

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА СУМУ АКТИВНИХ ТЕМПЕРАТУР ДО ДАТИ ОСТАННЬОГО ВЕСНЯНОГО ЗАМОРОЗКУ В МІСТАХ УКРАЇНИ

Коваленко Ю.Л., Дмитренко Т.В.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Чорноглазівська, 17, 61002, м. Харків
yurii.kovalenko@kname.edu.ua, tetyana.dmytrenko@kname.edu.ua

Статтю присвячено аналізу трансформацій термічного режиму атмосфери України в умовах глобального енергетичного дисбалансу Землі, який за останні два десятиліття більш ніж подвоївся і досяг рекордного рівня у 2023 році. Обґрунтовано доцільність застосування кліматичного індикатора – суми активних температур (понад 10 °C), накопиченої від початку року до дати останнього весняного заморозку. Показник дає змогу оцінити ризики «фальшивої весни» (false spring) – передчасної фізіологічної вегетації рослин та їхньої деструкції хвилями похолодань. На основі аналізу метеоспостережень (1950–2025 рр.) виявлено регіональну диференціацію кліматичних трендів для міст, що репрезентують різні фізико-географічні зони України (Київ, Харків, Одеса). Встановлено, що в Києві та Одесі процеси розвиваються за класичним сценарієм потепління: безморозний період подовжився на 9–12 та 7–9 днів відповідно, а весняні заморозки відступають на раніші терміни. Натомість для Харкова верифіковано небезпечну аномалію: дата припинення весняних заморозків змістилася на 2–3 доби пізніше, що скоротило безморозний період на 6–7 днів. Водночас у всіх регіонах зафіксовано стрімке зростання акумуляції тепла до моменту останнього прояву холоду (найбільш критично у Харкові – з 0 до 75 градусо-днів), що доводить підвищення вразливості агроєкосистем та фітоценозів до криогенного стресу. Охарактеризовано деструктивний вплив гідротермічних зсувів на екосистеми та економіку. Визначено, що передчасна транспірація через механізм «пам'яті» ґрунтової вологи провокує весняне висихання ґрунту й загострення літніх посух у степовій зоні. У лісовому господарстві це зумовлює криогенну дефоліацію, а у фітосанітарному секторі – експансію інвазійних видів на північ. Доведено, що збитки від «фальшивої весни» у плодівництві перевищують втрати від літніх посух. Це актуалізує потребу реформи аграрного страхування (покриття в Україні становить 3–5 % проти 20–30 % у середньому в країнах ЄС) та впровадження систем раннього попередження (Early Warning Systems) в межах Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату України до 2030 року. *Ключові слова:* енергетичний дисбаланс, «фальшива весна», сума активних температур, весняні заморозки, безморозний період, агрокліматичні ризики, адаптація до зміни клімату.

Assessing the impact of climate change on the sum of active temperatures before the date of the last spring frost in Ukrainian cities. Kovalenko Yu., Dmytrenko T.

This article analyses changes in the thermal regime of Ukraine's atmosphere in the context of the Earth's global energy imbalance, which has more than doubled over the past two decades and reached a record high in 2023. It also substantiates the feasibility of using a climate indicator, the sum of active temperatures (above 10 °C) accumulated from the beginning of the year to the date of the last spring frost. This indicator allows one to assess the risk of a false spring (or fake spring) – the premature physiological growth of plants and their subsequent destruction by cold waves. Based on an analysis of meteorological observations (1950–2025), regional differences in climate trends were identified for cities across different physiographic zones of Ukraine (Kyiv, Kharkiv, and Odesa). It has been established that in Kyiv and Odesa, processes are developing according to the classic warming scenario: the frost-free period has extended by 9–12 and 7–9 days, respectively, and spring frosts are retreating to an earlier date. A dangerous anomaly has been verified for Kharkiv: the date of the end of spring frosts has shifted by 2–3 days later, shortening the frost-free period by 6–7 days. At the same time, a rapid increase in heat accumulation by the time of the last cold spell has been recorded in all regions, most critically in Kharkiv – from 0 to 75 degree-days – demonstrating the increased vulnerability of agroecosystems and phytocoenoses to cryogenic stress. The destructive impact of hydrothermal shifts on ecosystems and the economy is characterised. It has been determined that premature transpiration, through the “memory” mechanism of soil moisture, triggers spring soil drying and exacerbates summer droughts in the steppe zone. In forestry, this leads to cryogenic defoliation, and in the phytosanitary sector, to the northward expansion of invasive species. It has been proven that the damage from false spring in fruit growing industry exceeds the losses from summer droughts. This highlights the need for agricultural insurance reform (in Ukraine, coverage is 3–5% versus an average 20–30 % in the EU countries) and the implementation of early warning systems (EWSs) within the framework of Ukraine's Strategy for Environmental Security and Adaptation to Climate Change by 2030. *Key words:* energy imbalance, false spring, sum of active temperatures, spring frosts, frost-free period, agroclimatic risks, adaptation to climate change.

Постановка проблеми. Енергетичний дисбаланс Землі за останні два десятиліття більш ніж подвоївся, досягнувши рекордного рівня близько 1,8 Вт/м² у 2023 році (за супутниковими спостереженнями

CERES) [1], що свідчить про накопичення значної кількості надлишкової енергії в океанах та атмосфері. Цей процес безпосередньо впливає на стійкість агроєкосистем, змушуючи наукову спільноту



переглядати традиційні індикатори теплозабезпеченості та вегетаційного потенціалу.

Особливе місце в ієрархії агрокліматичних показників посідає сума активних температур, яка традиційно використовувалася для визначення меж вирощування сільськогосподарських культур. Проте в умовах нестабільного клімату виникає потреба в більш нюансованих критеріях, зокрема в розрахунку цього показника, накопиченого з початку року до дати останнього весняного заморозку [2]. Цей індикатор дозволяє кількісно оцінити ризик так званої «фальшивої весни» – явища, коли раннє накопичення тепла стимулює передчасний фізіологічний розвиток рослин, роблячи їх критично вразливими до наступних хвиль похолодання [3].

Актуальність дослідження. Україна демонструє темпи потепління, що суттєво випереджають середньосвітові показники, а швидкість підвищення середньорічної температури в країні нині є однією з найвищих у Європі [4]. За період з 1991 по 2023 рр. кожне наступне десятиліття перевищувало за температурним режимом попереднє. Так, у 2011–2019 рр. позитивне відхилення середньої температури повітря становило 1,7 °C щодо базової кліматичної норми 1961–1990 рр. [5].

Індикатор «сума активних температур з початку року до дати останніх заморозків» слугує мірою вразливості рослин до весняних термічних шоків. У науковій літературі цей показник часто асоціюється з оцінкою ризику пошкодження плодів бруків та молодих пагонів [2]. Термін «фальшива весна» описує ситуацію, коли аномально теплий початок року стимулює ранній вихід рослин зі стану глибокого спокою та початок накопичення теплових одиниць. Якщо до моменту останнього заморозку рослина встигає накопичити значну суму активних температур, вона переходить у фази високої метаболічної активності (набрякання брунок, цвітіння), за яких критична температура пошкодження тканин істотно підвищується, наближаючись до 0 °C або навіть вище.

Аналіз довгострокових даних (1952–2021 рр.) у континентальній частині США показав, що, попри загальне потепління та раннє настання безморозного періоду, ризик «фальшивої весни» не демонструє однозначного спаду: на низці станцій зафіксовано статистично значуще зростання суми градусо-днів (GDD) до дати останнього заморозку, що вказує на посилення вразливості рослинності у північно-східних регіонах [2].

В Україні ситуація 2024 року стала хрестоматійним прикладом спрацювання цього індикатора. За даними Українського гідрометеорологічного центру, у першій декаді квітня суми ефективних температур вище +5 °C значно перевищували багаторічні норми, досягаючи 125–160 °C·днів у Степу проти норми 35–80 °C·днів. Таке інтенсивне накопичення тепла спровокувало бурхливий розвиток озимих та

плодових культур, після чого майже на всій території країни спостерігалися заморозки інтенсивністю до –4...–8 °C. Саме поєднання дуже раннього накопичення активних температур та «унікально пізніх» заморозків стало причиною катастрофічних втрат урожаю 2024 року [6].

Використання сценаріїв RCP 4.5 та RCP 8.5 дозволяє прогнозувати подальше зростання теплових ресурсів. Очікується, що до середини сторіччя суми активних температур до дати останніх заморозків у південних областях України зростуть ще на 130–180 °C·днів. Це призведе до інтенсифікації фенологічного розвитку рослин, що зробить індикатор суми температур до останнього заморозку ще більш актуальним для оперативного управління агрокліматичними ризиками [7].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження безпосередньо відповідає положенням Паризької кліматичної угоди (зокрема ст. 7 щодо посилення адаптаційної спроможності та зниження вразливості екосистем) [8] та Стратегії ЄС «Від лану до столу» (Farm to Fork Strategy) в межах Європейського зеленого курсу. Оцінка ризиків «фальшивої весни» робить внесок у розвиток систем раннього попередження (Early Warning Systems) для забезпечення продовольчої стабільності, що є однією з ключових Цілей сталого розвитку ООН до 2030 року (Ціль 2 «Подолання голоду» та Ціль 13 «Пом'якшення наслідків зміни клімату»).

Робота слугує прямим виконанням завдань Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату України на період до 2030 року, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р [9]. Дослідження спрямоване на реалізацію таких стратегічних пунктів, як «проведення оцінки вразливості агроєкосистем до зміни клімату» та «моделювання майбутніх змін кліматичних умов для галузей економіки».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час науковцями успішно реалізовано моделювання динаміки температурних показників та оцінено загальну зміну термічного режиму для різних географічних зон України. Проте, попри значний доробок із питань агрокліматичного районування та теплозабезпеченості, поза увагою досліджень залишається індикатор суми активних температур, накопиченої саме до дати останнього весняного заморозку, як інтегральна міра ризику «фальшивої весни» в умовах України. Бракує зіставного аналізу динаміки цього показника для міст різних фізико-географічних зон за єдиний тривалий період спостережень (1950–2025 рр.), а також системної оцінки його впливу не лише на рослинництво, а й на суміжні галузі природокористування та компоненти довкілля. Не висвітлено залишається регіональна аномалія, за якої на тлі загального потепління дата останнього заморозку зміщується на пізніші строки

(випадок Харкова). Саме цим невирішеним питанням присвячено запропоновану статтю.

Мета дослідження – аналіз динаміки індикатора «Сума активних температур ($>10^{\circ}\text{C}$) від початку року до дати останнього весняного заморозку» в містах України для подальшого застосування під час розробки заходів з адаптації секторів економіки та компонентів довкілля до глобальних змін клімату.

Новизна. Уперше для трьох опорних міст України (Київ, Харків, Одеса) за уніфікований період 1950–2025 рр. виконано спільний аналіз динаміки трьох пов'язаних характеристик – дати останнього весняного заморозку, тривалості безморозного періоду та суми активних температур ($>10^{\circ}\text{C}$) до дати останнього заморозку. Виявлено та верифіковано регіонально-диференційований характер змін, зокрема небезпечну харківську аномалію (зміщення дати останнього заморозку на пізніші строки за одночасного стрімкого накопичення тепла). Запропоновано розглядати ΣT_a до дати останнього заморозку як операційний індикатор ризику «фальшивої весни» для систем раннього попередження.

Методологічне та загальнонаукове значення. Методологічне значення роботи полягає в обґрунтуванні та апробації інтегрального агрокліматичного індикатора, що поєднує терморесурсну (ΣT_a) і фенологічно-ризикову (дата останнього заморозку) складові. Такий підхід дає змогу переходити від статичного районування за сумами температур до динамічної оцінки вразливості агроєкосистем і суміжних секторів. Загальнонаукове значення визначається можливістю інтеграції індикатора в системи раннього попередження, у моделі прогнозування валових зборів та в індексні продукти аграрного страхування.

Викладення основного матеріалу. За результатами узагальнення довгострокових метеорологічних спостережень [10–12] встановлено середні багаторічні характеристики термічного режиму для ключових міст України, що репрезентують різні фізико-географічні зони. Для збирання, накопичення та узагальнення інформації застосовано інструмент Claude Opus 4.8.

1) *м. Київ (лісостепова зона).* Стійкий перехід середньодобової температури повітря через $+10^{\circ}\text{C}$ навесні фіксується в середньому 25–28 квітня. При цьому середня багаторічна дата останнього весняного заморозку в повітрі спостерігається 10–15 квітня, тоді як на поверхні ґрунту небезпечні зниження температури тривають до 5–10 травня. За історичними даними, найпізніший заморозок у повітрі (рис. 1) був зареєстрований 11 травня 2017 р. (інтенсивністю $-1,7^{\circ}\text{C}$). Таким чином, середнє значення ΣT_a до дати останнього заморозку становить $\approx 25\text{--}40^{\circ}\text{C}\cdot\text{дб}$ (рис. 2), що зазвичай відповідає 1–3 добам із середньодобовою температурою понад $+10^{\circ}\text{C}$.

Загальна тривалість безморозного періоду в Києві варіює в межах 180–190 днів (рис. 3).

2) *м. Харків (північно-східний Лісостеп).* У північно-східному Лісостепу стійкий перехід через поріг $+10^{\circ}\text{C}$ відбувається в середньому 10–15 квітня. Останній весняний заморозок у повітрі відзначається 10 травня (рис. 4).

Через більш континентальний клімат та пізніші хвилі похолодань показник ΣT_a до дати останнього заморозку є вищим, ніж у столиці, і в останні роки досяг $80^{\circ}\text{C}\cdot\text{дб}$ (рис. 5).

Загальна тривалість безморозного періоду у місті Харків варіює в межах 186–192 днів (рис. 6).

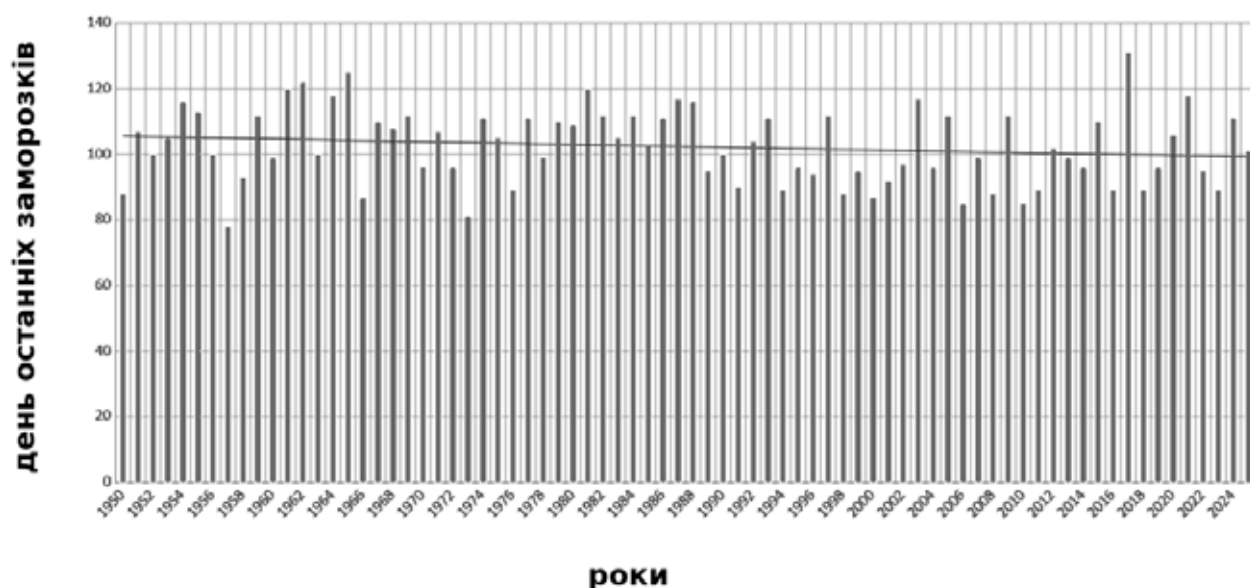


Рис. 1. м. Київ: останній весняний заморозок (день року, DOY), 1950–2025 рр.

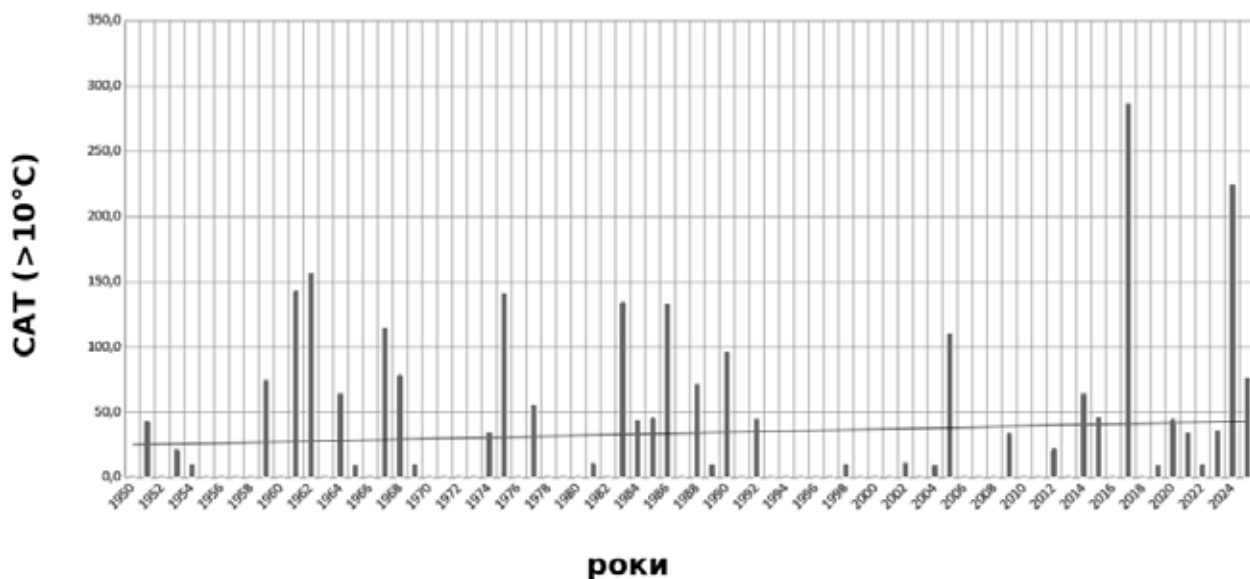


Рис. 2. м. Київ: сума активних температур (>10 °C) до дати останнього заморозку, 1950–2025 рр.

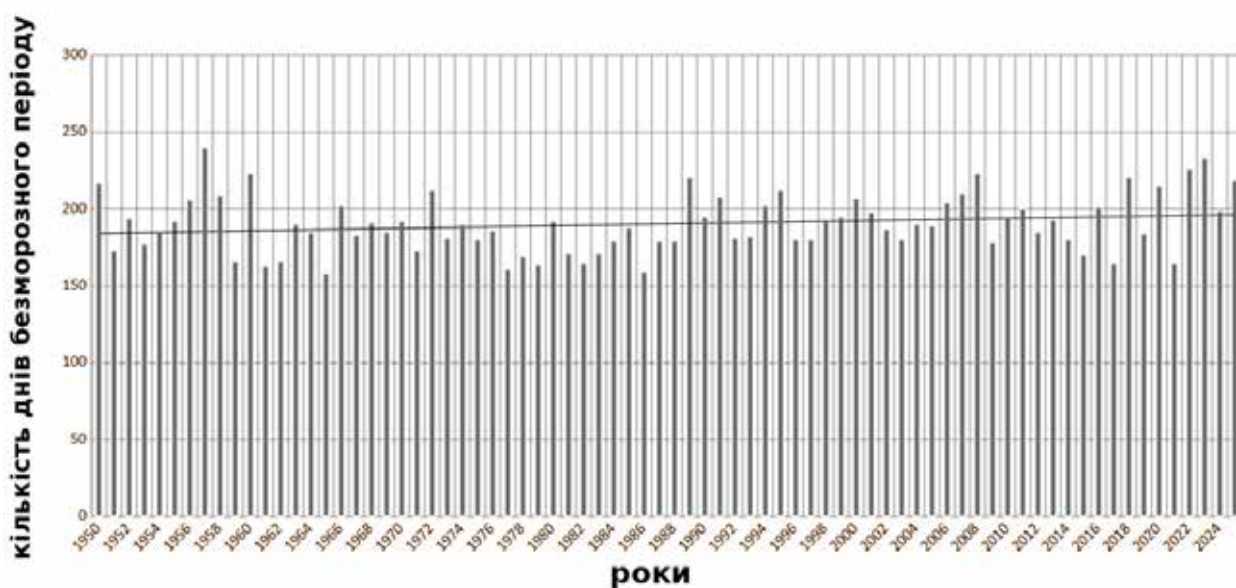


Рис. 3. м. Київ: тривалість безморозного періоду, 1950–2025 рр.

3) м. Одеса (південно-степова зона, причорноморська кліматична підобласть). У причорноморській кліматичній підобласті стійкий перехід через +10 °C настає значно раніше – орієнтовно 14–17 квітня. Середня дата останнього весняного заморозку припадає на 1–5 квітня (рис. 7). Внаслідок цього акумульована сума активних температур ΣT_a до дати останнього заморозку становить 35 °C·дів (рис. 8). В окремі роки цей індикатор набуває нульових значень, якщо заморозок фіксується задовго до стійкого весняного потепління. Безморозний період у регіоні є найтривалішим і становить 210–220 днів (рис. 9).

Проаналізуємо галузі національного господарства, операційна стійкість яких знижується на тлі збільшення показника ΣT_a до дати припинення весняних заморозків.

Рослинництво та зернове господарство. Передчасна акумуляція тепла стимулює занадто ранній старт вегетації озимих і ранніх ярих культур. У разі настання весняного заморозку після проходження рослинами критичних фенофаз (зокрема виходу в трубку, колосіння та цвітіння) спостерігається масове пошкодження або повна загибель генеративних пагонів [13, 14].

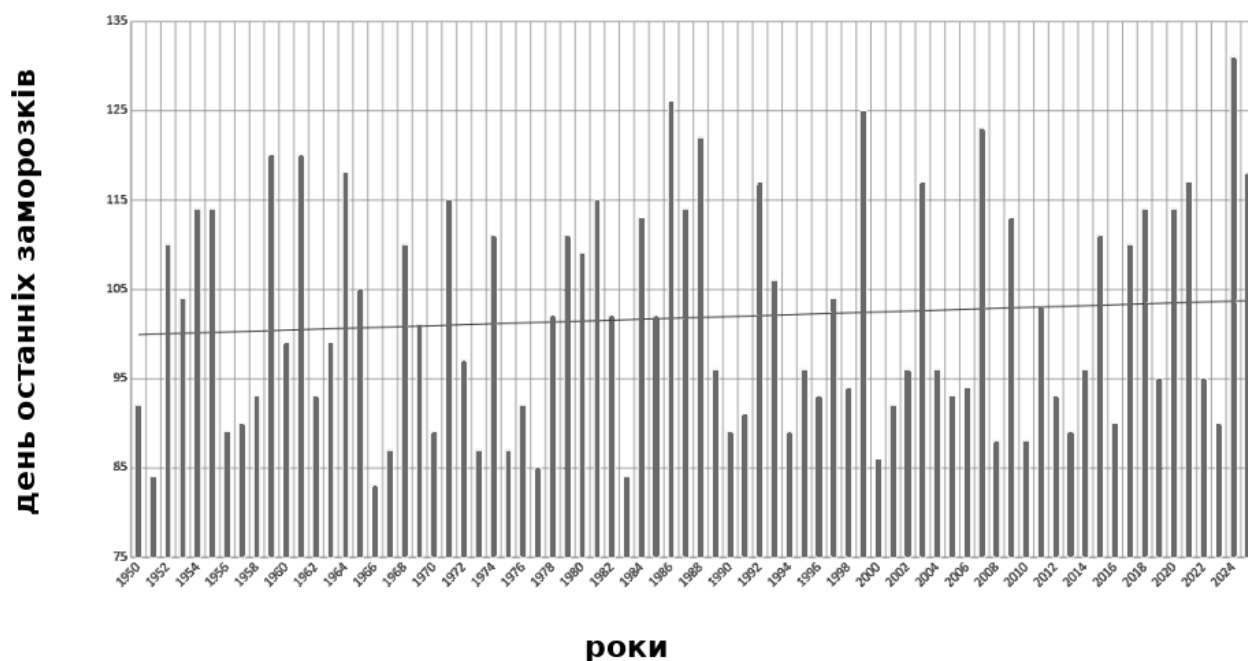


Рис. 4. м. Харків: дата останніх весняних заморозків, 1950–2025 рр.

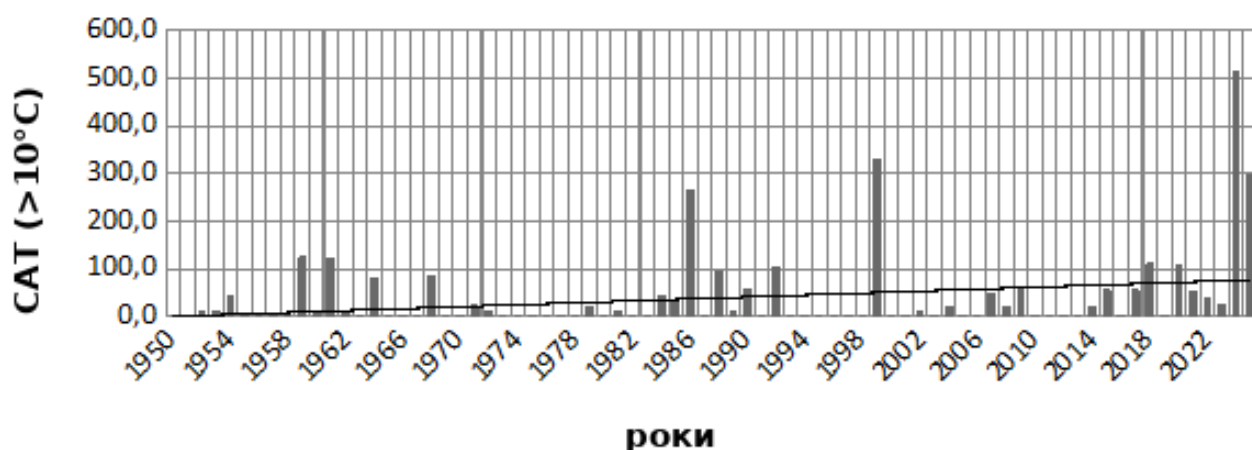


Рис. 5. м. Харків: сума активних температур (>10 °C) до дати останнього заморозку, 1950–2025 рр.

Плодівництво та виноградарство. Цей сектор зазнає найбільших прямих економічних втрат від проявів «фальшивої весни». Зокрема, пізні весняні заморозки у квітні-травні 2017 року в Європі завдали збитків на суму 3,3 млрд євро, при цьому страхове покриття становило лише 18 %. Аналогічні погодні аномалії 2021 та 2024 років в Італії, Франції, Молдові та Україні призвели до втрати від 30 до 80 % урожаю кісточкових культур, яблуні та винограду [15].

Овочівництво відкритого ґрунту. Раннє висаджування розсади теплолюбних культур (томатів, перцю, баклажанів) під дією високих значень ΣТа у квітні призводить до масової загибелі рослин у разі повернення весняних заморозків.

Страхова галузь та фінансовий сектор. Зростання показника ΣТа до дати останнього весняного похолодання перетворює заморозки з категорії рідкісних стихійних лих на категорію системного ризику. Дослідження, проведені в Штирії (Австрія), продемонстрували, що збитки від заморозків у виноградарстві та яблуневих садах формують основну частину аграрного страхового портфеля, а частота виплати страхових відшкодувань стрімко зростає [16]. У США сукупні фінансові втрати від зимових морозів, весняних заморозків та граду в секторі плодівництва сягають близько 400 млн доларів щорічно [17].

Збитки від «фальшивої весни» часто перевищують втрати від літніх посух. Це зумовлено тим, що

кількість днів безморозного періоду

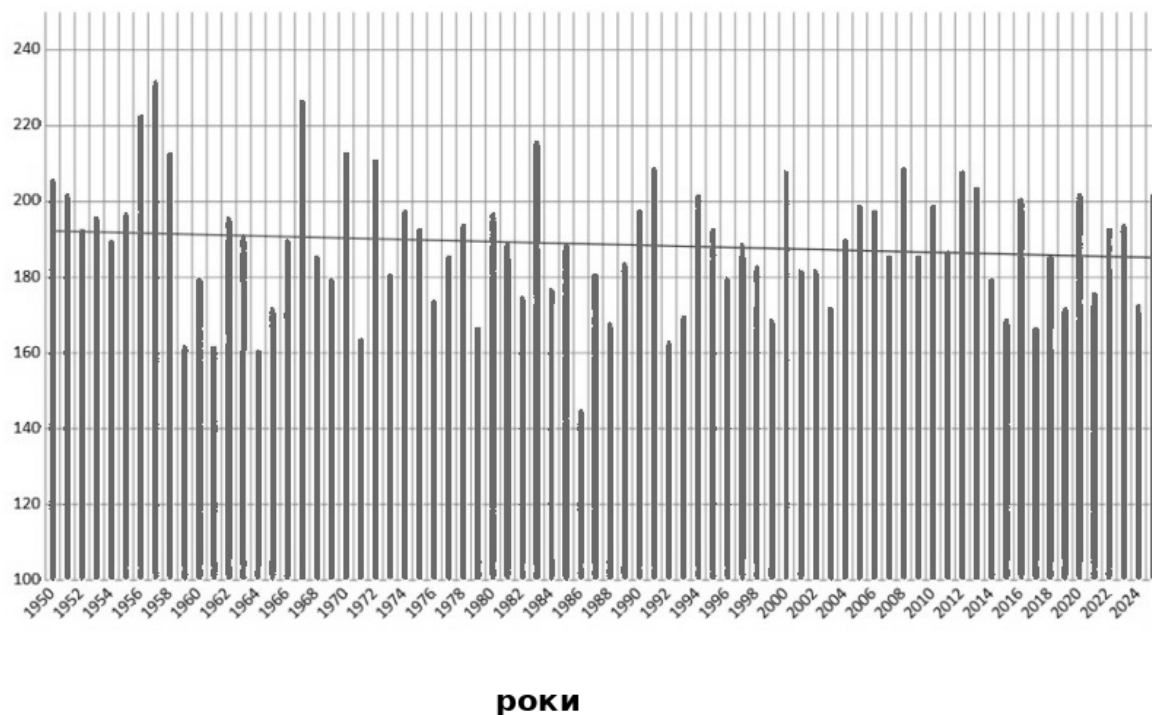


Рис. 6. м. Харків: тривалість безморозного періоду, 1950–2025 рр.

день останніх заморозків

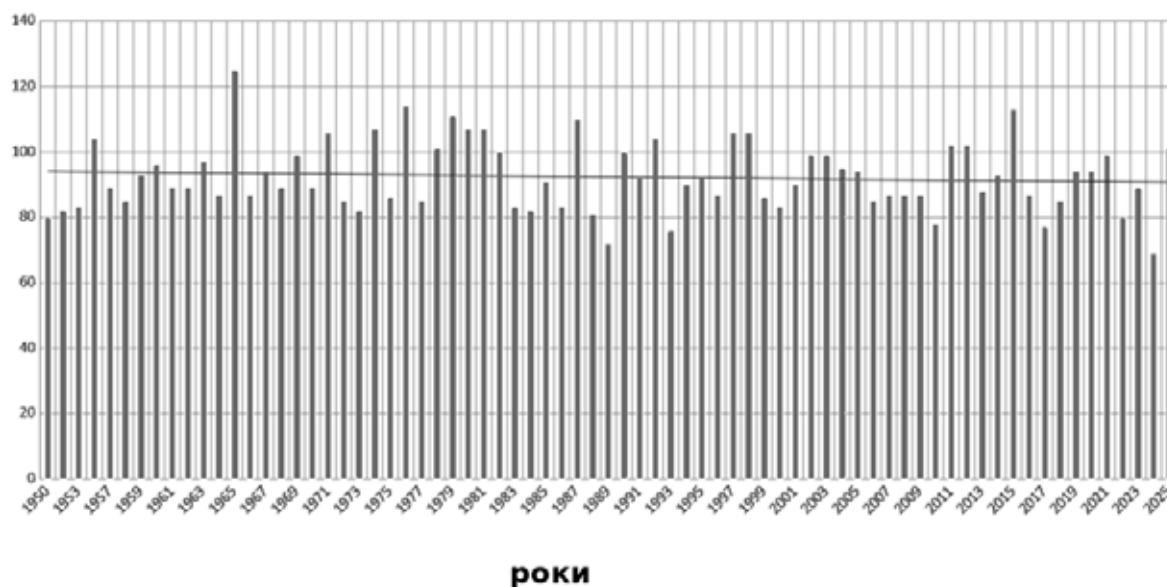


Рис. 7. м. Одеса: останній весняний заморозок (день року, DOY), 1950–2025 рр.

вони відбуваються на стадії, коли основні сезонні витрати на виробництво вже здійснені, а потенційний урожай знищується всього за одну-дві ночі екстремального зниження температури. В Європейському Союзі щорічні втрати сільськогосподарства від кліматичних ризиків оцінюють у 28,3 млрд євро, що становить близько 6 % вартості всієї аграрної продукції [18].

В Україні рівень фінансового захисту аграріїв є досить низьким: лише 3–5 % сільськогосподарських угідь у країні застраховані, тоді як у країнах ЄС частка застрахованих кліматичних втрат у середньому становить 20–30 %, а в окремих країнах із розвиненими субсидованими системами сягає 30–50 % [19].

Лісове господарство. Передчасне розпускання бруньок бука, дуба та ясеня у поєднанні з весня-

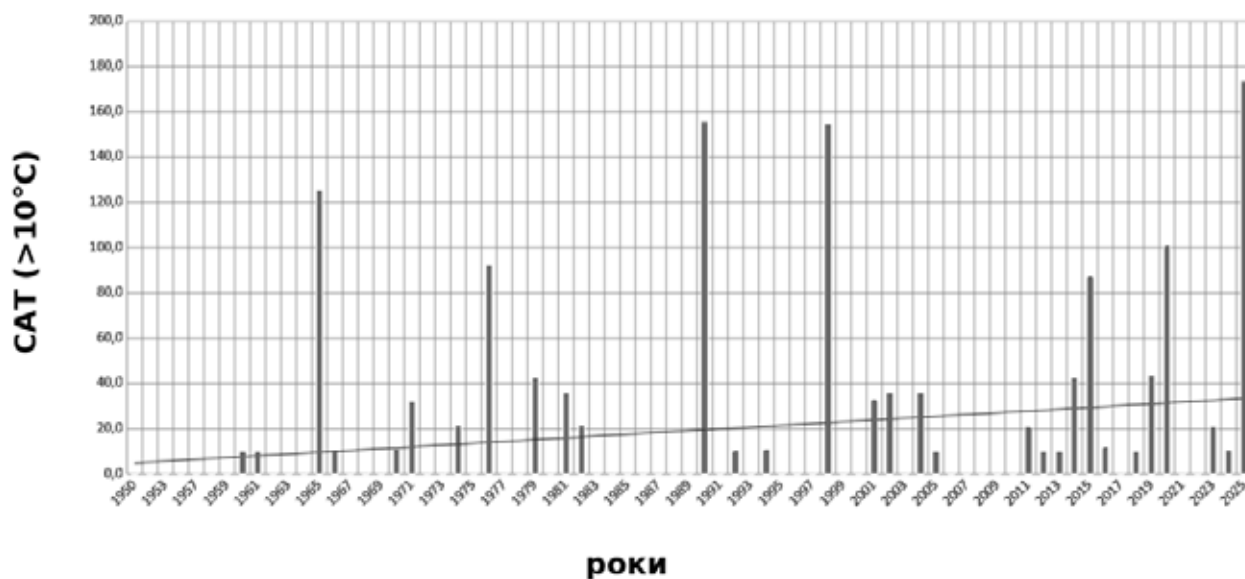


Рис. 8. м. Одеса: сума активних температур (>10 °C) до дати останнього заморозку, 1950–2025 рр.

ними заморозками спричиняє масову дефоліацію (скидання пошкодженого листа), сповільнення приросту деревини, а також суттєве зниження фотосинтетичної продуктивності лісових насаджень [20]. Пошкодження молодих листків весняними заморозками не лише знижує приріст біомаси на 7–14 %, а й суттєво зменшує здатність лісових екосистем до абсорбції вуглекислого газу, формуючи позитивний зворотний зв'язок у процесах глобального потепління [21].

Енергетика. Ранній теплий старт сезону та акумуляція тепла знижують попит на опалення у квітні, проте зумовлюють зростання піків електроспоживання для забезпечення роботи іригаційних систем, холодильного обладнання та промислових кліматичних систем. Одночасно суттєво зростає ймовірність аварійних ситуацій в енергомережі через раптове повернення заморозків, що призводить до замерзання елементів уже розконсервованої технологічної інфраструктури.

Туризм і рекреація. Ранній старт сезону загалом позитивно впливає на розвиток весняного туризму, проте заморозки після початку бутонізації паркових культур суттєво знижують естетичну цінність міських зелених зон та завдають шкоди декоративним насадженням.

Транспорт та інфраструктура. Внаслідок температурних коливань цикли замерзання-відтавання дорожнього полотна стають частішими. Це суттєво прискорює руйнування асфальтобетонного покриття та деструкцію мостових конструкцій [22].

Далі проаналізовано компоненти довкілля, вразливі до зростання ΣT_a до дати останнього заморозку.

Наземні екосистеми та біорізноманіття. Передчасний старт вегетації під дією теплових

аномалій призводить до фенологічних зсувів різної швидкості на різних трофічних рівнях (рослинність – безхребетні – птахи) [23]. Зокрема, дослідники зафіксували зростання асинхронії між термінами прильоту перелітних птахів і початком «зеленої хвилі» (розпускання листя) зі швидкістю понад 0,5 доби/рік. За реконструкцією за 124 роки спостережень виявлено зростання річної ймовірності пошкодження листя весняними заморозками з 0,03 (1889–1979 рр.) до 0,21 (1980–2012 рр.) [24].

Ґрунти та водний баланс. Рання активація транспірації призводить до випереджального та глибшого осушення ґрунтового профілю. Раннє весняне озеленення посилює літню посуху внаслідок міжсезонної «пам'яті» ґрунтової вологи. Для степової зони України це зумовлює суттєве загострення посушливості вже у червні-липні [25]. Збільшення суми активних температур у березні та квітні радикально змінює водний баланс територій, оскільки висока температура стимулює інтенсивне випаровування вологи з ґрунту. Ефект «весняного висихання» ґрунтів, навіть у регіонах, де річна кількість опадів зростає, є прямим наслідком вищого термічного накопичення в ранній період.

Фітосанітарний стан. Збільшення суми градусо-днів (GDD) суттєво прискорює розвиток шкідників. Зокрема, перший літ шкідливої черепашки відбувається на 2 тижні раніше за умови підвищення січнево-лютневої температури повітря всього на 1 °C. Загальне потепління збільшує кількість поколінь шкідників за сезон та сприяє розширенню їхнього ареалу у північному напрямку [26]. Рослини, ослаблені заморозками після періоду активного росту, стають більш сприйнятливими до вторинних інфекцій, а дерева, що втратили першу генерацію

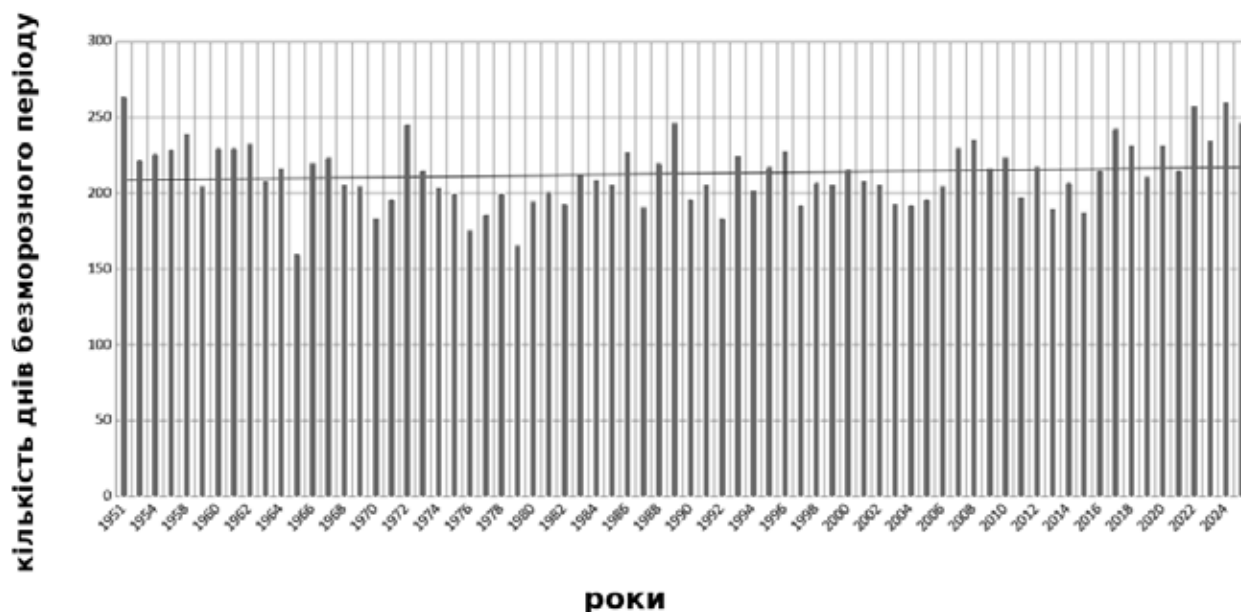


Рис. 9. м. Одеса: тривалість безморозного періоду (днів), 1950–2025 рр.

листя, змушені витратити резервні вуглеводи на вторинне відновлення крони, що знижує їхній імунітет та робить вразливими до заселення короїдами й іншими стовбуровими шкідниками.

Гідрологічний режим. Ранній старт вегетації супроводжується інтенсифікацією евапотранспірації, зниженням обсягів весняного стоку, падінням рівнів водойм та зростанням температури поверхневих вод. Це створює сприятливі умови для «цвітіння» води, прискорення процесів евтрофікації та погіршення якості питної води [27].

Лісові пожежі. Ранній дефіцит ґрунтової вологи у поєднанні з дефоліацією насаджень внаслідок весняних заморозків створює умови підвищеної пожежної небезпеки вже у травні-червні.

Інвазійні види. Сприятливі термічні умови ранньої весни полегшують експансію теплолюбних інвазійних видів рослин (зокрема амброзії полинолистій та борщівника Сосновського) і комах (таких як південноамериканська томатна міль та коричневий мармуровий клоп) у зони Лісостепу та Полісся. Зростання сум ефективних температур дозволяє теплолюбним інвазійним видам активно просуватися далі на північ.

Аналіз даних за останні чотири десятиліття вказує на те, що хоча загальна кількість хвиль холоду в Україні зменшується, частота короткочасних, але різких весняних похолодань у лісостеповій зоні має тенденцію до зростання. Це становить новий суттєвий виклик для ключових секторів економіки та вразливих компонентів довкілля [28]. Моніторинг накопичення градусо-днів у поєднанні з імовірнісним прогнозуванням пізніх весняних заморозків має стати основою для прийняття ефективних управлінських рішень у природоохоронній сфері.

Внаслідок глобальної зміни клімату тривалість безморозного періоду за останні 75 років у середньому збільшилася в Києві на 9–12 днів, в Одесі – на 7–9 днів, а у Харкові вона зменшилася на 6–7 днів. Водночас за цей же 75-річний період дати припинення останніх весняних заморозків у середньому змістилися на 5–6 днів раніше в Києві та на 3–4 доби раніше в Одесі, тоді як у Харкові вони, навпаки, змістилися на 2–3 доби пізніше. За період 1950–2025 рр. сума активних температур ($>10^{\circ}\text{C}$) від початку року до дати останнього весняного заморозку, у середньому збільшилася: у Києві – з 25 до 40 градусо-днів, в Одесі – з 5 до 35 градусо-днів, а в Харкові – з 0 до 75 градусо-днів.

Для Харкова спостерігається унікальна та небезпечна тенденція: попри загальне глобальне потепління, дата останнього весняного заморозку тут зміщується на пізніші терміни (на 2–3 доби). У поєднанні зі стрімким накопиченням тепла у квітні це створює умови для значних агрокліматичних втрат. Така аномалія призвела до скорочення загальної тривалості безморозного періоду в регіоні на 6–7 днів внаслідок затяжної весни. Водночас у Києві та Одесі ситуація розвивається за класичним сценарієм потепління: безморозний період суттєво подовжується (на 9–12 та 7–9 днів відповідно), а весняні заморозки припиняються раніше. Проте зростання суми активних температур до моменту останнього прояву холоду в усіх досліджуваних регіонах підтверджує загальне посилення ризику «фальшивої весни».

Головні висновки. Проведений аналіз динаміки ΣT_a до дати останнього весняного заморозку в містах України дозволяють зробити такі висновки:

1. Глобальний енергетичний дисбаланс, що досяг рекордного рівня у 2023 році, є фундаментальним драйвером зростання частоти «фальшивих весен». Це проявляється через екстремально інтенсивне накопичення тепла у березні-квітні, яке провокує передчасну й деструктивну вегетацію рослин.

2. Найбільш загрозливі тенденції спостерігаються у Харкові, де тривалість весняних хвиль холодів зберігається на тлі загального потепління. У Києві та Одесі агрокліматичний ризик зростає через випереджальні темпи накопичення тепла порівняно зі швидкістю остаточного відступу заморозків.

3. Низький рівень страхового покриття в Україні (лише 3–5 %) робить аграрний сектор критично незахищеним перед кліматичними шоками. Прямі збитки від весняних термічних аномалій у плодівництві та рослинництві починають випереджати фінансові втрати від літніх посух.

4. Отримані результати підтверджують гостру потребу впровадження систем раннього попередження (Early Warning Systems) на основі індикатора

ΣТа до дати останнього заморозку, а також невідкладного переходу на кліматично оптимізовані технології господарювання.

Перспективи використання результатів дослідження. Практичний потенціал впровадження отриманих результатів охоплює кілька рівнів управління аграрним сектором: сформовані прогнозні моделі є ефективним інструментом для модернізації довгострокових стратегій районування сільськогосподарських культур та підвищення точності національних прогнозів валового збору врожаю; інтеграція розробленого індикатора дає змогу оптимізувати календарні строки сівби, обґрунтовано підбирати адаптивні сорти й гібриди, а також впроваджувати превентивні заходи захисту посівів і насаджень від екстремальних температурних коливань; кількісні параметри теплонакопичення та заморозків слугують базою для розробки об'єктивних індексних продуктів страхування, що мінімізує фінансові ризики виробників від весняних холодів стресів.

Література

1. Mauritsen T., Tsushima Y., Meyssignac B. et al. Earth's Energy Imbalance More Than Doubled in Recent Decades. *AGU Advances*. 2025. Vol. 6 (3). e2024AV001636. DOI: 10.1029/2024AV001636.
2. Davis B. A. S. et al. Growing Degree-Day Trends Associated With 'False Springs' in the Continental United States. *International Journal of Climatology*. 2025. DOI: 10.1002/joc.70355.
3. Sgubin G., Swingedouw D., Dayon G., García de Cortázar-Atauri I. et al. The risk of tardive frost damage in French vineyards in a changing climate. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018. Vol. 250–251. P. 226–242. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.12.253.
4. Prokopenko K. Agricultural development under a changing climate in Ukraine: trends and challenges. *INCE*. 2023. DOI: 10.36004/nier.cecg.II.2023.17.8.
5. Litvinov D., Litvinova O., Borys N., Butenko A., Masyk I., Onychko V., Khomenko L., Terokhina N., Kharchenko S. The Typicality of Hydrothermal Conditions of the Forest Steppe and Their Influence on the Productivity of Crops. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. 2020. Vol. 76, No. 3. P. 84–95. DOI: 10.5755/j01.erem.76.3.25365.
6. Український гідрометеорологічний центр. Агromетеорологічні умови першої декади квітня 2025 року: Офіційний бюлетень. URL: <https://www.apk-inform.com/uk/crop/1547535> (дата звернення: 22.05.2026).
7. Kouzmová K., Ilina A. A., Polevoy A. N. Features of the temperature regime effect on the duration of the crops vegetation period in Southern Ukraine. *Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 13, Issue 31. DOI: 10.22620/agrisci.2021.31.001.
8. Паризька угода від 12.12.2015 (ратифікована Законом України № 1469-VIII від 14.07.2016). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161 (дата звернення: 01.06.2026).
9. Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2021 р. № 1363-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-p> (дата звернення: 01.06.2026).
10. Адаменко Т. І., Кульбіда М. І., Прокопенко А. Л. Атлас «Агрокліматичні ресурси України». Київ: ТОВ «Українська картографічна група», 2016. 90 с.
11. Copernicus Climate Change Service (2025): ERA5 hourly time-series data on single levels from 1940 to present. *Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)*.
 1. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels-timeseries>
12. Menne, Matthew J., Imke Durre, Bryant Korzeniewski, Shelley McNeill, Kristy Thomas, Xungang Yin, Steven Anthony, Ron Ray, Russell S. Vose, Byron E. Gleason, and Tamara G. Houston. Global Historical Climatology Network – Daily (GHCN-Daily), Version 3. *NOAA National Climatic Data Center*. 2012.
 2. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/metadata/geoportal/rest/metadata/item/gov.noaa.ncdc:C00861/html#>
13. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату / Т. І. Адаменко; заг. ред. А. М. Цветкова. Київ: ТОВ «РІА» БЛПЦ, 2014. 16 с.
14. Прокопенко К. О., Удова Л. О. Сільське господарство України: виклики і шляхи розвитку в умовах зміни клімату. *Економіка і прогнозування*. 2017. № 1. С. 92–107. DOI: <https://doi.org/10.15407/eip2017.01.092>
15. Munich Re. Spring frost losses and climate change – Not a contradiction in terms. *Topics Geo Natural Disaster Report*. Munich, 2018. URL: <https://www.munichre.com/en/insights/natural-disaster-and-climate-change/spring-frost-losses-climate-change-2018.html>.
16. Prettenhaler F., Albrecher H., Asamer-Handler M. et al. Climate risk management with insurance or tax-exempted provisions? An empirical case study of hail and frost risk for wine and apple production in Styria. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2022. Vol. 80. 103223. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2022.103223.

17. Cao H., Grant J., Zhang K. Climatic Damage Cause Variations of Agricultural Insurance Loss for the Pacific Northwest Region of the United States. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No. 12. 2214. DOI: 10.3390/agriculture13122214.
18. European Investment Bank. European agriculture faces growing climate risks that EU can help counter: new study. 2025. URL: <https://www.eib.org/en/press/all/2025-214-european-agriculture-faces-growing-climate-risks-that-eu-can-help-counter-new-study-finds>.
19. Sirenko N., Melnyk O., Bilichenko O., Mikulyak K. Development of the agricultural business insurance system in Ukraine. *Ekonomika APK*. 2025. Vol. 32(4). P. 81–94. DOI: 10.32317/ekon.apk/4.2025.81.
20. Zohner C. M., Mo L., Renner S. S. et al. Late-spring frost risk between 1959 and 2017 decreased in North America but increased in Europe and Asia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2020. Vol. 117, No. 22. P. 12192–12200. DOI: 10.1073/pnas.1920816117.
21. Wang J., Hua H., Guo J. et al. Late spring frost delays tree spring phenology by reducing photosynthetic productivity. *Nature Climate Change*. 2025. Vol. 15. P. 201–209. DOI: 10.1038/s41558-024-02205-w.
22. Ukraine's Climate Change Adaptation Communication to UNFCCC. Kyiv, 2024. 35 p. URL: <https://unfccc.int/sites/default/files/2025-05/Ukraine%201st%20Adaptation%20Communication.pdf>.
23. Mayor S. J., Guralnick R. P., Tingley M. W. et al. Increasing phenological asynchrony between spring green-up and arrival of migratory birds. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. Art. 1902. DOI: 10.1038/s41598-017-02045-z.
24. Augspurger C. K. Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: Spring damage risk is increasing. *Ecology*. 2013. Vol. 94, No. 1. P. 41–50. DOI: 10.1890/12-0200.1.
25. Lian X., Piao S., Li L. Z. X. et al. Summer soil drying exacerbated by earlier spring greening of northern vegetation. *Science Advances*. 2020. Vol. 6, No. 1. eaax0255. DOI: 10.1126/sciadv.aax0255.
26. Skendžić S., Zovko M., Živković I. P., Lešić V., Lemić D. The Impact of Climate Change on Agricultural Insect Pests. *Insects*. 2021. Vol. 12, No. 5. Art. 440. DOI: 10.3390/insects12050440.
27. Coffey R., Paul M., Stamp J., Hamilton A., Johnson T. A Review of Water Quality Responses to Air Temperature and Precipitation Changes 2: Nutrients, Algal Blooms, Sediment, Pathogens. *Journal of the American Water Resources Association*. 2019. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8048137/>.
28. Balabukh V. O., Malyska L. V., Dovgal H. P., Yahodynets S. M., Lavrynenko O. M. Dynamics of frequency and intensity of cold waves in Ukraine under global warming. *Agricultural Science and Practice*. 2025. Vol. 12, No. 3. P. 3–14. DOI: 10.15407/agrisp12.03.003.

Дата першого надходження статті до видання: 13.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 28.07.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.08.2026