of UHMI*, 25, 84–105 [in Ukrainian]
- Zabolotska, T.M., Shpyg, V.M., Tsila, A.Yu. (2021). Circulation processes and cloud cover during the period of global warming. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 1 (59), 76–91. <https://doi.org/10.17721/2306–5680.2021.1.8> [in Ukrainian].
- Climatic risks of the functioning of branches of the economy of Ukraine in the conditions of climate change: a collective monograph (2018). / edited by S.M. Stepanenko, A.M. Polovoy. Odesa State Environmental University. Odesa: "TES" publishing house. [in Ukrainian]
- Climate of Ukraine: collective monograph (2003) / edited by V.M. Lipinsky, V.A. Dyachuka, V.M. Babichenko. Kyiv: Raevsky Publishing House [in Ukrainian]
- Cabinet of Ministers of Ukraine. (2019) On the approval of the Rules for the provision of heat energy supply services and standard contracts for the provision of heat energy supply services: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 21, 2019. № 830. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/830–2019-%D0%BF#Text> [in Ukrainian]
- Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022) On the approval of the Concept of the State-wide target program for land use and protection: order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 19, 2022, № 70-p. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/70–2022-%D1%80#Text> [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. DOI: <http://doi.org/10.15407/Meteorology2023.04.035> [in Ukrainian]
- Lozovitskyi P.S. (2010) Basics of agriculture and crop production. Book 2. Crop production: a manual for higher educational institutions / edited by P.S. Lozovitskyi. K. [in Ukrainian]
- Martazinova V., Stavnichuk V., Kornienko E. (2023) The modern climate in the west of Ukraine since the beginning of the 21st century: a monograph. Odesa: "Helvetika" Publishing House. [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]
- Pol'ovyi, A.M., & Bozhko, L.Yu. (2015) Thermal resources of Ukraine in the conditions of climate change. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 16, 99–106. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.13> [in Ukrainian]
- Polevoy, A.N., Bozhko, L.E., & Barsukova, E.A. (2017). Impact of climat changes on agro-climatic indices of the vegetative period of main agricultural crops. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 20, 61–70. <https://doi.org/10.31481/uhmj.20.2017.07> [in Ukrainian]
- Pol'ovyi, A.M., Bozhko, L.Yu., Volvach, O.V. (2004) Basics of agrometeorology: lecture notes. Odesa: "TES" publishing house. [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]
- 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]
- Sadovska, N.P., Popovych, G.B., Gamor, A.F. (2023) Ecological and biological features of vegetable crops: methodological developments for the study of the course "Vegetables" for students of the specialty 203 "Horticulture and viticulture". Uzhgorod: Publishing House of UzhNU "Hoverla" [in Ukrainian].
- Skrynyk, O.A., Skrynyk, O.Ya. (2006) To the problem of determining the date of stable transition of the average daily air temperature through a fixed value. *Science Proceedings of UHMI*, 255, 42–56. [in Ukrainian]
- Snizhko, S.I., Skrynyk, O.A., Shcherban I.M. (2007) Peculiarities of the duration of the vegetation period and the period of active vegetation on the territory of Ukraine (trends of change due to global warming). *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 2, 119–128. [in Ukrainian]
- Khokhlov, V., & Yermolenko, N. (2015). Future climate change and it's impact on precipitation and temperature in Ukraine.

- Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 16, 76–82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10> [in Ukrainian]
- Shvydenko, A., Buksha, I., Krakovska, S. (2018). Vulnerability of Ukraine's forests to climate change: monograph. Kyiv: Nika-Center Publishing House. [in Ukrainian]
- Shevchenko, O.H., Snizhko, S.I., Vitrenko, A.O. (2019) Economic meteorology: a textbook: Master books [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]
- Yarovy, G.I., Romanov, O.V. (2017) Vegetable growing: a study guide / edited by G.I. Yarovytskyi, O.V. Romanov. Kharkiv: KHNAU. [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>
- Evaluating Vegetation Cover Change Contribution into Greenhouse Effect by Remotely Sensed Data: Case Study for Ukraine. (2007) SpringerLink.
- 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>
- Lalic, B., Eitzinger, J., Dalla Marta, A., Orlandini, S., Firanj Sremac, A., Pacher, B. (2018) Agricultural Meteorology and Climatology. Firenze: Firenze University Press.
- Mean Projections for Ukraine in Climate Scenarios. (2021) World Bank Climate Change Knowledge Portal.
- 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.
- WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals (2017). WMO-No. 1203. 574 p. <https://www.ecad.eu>
- <https://www.esgf-node.ipsl.upmc.fr/search/cordex-ipsl>
- <https://www.euro-cordex.net>
- <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>

Svitlana KRAKOVSKA^{1*}

ORCID: 0000-0001-9972-0937

krasvit@ua.fm,

Tetiana SHPYTAL¹

ORCID: 0009-0001-7731-4521

tetianashpytal@gmail.com,

Anastasia CHYHAREVA^{1,2}

ORCID: 0000-0003-0195-751X

achyhareva@gmail.com,

Svitlana SAVCHUK¹

ORCID: 0009-0007-7861-9419

svetlanasvs120676@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

CLIMATE CHARACTERISTICS OF THERMAL PERIODS IN UKRAINE UNTIL THE END OF THE 21ST CENTURY. Part II: GROWING SEASON

The article presents the results of the study of thermal periods in Ukraine, namely its second part, which considers the duration and dates of the beginning and end of the growing season, which is determined by the persistent transition of the average daily air temperature through the value of 5°C. Climatic characteristics of the growing season determine the beginning and end of agricultural work, as well as a number of other activities that are carried out, for example, in forestry and other farms. The methods for determining climatic characteristics in this study were similar to those used in the first part, where changes in the warm period were analyzed (Krakovska et al., 2023, <http://doi.org/10.15407/Meteorology2023.04.035>). The values of the climatic characteristics of the growing season for the climatological norm 1961–1990 and the base period 1991–2010 were calculated using data from the European E-OBS database, and projections of changes relative to the base and values in the future three periods (2021–2040, 2041–2060 and 2081–2100) were calculated using daily data from 34 regional climate models (RCMs) of the international initiative for Europe Euro CORDEX under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios. The calculations used the `eca_gsl` function of the CDO (Climate Data Ope-

rator) software package to determine the dates of the steady temperature transition through 5°C. To correct the differences in the masks in E-OBS and the RCM ensemble due to the difference in the number of grid points mainly on the coastal line, the geographic information system QGIS 3.28 were used, with the help of which mapping was also carried out for visualization and analysis of the results with subsequent presentation in the form of maps in an electronic atlas using JavaScript-Leaflet library. The growing season length will increase throughout the country until the end of the century. These changes are expected to be more uniform than changes in the duration of the warm period. The duration of the growing season, which at the beginning of the 21st century was characteristic only for the

southern coast of the Black Sea and the Crimean Peninsula, at the end of the century, under the implementation of the high-concentration scenario RCP 8.5, may also be characteristic of the far northeast of the country and the Ukrainian Carpathians. It is obvious that this will significantly change and will require rapid adaptation of ecosystems and changes in forestry and agro-industrial practices. The presented results can be used in the development of sectoral, national, regional and municipal strategies for adaptation to climate change.

Keywords: thermal regime, climate change, representative concentration pathways, climate characteristic projections, date of persistent air temperature transition.

