

ОЦІНЮВАННЯ СУЧАСНИХ ЗМІН ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ УКРАЇНИ

В.О. Балабух, Л.В. Малицька

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, просп. Науки, 37, м Київ, 03028, Україна, e-mail: balabukh@uhmi.org.ua, m_alitsk_a@i.ua

Досліджено характерні риси термічного режиму в Україні у сучасний кліматичний період (1981–2010) та його особливості відносно базового кліматичного періоду (1961–1990). Уточнено тенденції змін кліматичних середніх і показників екстремальності термічного режиму на межі ХХ та ХХІ ст. Для кожної адміністративної області та країни в цілому оцінено статистичну значущість, імовірність і частку невизначеності виявлених змін. Установлено суттєві зміни кліматичних показників термічного режиму, які привели до зміни їх середніх багаторічних значень у сучасний кліматичний період і, відповідно, до зміни кліматичної норми відносно базового кліматичного періоду. Виявлено залежність між величиною аномалії середньої за рік температури повітря і аномаліями показників термічного режиму.

Ключові слова: термічний режим, кліматична норма, регіональні зміни клімату, сучасний кліматичний період.

Вступ. Температура повітря є одним з найважливіших елементів погоди і клімату, оскільки теплова енергія лежить в основі всіх атмосферних процесів і в цілому зумовлює стан кліматичної системи (КС). Тепловий стан атмосфери, як складова КС, характеризується термічним режимом. Міжурядова група експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) у звіті Першої робочої групи П'ятого оцінювального звіту засвідчила, що потепління КС не викликає сумнівів [11, с. 4–7]. Прояв цього процесу – зміна середніх багаторічних значень метеорологічних показників, які є кліматичними нормами. Їх використовують для планування соціально-економічного розвитку регіонів, управління процесами в економіці та інших сферах людської діяльності, проектування будівель і споруд, конструювання приладів, їх експлуатації та ін. Порівняння різних фізико-географічних регіонів, ландшафтів, оцінювання зміни клімату та прогнозування погодних умов, які можна очікувати з найбільшою ймовірністю у певному регіоні на коротко- та довгострокову перспективу, також неможливі без їх використання. Тому, з огляду на зміни клімату, що спостерігаються як у цілому на нашій планеті, Північній півкулі, так і в Україні надзвичайно актуальним завданням для нашої країни стає визначення кліматичної норми метеорологічних показників термічного режиму в сучасний кліматичний період та оцінювання значущості їхньої зміни. Ця інформація є підставою для діалогу між науковцями та політиками, обґрунтування необхідності заходів щодо адаптації до змін клімату, зменшення можливих негативних наслідків та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні дослідження клімату, і зокрема термічного режиму, розпочали ще в ХІХ ст. відомі кліматологи О.І. Воєйков, П.І. Броунов, О.В. Кловський та ін. Значну увагу науковці приділяли опису клімату окремих міст, губерній, регіонів. З часом, у міру нагромадження кліматичної інформації, було

розроблено кліматичні довідники, що містили середні багаторічні значення метеопказників, які використовували для потреб економіки. Оскільки довідники висвітлювали клімат регіонів усього Радянського Союзу, інформацію про клімат України в них було надано лише за даними близько 25 % метеорологічних станцій країни. Зважаючи на складність фізико-географічних і погодних умов України, цієї інформації недостатньо, щоб виявити регіональні особливості клімату країни. Сучасні вимоги до кліматологічної інформації потребують залучення більшої кількості показників і більшої деталізації по території. У 2006 р. Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут і Центральна геофізична обсерваторія (м. Київ) розробили “Кліматичний кадастр України”, який став нормативним документом Державної гідрометеорологічної служби України, що містить кліматологічну інформацію, яку користувачі можуть застосовувати у виробничій діяльності [6, с. 5–205]. У Кадастрі подано розширену інформацію про клімат України у 1961–1990 рр. за даними спостережень усієї гідрометеорологічної мережі країни. Результати досліджень клімату України протягом останніх десятиріч узагальнено в монографії “Клімат України” [5, с. 41–244], яку підготовлено за результатами Кліматичної програми України (1997). У монографії розглянуто просторово-часові закономірності розподілу основних кліматичних показників в Україні у 1961–1990 рр., розкрито особливості кліматоутворювальних факторів та їх вплив на регіональний клімат. Для окремих пунктів спостережень наведено порівняння середніх за місяць багаторічних значень основних метеорологічних величин (температури і кількості опадів) за періоди 1961–1990 і 1981–1990 р. і деяких характеристик за окремі десятиріччя.

Значну увагу кліматологи України приділяють розв'язанню проблеми коливання і зміни клімату,

зокрема термічного режиму, та їхнього впливу на життєдіяльність людини і навколишнє середовище. У монографії “Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України” [7, с. 10–22] розглянуто особливості кліматичних умов України у 1891–1960 та 1961–1990 рр., сучасні сценарії змін клімату та вплив його очікуваних змін на ефективність галузей економіки країни. У публікації [4, с. 57–274] наведено просторово-часові особливості середньої, мінімальної та максимальної за рік і місяць температури повітря в Україні та їх зміни від десятиріччя до десятиріччя. Результати досліджень клімату України та його мінливості узагальнено у національних доповідях України з питань зміни клімату, підготовлених на виконання статей 4 і 12 Рамкової основи ООН про зміну клімату та статті 7 Кіотського протоколу [8, с. 33–41, 192–203; 10, с. 43–52, 182–234].

Проте протягом останніх десятиріч (1991–2016) спостерігаються суттєві зміни КС в Україні, які потребують оцінювання і, відповідно, уточнення сучасної кліматичної норми метеорологічних показників. Незважаючи на значну кількість публікацій, присвячених проблемі клімату та його зміни в Україні протягом останніх десятиріч, ці роботи стосуються переважно річних і середніх за місяць даних деяких параметрів КС для окремих регіонів і для України загалом [4, с. 57–274; 7, с. 10–22; 9, с. 110–11; 13, с. 1645–1649]. Зазначені дані важко узагальнити, оскільки у дослідженнях використано різні періоди та різні методології, доволі часто немає оцінки виявлених змін, а частку невизначеності цих змін взагалі не оцінено.

Формування мети статті. Мета дослідження – оцінювання стану та фактичних змін метеорологічних показників термічного режиму в Україні у сучасний кліматичний період (1981–2010).

Матеріали і методи. Для виявлення особливостей змінення та характеристики екстремальності термічного режиму України використовували щоденні дані спостережень за мінімальною, максимальною і середньою за добу температурою повітря на 187 метеорологічних станціях України у 1981–2010 рр. За щоденними даними спостережень обчислювали характеристики термічного режиму, запропоновані Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО) [12, с. 49–52]: середню за рік і сезон температуру повітря – середню із середніх за добу значень (T_{cp}); мінімальну за рік і сезон температуру повітря – середню із добових мінімумів ($T_{макс}$); максимальну за рік і сезон температуру повітря – середню із добових максимумів ($T_{мін}$); кількість спекотних днів з $T_{макс} \geq 25$ °C і вище за рік (КД $T_{макс} \geq 25$); кількість тропічних ночей з $T_{мін} \geq 20$ °C і вище за рік (КД $T_{мін} \geq 20$); максимальну тривалість спекотного періоду за рік ($\Pi_{макс} \geq 25$); кількість теплих днів за рік з $T_{cp} \geq 0$ °C і вище (КД $T_{cp} \geq 0$); кількість літніх днів за рік з $T_{cp} \geq 15$ °C і вище (КД $T_{cp} \geq 15$); кількість морозних днів

з $T_{мін}$ нижче 0 °C (КД $T_{мін} < 0$); максимальну тривалість періоду з морозом ($\Pi_{макс} < 0$); кількість днів, сприятливих для вегетації, з $T_{cp} \geq 5$ °C і вище (КД $T_{cp} \geq 5$); кількість днів, сприятливих для активної вегетації, з $T_{cp} \geq 10$ °C і вище (КД $T_{cp} \geq 10$); кількість днів із сильним морозом -20 °C і нижче (КД $T_{мін} \leq -20$); максимальну тривалість періоду із сильним морозом -20 °C і нижче ($\Pi_{макс} < -20$); кількість днів з морозом -10 °C і нижче (КД $T_{мін} \leq -10$); максимальну тривалість періоду з морозом -10 °C і нижче ($\Pi_{макс} < -10$); кількість днів, що потребують опалення у холодний період, з $T_{cp} \geq 8$ °C і нижче (КД $T_{cp} \leq 8$). Для кожного метеорологічного параметра чи показника визначали кліматичну норму за 1981–2010 рр., швидкість, напрямок, значущість й достовірність їхньої зміни у цей період для усіх областей України та країни загалом.

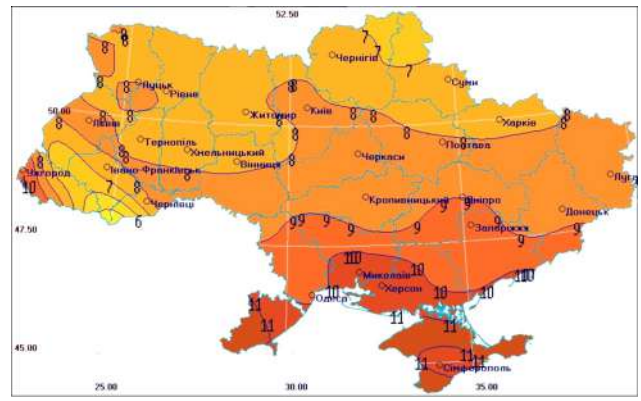
Оптимальна довжина ряду для осереднення різних метеорологічних показників може бути різною, тому встановлений ВМО [13, с. 6–7] 30-річний період є компромісом, який дає змогу отримати комплексну характеристику стану КС у певному регіоні. При цьому, згідно з Технічним регламентом ВМО, першим роком кліматичного періоду вважають рік, що починається на цифру 1, а останнім – що закінчується на цифру 0. Таким чином, сучасними кліматичними нормами є середні дані метеорологічних показників, отримані за період з 1 січня 1981 р. по 31 грудня 2010 р. Середні за рік значення стосуються календарного року, середні дані за зимовий сезон включають грудень попереднього року. Як міру інтенсивності змін використовували коефіцієнт лінійного тренду, розрахований за методом найменших квадратів. Достовірність змін оцінювали за критерієм Стьюдента (t -критерій): визначали, наскільки великою є ймовірність того, що величина t -критерію дорівнює або перевищує значення, яке розраховали за фактичними даними [3, с. 228–240, 286]. Якщо ця ймовірність p була меншою за заздалегідь прийнятий рівень значущості, нульову гіпотезу відхиляли. Для позначення оцінювальної ймовірності зміни метеорологічної величини чи показника використано терміни, рекомендовані МГЕЗК [11, с. 4].

Аналіз результатів. З середини 1970-х років відзначається стійкий перехід аномалії середньої річної глобальної температури повітря вище 0 °C відносно базового кліматичного періоду 1961–1990 рр. [1]. Проте в Україні такий перехід відбувся лише наприкінці 1990-х років через підвищення мінімальної, максимальної та середньої за добу температури повітря [1, с. 34–35]. Унаслідок таких змін у сучасний кліматичний період середні багаторічні значення цих показників за рік і сезон змінилися порівняно з періодом 1961–1990 рр.

У сучасний кліматичний період, як і в базовий, в Україні зберігається широтний розподіл середньої за рік температури повітря: вона зростає з півночі

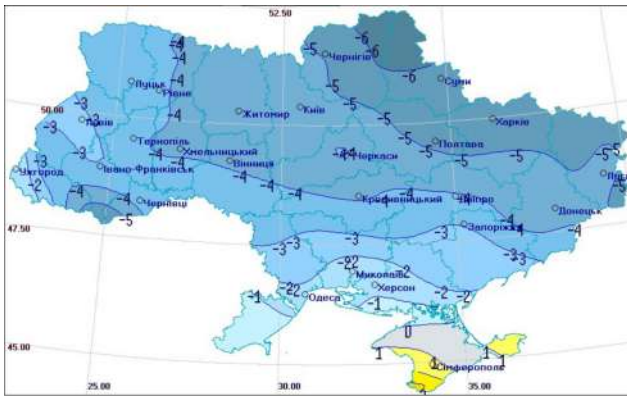


a



б

Рис. 1. Середня за рік температура повітря у базовий (а) та сучасний (б) кліматичні періоди
Fig. 1. The average annual air temperature in the basic (a) and current (б) climatic periods



a



б

Рис. 2. Середня за зиму температура повітря у базовий (а) та сучасний (б) кліматичні періоди
Fig. 2. The average winter air temperature in the basic (a) and current (б) climatic periods

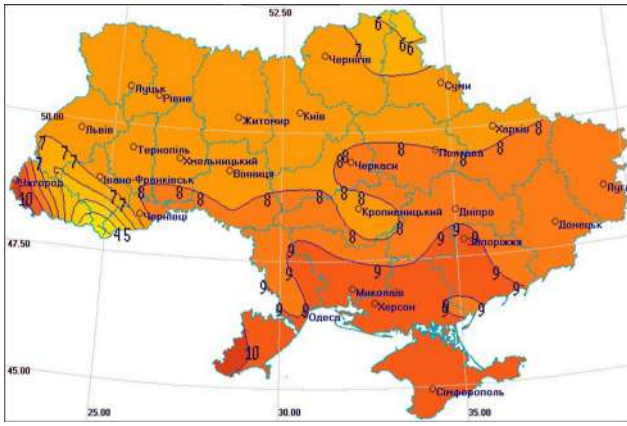
на південь у межах від 7 до 11 °С на рівнинній території і знижується нижче 6 °С на високогір'ї Карпат. Просторові особливості зміни термічного режиму відображає зміна положення ізотерм. Так, середньорічні ізотерми 6 і 7 °С у 1961–1990 рр. проходили у північно-східній частині України, ізотерма –8 °С розміщувалась у центральних областях країни, а 9 °С – у південних (рис. 1).

У 1981–2010 рр. значення кожної ізотерми стало вище на 1 °С майже на всій території України, але найбільші зміни спостерігаються на крайньому північному сході: ізотерми 6 °С у цьому регіоні вже не відзначаються, ізотерма 8 °С змістилася на 300–400 км на північ і проходить через північні області країни, на заході з'явилась ізотерма 8 °С замість 7 °С. На півдні ізотерми 11 °С зареєстровано уже й в Одеській обл. і на півночі АР Крим, хоча раніше середню за рік температуру понад 11 °С спостерігали лише на південному та західному узбережжі Криму (рис. 1).

Взимку середня за сезон температура повітря коливається від –5 °С і нижче на північному сході країни до 2 °С і вище на Кримському півострові (рис. 2). У другій половині ХХ – на початку ХХІ ст.

температура повітря взимку підвищилась на всій території України: від 1,4 °С і більше на півночі до 0,2–0,4 °С у Криму. При цьому на південному узбережжі Кримського півострова суттєвих змін температури не спостерігали. На більшій частині території країни, зокрема у Поліссі та Лісостепу, за останні три десятиріччя середня за сезон температура повітря зросла майже на 1 °С. На кліматичній карті 1981–2010 рр. ізотерма –6 °С на північному сході та сході країни вже відсутня, а ізотерму –5 °С зареєстровано лише на крайньому північному сході. У центральних і західних областях країни ізотерму –3 °С зафіксовано там, де раніше проходила ізотерма –4 °С.

Навесні значне підвищення температури повітря спостерігається на всій території України і досягає максимуму (1,6 °С і вище) на крайньому північному сході. Винятком є лише АР Крим і східні райони Луганщини, де середня за сезон температура змінилася несуттєво (менше 0,2 °С). У сучасний кліматичний період ізотерми 6 і 7 °С на півночі східного Лісостепу навесні уже відсутні, а ізотерму 8 °С зафіксовано лише на крайньому північному сході. Інакше кажучи, лише у цьому регіоні середня

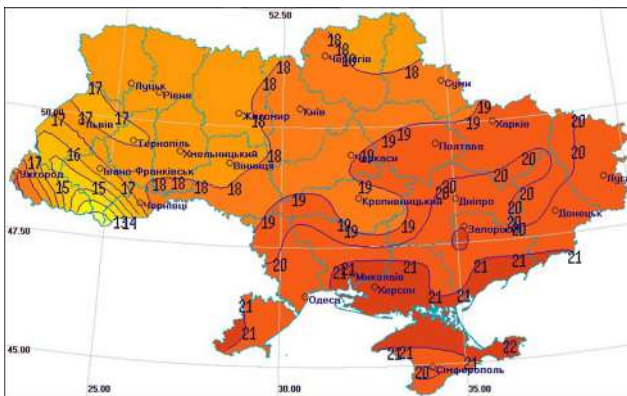


a

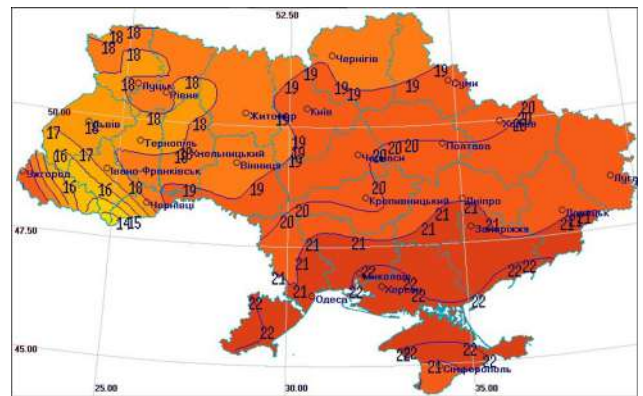


б

Рис. 3. Середня за весну температура повітря у базовий (а) та сучасний (б) кліматичні періоди
Fig. 3. The average spring air temperature in the basic (a) and current (b) climatic periods



a



б

Рис. 4. Середня за літо температури повітря у базовий (а) та сучасний (б) кліматичні періоди
Fig. 4. The average summer air temperature in the basic (a) and current (b) climatic periods

за весну температура повітря нижча, ніж 8 °С, хоча у 1961–1990 рр. така температура була характерна для північних, західних і навіть деяких центральних областей країни (рис. 3).

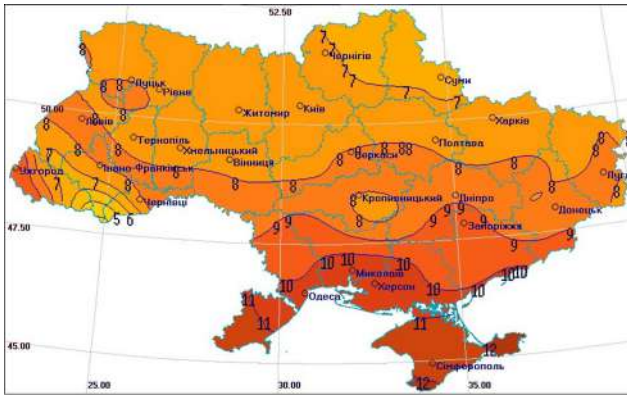
Влітку зберігається такий самий просторовий розподіл температури, як і в 1961–1990 рр.: підвищення температури з північного заходу на південний схід. Проте середня за сезон температура повітря майже на всій території країни збільшилась на 0,6–0,8 °С. Лише на крайньому сході країни вона зросла на 0,4 °С, а в центральних областях – на 1 °С і вище. Такі зміни привели до того, що на півдні країни середня за сезон температура повітря перевищила 21 °С, а на кліматичній карті у південному Степу з'явилась нова ізотерма – 22 °С. На Поліссі ізотерму 17 °С замінила ізотерма 18 °С, а в центральному Лісостепу середня за літо температура перевищила 19 °С (рис. 4).

Рівномірна зміна температури повітря влітку на всій території країни свідчить про зміну макромасштабної циркуляції атмосфери, зокрема, як показали попередні дослідження, посилення антициклонезу і зростання повторюваності блокувальних процесів [2, с. 46–50].

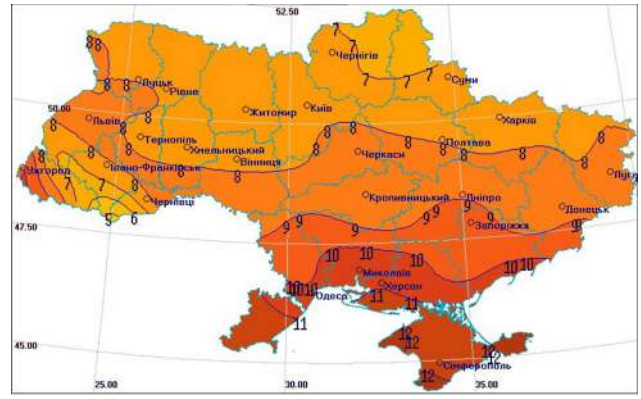
Восени у сучасний кліматичний період середня за сезон температура в Україні підвищується в широтному напрямку з північного заходу на південний схід від 7 до 12 °С, як і у 1961–1990 рр. (рис. 5). На всій території країни зафіксовано зростання значень температури від 0,1 °С на заході до 0,2 °С, проте цей процес не є значущим, тобто лише восени середні багаторічні значення середньої за сезон температури повітря в Україні не змінились.

Протягом останніх десятиріч в Україні змінилася не лише середня, а й максимальна та мінімальна середня багаторічна за сезон та рік температура повітря.

Середня максимальна за рік температура повітря у сучасний кліматичний період зросла майже на 1 °С на всій території країни і коливається від 12 °С на північному сході до 16 °С у АР Крим та на півдні Одеської обл. При цьому вперше на кліматичній карті з'явилась ізотерма 16 °С. Просторовий розподіл середньої за рік максимальної температури повітря зберігається таким самим, як і в 1961–1990 рр., але ізотерму 11 °С на північному сході країни замінила ізотерма 12 °С, а ізотерму 12 °С – ізотерма 13 °С. При цьому в сучасний кліматичний період серед-

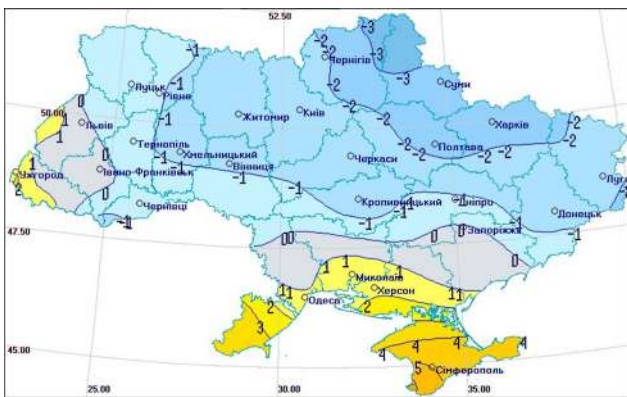


a



b

Рис. 5. Середня за осінь температура повітря у базовий (а) та сучасний (б) кліматичні періоди
Fig. 5. The average autumn air temperature in the basic (a) and current (b) climatic periods



a



b

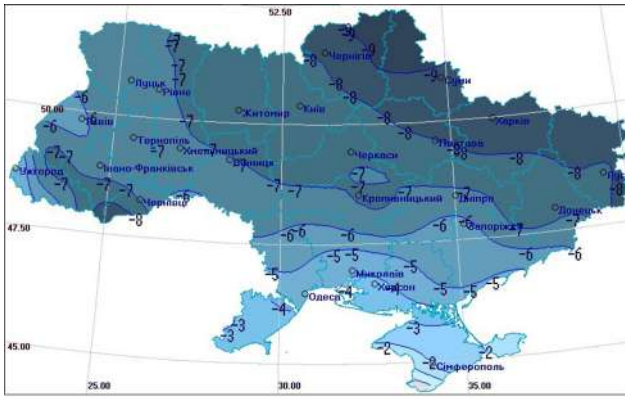
Рис. 6. Середня максимальна за зиму температура повітря у базовий (а) та сучасний (б) кліматичні періоди
Fig. 6. The mean maximum air temperature of the winter in the basic (a) and current (b) climatic periods

ня за рік максимальна температура повітря понад 13 °С уже характерна не лише для південного Степу, а й для північного і навіть центрального Лісостепу. Взимку середня максимальна за сезон температура повітря у 1981–2010 рр. коливається від –2 °С і нижче на північному сході країни до 4–5 °С на півдні. Її середні багаторічні значення суттєво змінилися порівняно з 1961–1990 рр., особливо на Поліссі та в Лісостепу (рис. 6). У цьому регіоні температура зросла майже на 1 °С, і з кліматичної карти зникла ізотерма –3 °С, яка проходила на північному сході країни. Положення ізотерми –2 °С замінила ізотерма –1 °С, а ізотерми –1 °С – нульова. Внаслідок такої зміни суттєво скоротилася площа території України, на якій спостерігали від’ємні максимальні температури повітря (рис. 6). Середні за сезон додатні максимальні температури повітря зареєстровано вже майже на половині території України, тим часом як у 1961–1990 рр. вони були лише на заході країни, у Закарпатті та південному Степу.

Весною середня максимальна за сезон температура повітря змінюється від 13 °С і нижче на північному сході країни до 16 °С на півдні Одеської

обл. та на Закарпатті, тоді як у 1961–1990 рр. вона була на 1 °С нижчою. У північному Степу максимальна температура стала більш як 14 °С, водночас у базовий кліматичний період такі температури були характерні лише для південного Степу, а в Лісостепу – понад 13 °С. Середня максимальна за літо температура повітря у 1981–2010 рр. має такий самий просторовий розподіл, як і в базовий кліматичний період, проте її значення на 1 °С вищі і на рівнинній території коливаються від 24 °С на заході країни до 28 °С і вище на півдні. При цьому ізотерма 28 °С уперше з’являється на кліматичній карті, а на Поліссі середні максимальні температури перевищили 25 °С, хоча раніше така температура була характерна лише для Лісостепу та Степу. Восени в Україні зберігається широтний розподіл середньої максимальної за сезон температури повітря, вона зростає від 11–12 °С на півночі країни до 16 °С і вище у південному регіоні, як і в 1961–1990 рр.

Середня мінімальна за рік температура повітря на рівнинній території України варіює від 3 до 8 °С і вище. Протягом останніх десятиріч її значення збільшились, особливо на Поліссі та в Лісостепу. Мінімальна температура понад 4 °С уже характерна



а



б

Рис. 7. Середня мінімальна за зиму температура повітря у базовий (а) та сучасний (б) кліматичні періоди
 Fig. 7. The mean minimum air temperature of the winter in the basic (a) and current (b) climatic periods

не лише для степової зони, а й для центрального і східного Лісостепу, а також окремих районів західного Лісостепу. Ізотерма 2 °С зникла з кліматичної карти. Взимку найхолоднішими в Україні залишаються північно-східні та східні області, проте середня мінімальна за сезон температура повітря уже становить не $-8 \dots -9$ °С і нижче, як у 1961–1990 рр., а -7 °С і нижче. Таке значне зростання мінімальної температури привело до того, що з кліматичної карти зникла не тільки ізотерма -9 °С, а й -8 °С, а на заході країни з'явилась ізотерма -5 °С замість -6 °С. Проте на півдні країни, у степовій зоні, мінімальна температура взимку змінилася несуттєво і коливається від -2 до -5 °С (рис. 7).

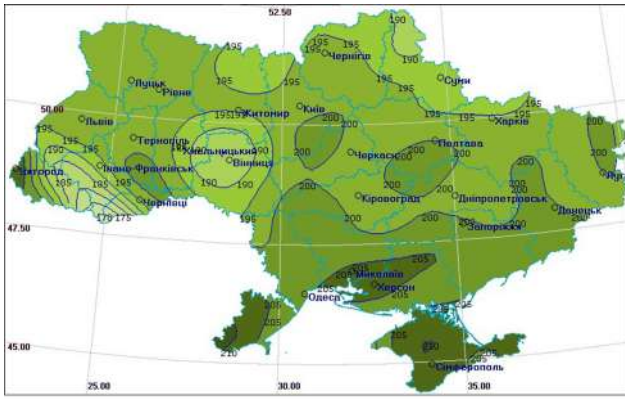
Весною мінімальна температура повітря зростає від 3 °С і нижче на північному сході та сході рівнинної території країни до 5–6 °С і вище на півдні. Протягом останніх десятиріч суттєво скоротилася площа території, де мінімальна температура становила нижче 3 °С: у сучасний кліматичний період таку температуру зареєстровано лише на північному сході західного Лісостепу та в Карпатах, тоді як у 1961–1990 рр. – у Карпатах, на Поліссі, у західному та східному Лісостепу. Ізотерма 4 °С перемістилася на північ на 100–150 км і проходить уже не лише через степову зону, а й лісостепову. Влітку середня мінімальна за сезон температура повітря в Україні зростає з північного заходу на південь та південний схід з 13 °С і нижче до 17 °С і вище. Відносно базового кліматичного періоду вона суттєво підвищилася, особливо на північному заході країни, де ізотерма 12 °С зникла з кліматичної карти і майже вдвічі скоротилася площа території, на якій зафіксовано значення нижче 13 °С. На півдні країни ізотерма 15 °С перемістилася з південного Степу у північний, ізотерма 14 °С поширилася на територію центрального Лісостепу, а на Херсонщині та в АР Крим з'явилась ізотерма 17 °С. Восени у 1981–2010 рр., як і в 1961–1990 рр., середня мінімальна температура на рівнинній території змінилася від 3 °С на північному сході до 7 °С і вище на півдні.

Значних змін у просторовому розподілі не зафіксовано, за винятком положення ізотерми 4 °С, яка перемістилася у західному Лісостепу на 100–150 км на північний захід.

У сучасний кліматичний період *кількість теплих днів*, коли середня за добу температура повітря перевищує 0 °С, змінюється від 300 і більше у південному Степу та Криму до 275 і менше на північному сході, сході та в Карпатах. Підвищення середньої температури понад 5 °С є сприятливим для відновлення вегетації рослинності, а за стійкого переходу через 10 °С починається активна вегетація. Південні степові області України, Закарпаття та Південне узбережжя Криму мають найбільшу *кількість днів, сприятливих для вегетації* (200–210 і більше) та *активної вегетації* (175 і більше). Їх повторюваність зменшується у північному напрямку і на Поліссі становить менше 190 і 160 днів. Дещо менше триває вегетативний період і в Карпатах (рис. 8).

Якщо середня за добу температура повітря перевищує 15 °С, такий день називають літнім, а стійкий її перехід через цю межу є початком/закінченням літа. Найменше *літніх днів* в Україні (менш як 100) спостерігається на Поліссі та в західному Лісостепу. Їхня кількість зростає з північного заходу на південь і південний схід і сягає 130 і більше у південному Степу. На високогір'ї Карпат літніх днів буває близько 2 місяців (табл. 1).

У теплий період, після стійкого переходу середньої добової температури через 20 °С, створюються умови для утримання *спекотної погоди*, коли максимальна температура повітря перевищує 25 °С. Кількість днів з високою температурою, як і в 1961–1990 рр., зростає з півночі, північного заходу на південь, південний схід. Найсприятливіші умови для виникнення такого явища спостерігаються у південному Степу. За рік у цьому регіоні зафіксовано понад 80 днів з високою температурою повітря, у північному Степу – 70–80, що майже на 10 днів більше, ніж у 1961–1990 рр. [6, с. 25]. У східному і центральному Лісостепу максимальна температура



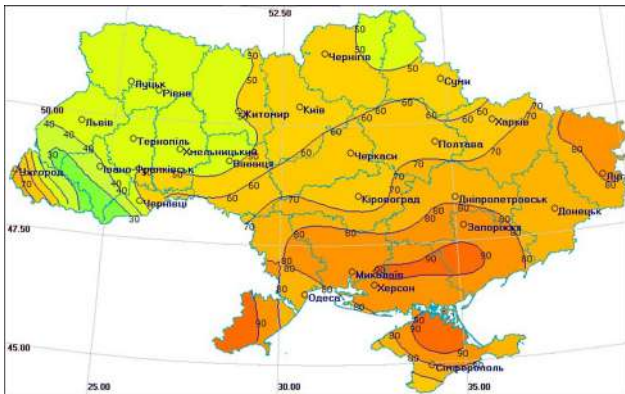
а



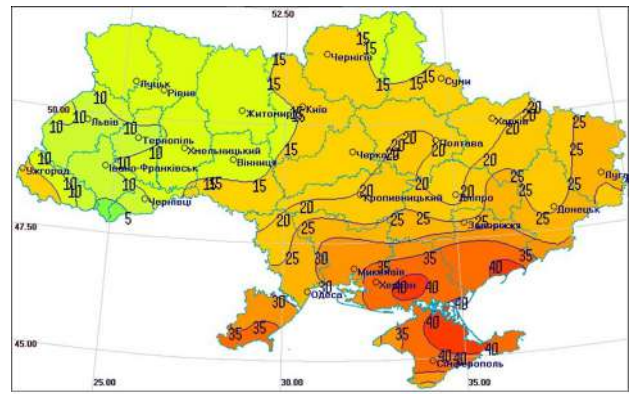
б

Рис. 8. Кількість днів з вегетацією (а) та активною вегетацією (б)

Fig. 8. Number of days of the growing season (a) and of the active growing season (b)



а



б

Рис. 9. Кількість днів (а) та середня з максимальних тривалість періоду (б) зі спекотною погодою

Fig. 9. Number of hot days (a) and mean from the maximum duration of heatwaves (b)

понад 25 °С може бути 60–70 днів, а на Поліссі і в західному Лісостепу – менше 50, що майже втричі більше, ніж у базовий кліматичний період, – 15 днів (рис. 9).

Максимальна за рік тривалість безперервного спекотного періоду в 1981–2010 рр. змінюється від 35–40 днів у південному Степу до 10 днів і менше у західному Лісостепу. За спекотної погоди досить часто навіть мінімальна температура повітря, яка спостерігається переважно вночі, не опускається нижче 20 °С. Такі ночі називають тропічними. В Україні кількість тропічних ночей за рік у сучасний кліматичний період становить від 10 і більше у південному Степу до 1 на Поліссі та в західному Лісостепу.

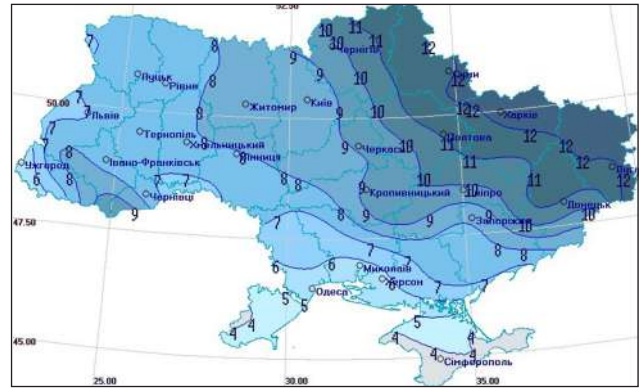
Мінімальна температура повітря нижче –10 °С несприятлива для багатьох галузей економіки, а на Південному узбережжі Криму є стихійним явищем погоди. Найчастіше (30 днів і більше) така температура спостерігається на північному сході та сході країни – у східному Лісостепу, на лівобережному Поліссі та в Карпатах. При цьому нижче –20 °С температура повітря на цій території може бути 4–6 днів і більше. Повторюваність низької температури зменшується на південь та південний захід, і в пів-

денному Степу нижче –10 °С буває 20 днів і менше, а нижче –20 °С – 1–2 дні за рік. У Криму, на півдні Одеської, Миколаївської, Херсонської областей та на Закарпатті днів з температурою нижче –10 °С менше 15, а мінімальну температуру повітря –20 °С і нижче фіксують не кожного року. Негативний вплив низької температури зростає із збільшенням тривалості такого періоду. Дослідження показали, що максимальна тривалість безперервного періоду з мінімальною температурою нижче –10 °С зростає із заходу на схід і може становити 35 днів і більше на лівобережній частині України (рис. 10).

Формування тривалого періоду з низькою температурою зумовлено переважно вторгненням і радіаційним вихолодженням арктичного повітря в антициклонах з північного сходу, з північного заходу у тилу циклонів і в разі поширення відрог Сибірського антициклону зі сходу. Значно рідше таке арктичне повітря поширюється на західні області країни, де у цей період переважає циклонічна діяльність, та Причорноморський регіон, який взимку зазнає впливу Чорноморської депресії. Тому у цих регіонах максимальна тривалість періоду з мінімальною температурою нижче –10 °С зменшується і становить 25–20 днів і менше.



а



б

Рис. 10. Кількість днів (а) та середня з максимальних тривалість періоду (б) з мінімальною температурою нижче -10°C

Fig. 10. Number of days (a) and average from the maximum duration of period (b) with a minimum daily temperature below -10°C

Максимальна тривалість безперервного періоду з мінімальною температурою нижче -20°C спостерігається на північному сході та сході країни і становить 9 днів і більше. 7–8 днів за рік із сильним морозом буває і в центральних областях країни – у північному Степу, західному Лісостепу. На півдні і заході країни, за винятком Карпат, максимальна тривалість періоду із сильним морозом зменшується до 4–5 днів і менше. У холодний період року, коли середня за добу температура повітря опускається нижче 8°C , починається опалювальний сезон. В Україні кількість днів, що потребують опалення, варіює від 130–140 на півдні до 160–170 на Поліссі та в східному Лісостепу.

Зміна кліматичних середніх і показників екстремальності термічного режиму на рубежі ХХ–ХХІ ст. Протягом сучасного кліматичного періоду показники термічного режиму в Україні суттєво змінювалися. Проведений аналіз показав, що підвищення середньої за рік температури повітря у цей період практично не викликає сумнівів на більшій частині території країни і дуже ймовірно на її решті. Ці зміни становлять у середньому $0,57^{\circ}\text{C}/10$ років, є інтенсивнішими, ніж у 1961–2010 рр. ($0,3^{\circ}\text{C}/10$ років), і значно перевищують темпи зміни приземної глобальної температури ($0,13^{\circ}\text{C}/10$ років у 1995–2012 рр.) [11, с. 5]. Проте темпи зміни температури були неоднаковими на території країни. Середня за рік температура повітря найінтенсивніше підвищувалась у Степу та східному Лісостепу – $0,6$ – $0,7^{\circ}\text{C}/10$ років з максимумом у Сумській обл. Дещо повільніше зростала температура повітря у центральному Лісостепу – $0,5$ – $0,6^{\circ}\text{C}/10$ років, а на Поліссі та в західному Лісостепу – $0,3$ – $0,4^{\circ}\text{C}/10$ років (табл. 1).

Швидкість зміни також варіювала протягом року. Найінтенсивніше приземна температура повітря в Україні підвищувалася влітку. Вона зростала з $0,7^{\circ}\text{C}/10$ років на північному заході країни до $0,9^{\circ}\text{C}/10$ років на півдні, в середньому по країні – $0,83^{\circ}\text{C}/10$ років. Значне підвищення температури повітря було характерне і для перехідних сезонів – осені та весни.

При цьому восени середня за сезон температура повітря підвищувалась інтенсивніше ($0,58^{\circ}\text{C}/10$ років), ніж весною ($0,50^{\circ}\text{C}/10$ років), зміни були більш значущими, особливо в степовій зоні, і посилювались з північного заходу на південь та південний схід.

Зміни середньої за рік і сезон температури повітря були зумовлені зростанням як мінімальної, так і максимальної температури упродовж усього року. При цьому найбільші темпи росту екстремальних температур були характерні саме для теплого періоду (табл. 2). Середня за рік максимальна температура повітря зростала зі швидкістю $0,6^{\circ}\text{C}/10$ років. Установлено, що темпи росту та їх значущість збільшувались із північного заходу на південь і південний схід. Так, у західному Лісостепу значення становили $0,4$ – $0,5^{\circ}\text{C}/10$ років, а в Степу та східному Лісостепу – $0,6$ – $0,7^{\circ}\text{C}/10$ років, на Луганщині – $0,72^{\circ}\text{C}/10$ років і більше.

Протягом року найінтенсивніше максимальна температура зростала у літній сезон, і її зміна практично не викликає сумнівів на всій території України (табл. 2). У середньому темп становив $1,0^{\circ}\text{C}/10$ років, з максимальними значеннями до $1,0$ – $1,1^{\circ}\text{C}/10$ років у Степу та східному Лісостепу. Зміна цього показника є дуже ймовірною і в перехідні сезони. Швидкість зміни однакова для обох періодів ($0,6^{\circ}\text{C}/10$ років), однак весною найінтенсивніше максимальна температура зростала у західному та центральному Лісостепу, а восени – у північному степу, на Закарпатті та у АР Крим. У зимовий період максимальна температура також підвищувалася на $0,3^{\circ}\text{C}/10$ років, проте така зміна була незначущою (ймовірність 55%). Суттєві зміни були характерні лише для Закарпаття та Криму, де середня за сезон максимальна температура, ймовірно, зросла на $0,4$ і $0,3^{\circ}\text{C}/10$ років відповідно.

Темпи росту середньої за рік мінімальної температури були дещо нижчі, ніж максимальної, і становили $0,51^{\circ}\text{C}/10$ років (табл. 3). Зростання мінімальної температури у західному Лісостепу та на Поліссі було дуже ймовірне, а на решті території практично не викликало сумнівів (ймовірність

більш як 99 %). Найменшими темпи зміни були у західному Лісостепу (0,3–0,4 °C/10 років), а найбільшими – у Степу (0,6 °C/10 років і більше). Винятком є Волинь, де спостерігали найінтенсивніше підвищення середньої за рік мінімальної температури – 1,1 °C/10 років (табл. 3).

Протягом року найбільші зміни відбувалися влітку (табл. 3). Величина змін була практично однаковою на всій території країни і становила 0,6–0,7 °C/10 років, а їх імовірність перевищувала 98 %. Дуже швидко (0,6 °C/10 років) підвищувалась мінімальна температура повітря і восени. Цей ріст посилювався з північного заходу на південь і південний схід: від 0,2–0,3 °C/10 років у західному Лісостепу до 0,7–0,8 °C/10 років у Степу та АР Крим.

Весною темпи росту мінімальної температури були значно меншими, ніж восени (0,3 °C/10 років), особливо на півдні та сході країни, а середня за зиму мінімальна температура зростала дещо швидше, ніж максимальна (0,4 °C/10 років), проте така зміна також була значущою (ймовірність 61 %).

Зростання максимальної та мінімальної температури повітря у холодний період року зумовило зменшення тривалості холодного періоду і кількість морозних днів. Кількість днів з мінімальною температурою повітря менш як 0 °C дуже ймовірно зменшувалась в Україні на 6–7 днів/10 років (табл. 4). У східному Лісостепу, Степу та Криму такі зміни сягали 7–8 днів/10 років, а на решті території – 5–7 днів/10 років. Кількість днів з морозом менше

Таблиця 1. Швидкість зміни (λ , °C/10 років) середньої за рік та сезон температури повітря у 1981–2010 рр. і значущість цих змін (p) в областях України та країні загалом

Table 1. Trends (λ , °C/10 year) of average annual and seasonal of air temperature for 1981–2010 and the significance of these changes (p) in the regions of Ukraine and the country as a whole

Область, регіон	Рік		Сезон							
			Зима		Весна		Літо		Осінь	
	λ	p	λ	p	λ	p	λ	p	λ	p
Чернігівська	0,58	0,00	0,43	0,40	0,45	0,07	0,83	0,00	0,56	0,03
Сумська	0,66	0,00	0,39	0,44	0,70	0,01	0,81	0,00	0,65	0,02
Волинська	0,41	0,02	0,33	0,54	0,35	0,15	0,71	0,00	0,33	0,13
Рівненська	0,41	0,02	0,29	0,59	0,33	0,21	0,75	0,00	0,32	0,12
Житомирська	0,52	0,01	0,42	0,41	0,42	0,09	0,79	0,00	0,47	0,03
Київська	0,56	0,00	0,41	0,42	0,49	0,06	0,85	0,00	0,53	0,03
Львівська	0,43	0,01	0,39	0,43	0,37	0,13	0,70	0,00	0,27	0,19
Хмельницька	0,48	0,01	0,34	0,50	0,47	0,07	0,79	0,00	0,42	0,06
Полтавська	0,61	0,00	0,40	0,41	0,49	0,07	0,81	0,00	0,63	0,01
Харківська	0,61	0,01	0,30	0,53	0,50	0,08	0,80	0,01	0,73	0,01
Тернопільська	0,48	0,01	0,34	0,50	0,47	0,07	0,78	0,00	0,35	0,10
Черкаська	0,59	0,00	0,40	0,41	0,53	0,05	0,87	0,00	0,56	0,02
Луганська	0,56	0,01	0,14	0,77	0,46	0,11	0,72	0,01	0,69	0,01
Вінницька	0,54	0,01	0,33	0,51	0,50	0,06	0,89	0,00	0,49	0,03
Івано-Франківська	0,40	0,01	0,29	0,51	0,40	0,12	0,73	0,00	0,22	0,28
Кіровоградська	0,60	0,00	0,40	0,40	0,54	0,05	0,85	0,00	0,56	0,02
Дніпропетровська	0,60	0,00	0,28	0,54	0,53	0,06	0,79	0,00	0,64	0,01
Донецька	0,65	0,00	0,26	0,54	0,52	0,04	0,86	0,00	0,77	0,00
Закарпатська	0,47	0,00	0,56	0,17	0,30	0,19	0,75	0,00	0,33	0,10
Чернівецька	0,61	0,00	0,36	0,42	0,66	0,01	1,03	0,00	0,49	0,03
Одеська	0,60	0,00	0,37	0,40	0,56	0,03	0,90	0,00	0,56	0,01
Запорізька	0,62	0,00	0,21	0,61	0,52	0,04	0,81	0,00	0,71	0,00
Миколаївська	0,60	0,00	0,34	0,46	0,55	0,03	0,87	0,00	0,59	0,01
Херсонська	0,65	0,00	0,30	0,46	0,64	0,01	0,86	0,00	0,68	0,00
АР Крим	0,63	0,00	0,27	0,36	0,50	0,02	0,91	0,00	0,74	0,00
У к р а ї н а	0,58	0,00	0,36	0,39	0,50	0,04	0,83	0,00	0,58	0,01

Таблиця 2. Швидкість зміни (λ , °C/10 років) максимальної за рік та сезон температури повітря у 1981–2010 рр. і значущість цих змін (p) в областях України та країні загалом
 Table 2. Trends (λ , °C/10 year) of maximum annual and seasonal air temperature for 1981–2010 and the significance of these changes (p) in the regions of Ukraine and the country as a whole

Область, регіон	Рік		Сезон							
			Зима		Весна		Літо		Осінь	
	λ	p	λ	p	λ	p	λ	p	λ	p
Чернігівська	0,60	0,00	0,30	0,48	0,60	0,05	1,00	0,00	0,60	0,02
Сумська	0,60	0,00	0,30	0,49	0,50	0,10	1,00	0,00	0,70	0,02
Волинська	0,50	0,01	0,30	0,54	0,50	0,10	0,80	0,00	0,50	0,09
Рівненська	0,40	0,02	0,20	0,62	0,40	0,19	0,80	0,00	0,40	0,13
Житомирська	0,60	0,00	0,30	0,55	0,50	0,07	0,90	0,00	0,50	0,03
Київська	0,60	0,00	0,30	0,51	0,70	0,04	1,00	0,00	0,50	0,04
Львівська	0,50	0,01	0,40	0,42	0,50	0,09	0,80	0,00	0,40	0,17
Хмельницька	0,50	0,01	0,30	0,56	0,60	0,07	0,90	0,00	0,40	0,13
Полтавська	0,60	0,00	0,30	0,45	0,60	0,08	1,00	0,00	0,60	0,04
Харківська	0,70	0,00	0,30	0,46	0,60	0,07	1,00	0,00	0,80	0,01
Тернопільська	0,50	0,01	0,30	0,56	0,60	0,07	0,90	0,00	0,40	0,13
Черкаська	0,60	0,00	0,30	0,48	0,60	0,07	1,00	0,00	0,50	0,06
Луганська	0,70	0,00	0,20	0,65	0,60	0,09	1,00	0,00	0,80	0,01
Вінницька	0,50	0,01	0,20	0,62	0,60	0,06	0,90	0,00	0,40	0,12
Івано-Франківська	0,50	0,01	0,20	0,59	0,60	0,06	0,90	0,00	0,30	0,33
Кіровоградська	0,70	0,00	0,40	0,40	0,70	0,04	1,10	0,00	0,50	0,05
Дніпропетровська	0,60	0,01	0,20	0,56	0,60	0,10	0,90	0,01	0,60	0,03
Донецька	0,70	0,00	0,20	0,67	0,60	0,08	1,00	0,00	0,80	0,01
Закарпатська	0,50	0,00	0,40	0,20	0,30	0,22	0,90	0,00	0,50	0,06
Чернівецька	0,40	0,06	0,20	0,72	0,50	0,14	0,80	0,00	0,10	0,67
Одеська	0,70	0,00	0,40	0,41	0,70	0,03	1,10	0,00	0,50	0,06
Запорізька	0,60	0,01	0,20	0,66	0,50	0,10	0,90	0,00	0,60	0,01
Миколаївська	0,70	0,00	0,30	0,47	0,70	0,02	1,10	0,00	0,60	0,02
Херсонська	0,70	0,00	0,30	0,40	0,70	0,03	1,00	0,00	0,70	0,01
АР Крим	0,70	0,00	0,30	0,28	0,50	0,04	1,00	0,00	0,70	0,00
У к р а ї н а	0,60	0,00	0,30	0,45	0,60	0,05	1,00	0,00	0,60	0,02

Таблиця 3. Швидкість зміни (λ , °C/10 років) мінімальної за рік і сезон температури повітря у 1981–2010 рр. і значущість цих змін (p) в областях України та країні загалом
 Table 3. Trends (λ , °C/10 year) of minimum annual and seasonal air temperature for 1981–2010 and the significance of these changes (p) in the regions of Ukraine and the country as a whole

Область, регіон	Рік		Сезон							
			Зима		Весна		Літо		Осінь	
	λ	p	λ	p	λ	p	λ	p	λ	p
Чернігівська	0,50	0,02	0,60	0,29	0,30	0,24	0,60	0,01	0,50	0,05
Сумська	0,50	0,02	0,50	0,40	0,30	0,33	0,60	0,01	0,60	0,03
Волинська	0,40	0,04	0,40	0,49	0,30	0,25	0,60	0,00	0,20	0,28
Рівненська	0,30	0,09	0,30	0,63	0,20	0,41	0,60	0,01	0,20	0,39
Житомирська	0,50	0,01	0,60	0,30	0,30	0,21	0,60	0,00	0,40	0,06
Київська	0,50	0,02	0,50	0,35	0,30	0,20	0,60	0,00	0,40	0,06
Львівська	0,30	0,03	0,40	0,43	0,20	0,34	0,60	0,00	0,20	0,32
Хмельницька	0,40	0,01	0,40	0,46	0,30	0,20	0,60	0,00	0,40	0,07
Полтавська	0,60	0,01	0,50	0,39	0,40	0,15	0,70	0,00	0,70	0,01
Харківська	0,60	0,01	0,40	0,47	0,40	0,16	0,60	0,01	0,70	0,01
Тернопільська	0,50	0,01	0,40	0,41	0,40	0,09	0,70	0,00	0,30	0,09
Черкаська	0,50	0,01	0,60	0,33	0,30	0,26	0,60	0,00	0,50	0,02
Луганська	0,50	0,02	0,20	0,69	0,30	0,22	0,50	0,02	0,70	0,02
Вінницька	0,50	0,01	0,50	0,39	0,30	0,12	0,70	0,00	0,60	0,02

Ів.-Франківська	0,40	0,02	0,30	0,45	0,30	0,23	0,70	0,00	0,20	0,25
Кіровоградська	0,60	0,00	0,50	0,33	0,40	0,13	0,70	0,00	0,70	0,01
Дніпропетр.-ка	0,60	0,00	0,30	0,54	0,60	0,02	0,60	0,00	0,70	0,01
Донецька	0,60	0,00	0,30	0,54	0,40	0,09	0,70	0,00	0,80	0,01
Закарпатська	0,40	0,00	0,60	0,17	0,10	0,54	0,60	0,00	0,30	0,15
Чернівецька	0,40	0,00	0,40	0,35	0,30	0,16	0,70	0,00	0,40	0,05
Одеська	0,50	0,00	0,30	0,46	0,40	0,06	0,70	0,00	0,60	0,01
Запорізька	0,60	0,00	0,30	0,58	0,40	0,10	0,70	0,00	0,80	0,00
Миколаївська	0,50	0,01	0,40	0,48	0,30	0,15	0,60	0,00	0,60	0,01
Херсонська	0,50	0,00	0,30	0,55	0,40	0,06	0,70	0,00	0,70	0,01
АР Крим	0,50	0,00	0,20	0,48	0,30	0,08	0,70	0,00	0,70	0,00
У к р а ї н а	0,50	0,00	0,40	0,39	0,30	0,11	0,70	0,00	0,60	0,01

Таблиця 4. Швидкість зміни (λ , днів/10 років) характеристик екстремальності термічного режиму в холодний період у 1981–2010 рр. і значущість цих змін (p) в областях України та країні загалом

Table 4. Trends (λ , days/10 year) of extremal characteristics of the thermal regime in the cold period for 1981–2010 and the significance of these changes (p) in the regions of Ukraine and the country as a whole

Область, регіон	КД $T_{\min} < 0$		КД $T_{\min} \leq -10$		П _{макс} < -10		КД $T_{\min} \leq -20$		П _{макс} < -20		КД $T_{\text{ср}} \leq 8$	
	λ	p	λ	p	λ	p	λ	p	λ	p	λ	p
Чернігівська	-5,7	0,06	-5,0	0,2	-0,4	-0,4	-1,3	0,38	-0,2	0,73	-0,4	0,57
Сумська	-6,6	0,03	-6,1	0,13	-0,1	-0,1	-1,1	0,5	-0,2	0,66	-0,1	0,92
Волинська	-5,3	0,11	-2,3	0,48	-1,6	-1,6	-0,4	0,71	0,3	0,39	-1,6	0,17
Рівненська	-4,4	0,14	-2,4	0,48	-1,6	-1,6	-0,5	0,71	0,4	0,33	-1,6	0,12
Житомирська	-6,5	0,04	-1,8	0,45	-1,2	-1,2	-1,1	0,37	0,3	0,42	-1,2	0,2
Київська	-6,2	0,05	-4,0	0,26	-0,9	-0,9	-1,1	0,35	0,2	0,69	-0,9	0,34
Львівська	-4,7	0,10	-2,8	0,34	-2,2	-2,2	-0,6	0,5	0,2	0,55	-2,2	0,09
Хмельницька	-6,6	0,03	-2,8	0,41	-1,4	-1,4	-0,1	0,93	0,5	0,21	-1,4	0,17
Полтавська	-7,6	0,02	-5,7	0,13	-0,5	-0,5	-0,6	0,58	-0,1	0,88	-0,5	0,53
Харківська	-7,7	0,02	-6,8	0,07	-0,4	-0,4	-0,2	0,89	0,3	0,46	-0,4	0,53
Тернопільська	-6,6	0,03	-2,7	0,38	-1,6	-1,6	0,0	0,96	0,5	0,22	-1,6	0,17
Черкаська	-6,8	0,04	-3,9	0,28	-0,8	-0,8	-0,7	0,55	0,2	0,66	-0,8	0,42
Луганська	-5,6	0,05	-6,6	0,07	-0,5	-0,5	-0,2	0,9	0,5	0,24	-0,5	0,47
Вінницька	-6,5	0,04	-1,4	0,58	-1,4	-1,4	-0,7	0,5	0,4	0,3	-1,4	0,19
Івано-Франківська	-4,7	0,06	-2,4	0,4	-0,8	-0,8	-0,3	0,63	0,1	0,84	-0,8	0,5
Кіровоградська	-7,7	0,01	-4,8	0,17	-0,8	-0,8	-0,5	0,61	0,0	0,97	-0,8	0,44
Дніпропетровська	-7,1	0,03	-1,9	0,43	-0,7	-0,7	-0,4	0,64	0,1	0,79	-0,7	0,41
Донецька	-8,1	0,01	-1,8	0,44	-1	-1	-0,2	0,77	0,2	0,61	-1	0,16
Закарпатська	-5,6	0,02	-1,9	0,21	-2,8	-2,8	-0,6	0,3	0,0	0,9	-2,8	0,03
Чернівецька	-8,9	0,00	-5,0	0,1	-1,4	-1,4	-0,5	0,55	0,3	0,41	-1,4	0,2
Одеська	-7,4	0,01	-2,2	0,35	-3,3	-3,3	0,1	0,65	0,2	0,35	-3,3	0,05
Запорізька	-7,1	0,03	-4,1	0,15	-1,5	-1,5	0,1	0,93	0,4	0,22	-1,5	0,12
Миколаївська	-5,4	0,12	-3,6	0,24	-2,2	-2,2	0,1	0,84	0,2	0,51	-2,2	0,09
Херсонська	-6,6	0,05	-3,1	0,24	-2,7	-2,7	-0,1	0,76	0,1	0,68	-2,7	0,06
АР Крим	-7,4	0,01	-1,6	0,2	-4,6	-4,6	0,0	0,75	0,1	0,55	-4,6	0,01
У к р а ї н а	-6,4	0,02	-1,5	0,43	-2,8	-2,8	-0,4	0,61	-0,8	0,54	-2,8	0,02

-10 °С ймовірно зменшувалась в Україні у середньому на 1–2 дні/10 років (табл. 4). Проте ці зміни були не однаковими на території країни. У східному Лісостепу та на сході північного Степу кількість днів з такою температурою дуже ймовірно та ймовірно зменшувалось на 6–7 днів, а на Закарпатті та в АР Крим – лише на 1–2 дні/10 років. На решті території протягом 1981–2010 рр. їх кількість ймо-

вірно зменшувалася на 2–5 днів/10 років. Максимальна тривалість періоду з такою температурою дещо збільшувалась, особливо на Поліссі, проте цей ріст на переважній території країни був мало ймовірним та несуттєвим (табл. 4).

Кількість днів з морозом менше -20 °С і максимальна тривалість періоду з такими умовами зменшувалися практично на всій території країни,

за винятком деяких районів у південному Степу, проте ці зміни також були несуттєвими та мало-ймовірними (лише 33–66 %).

Значне підвищення температури повітря у холодний період привело до зменшення кількості днів, що потребують опалення на всій території країни. Дуже ймовірно, що у сучасний кліматичний період в Україні таких днів стало менше на 6–9 днів/10років (табл. 4). Проте ці зміни дуже нерівномірні на території країни і мають різну ймовірність. В АР Крим спостерігаються найбільші зміни опалювального сезону. У цьому регіоні кількість днів, що потребують опалення, ймовірно зменшувалася на 4–5 дні/10 років. На 2–4 дні/10 років імовірно зменшувалася кількість таких днів і на Закарпатті та в південному Степу. На решті території країни ці зміни становили 1–2 дні/10 років, проте у східному

Лісостепу та північному Степу вони були незначущими (табл. 4).

Значне підвищення температури повітря протягом року зумовило збільшення тривалості тепло-го періоду, про що свідчить зростання кількості теплих днів, коли середня за добу температура повітря перевищує 0 °С (табл. 5). Протягом останніх десятиріч (1981–2010) їх кількість у Лісостепу та Степу дуже ймовірно зростала на 7–11 і 6–9 днів/10 років, відповідно, а на Поліссі ймовірно на 4–8 днів/10 років.

Дуже ймовірно та ймовірно на всій території України зростає і кількість днів з вегетацією (6–11 днів/10 років) та активною вегетацією (3–8 днів/10 років). Інтенсивність цих змін зменшується із заходу на схід. Підвищення температури повітря зумовило також збільшення кількості літніх днів, коли серед-

Таблиця 5. Швидкість зміни (λ , днів/10 років) характеристик екстремальності термічного режиму в теплий період у 1981–2010 рр. і значущість цих змін (p) в областях України та країні загалом
Table 5. Trends (λ , days/10 year) of extremal characteristics of the thermal regime in the warm period for 1981–2010 and the significance of these changes (p) in the regions of Ukraine and the country as a whole

Область	КД $T_{cp} \geq 0$		КД $T_{cp} \geq 15$		КД $T_{max} \geq 25$		$P_{max} \geq 25$		КД $T_{min} \geq 20$		КД $T_{cp} \geq 5$		КД $T_{cp} \geq 10$	
	λ	p	λ	p	λ	p	λ	p	λ	p	λ	p	λ	p
Чернігівська	6,3	0,09	4,0	0,06	8,0	0,01	3,5	0,01	1,2	0,04	7,2	0,00	2,5	0,16
Сумська	6,8	0,05	4,0	0,08	7,9	0,01	3,8	0,00	1,4	0,02	7,1	0,01	2,9	0,11
Волинська	7,6	0,11	7,3	0,00	7,1	0,00	1,7	0,01	0,5	0,01	10,5	0,01	6,6	0,01
Рівненська	4,2	0,25	5,2	0,01	5,2	0,02	1,9	0,02	0,5	0,00	7,3	0,01	3,2	0,07
Житомирська	6,1	0,11	4,8	0,02	8,2	0,00	2,5	0,01	0,7	0,01	7,9	0,00	3,3	0,07
Київська	6,0	0,1	3,3	0,09	9,2	0,00	3,5	0,00	2,2	0,00	7,5	0,01	3,6	0,05
Львівська	8,4	0,07	8,4	0,00	6,5	0,00	1,1	0,03	0,3	0,00	10,6	0,01	6,5	0,01
Хмельницька	10,2	0,03	7,6	0,00	8,2	0,00	1,6	0,09	0,5	0,00	10,8	0,01	7,4	0,01
Полтавська	6,7	0,05	2,3	0,22	6,6	0,03	3,3	0,01	3,7	0,00	7,9	0,01	4,1	0,05
Харківська	8,1	0,03	3,0	0,15	7,4	0,02	3,5	0,01	3,0	0,01	7,0	0,01	4,3	0,05
Тернопільська	6,4	0,08	6,6	0,00	6,5	0,00	1,2	0,04	0,7	0,00	7,5	0,01	4,4	0,01
Черкаська	11,0	0,02	6,2	0,00	10,4	0,00	2,8	0,02	1,8	0,01	11,5	0,01	7,2	0,01
Луганська	8,9	0,02	2,1	0,30	5,8	0,06	2,9	0,02	2,4	0,01	6,0	0,02	3,4	0,13
Вінницька	6,2	0,08	4,3	0,02	6,4	0,02	2,5	0,02	0,8	0,00	7,1	0,01	3,7	0,04
Івано-Франківська	9,1	0,04	8,5	0,00	5,7	0,00	1,1	0,01	0,1	0,12	8,3	0,02	7,3	0,00
Кіровоградська	7,1	0,04	2,5	0,13	8,9	0,00	2,8	0,03	2,9	0,00	7,9	0,01	3,8	0,05
Дніпропетровська	6,7	0,06	2,3	0,22	6,4	0,03	3,2	0,02	3,5	0,00	7,2	0,01	4,3	0,03
Донецька	9,1	0,01	2,8	0,15	8,4	0,00	3,5	0,01	5,3	0,00	6,3	0,02	4,0	0,05
Закарпатська	4,6	0,06	6,3	0,00	6,7	0,00	0,5	0,38	0,5	0,00	6,4	0,01	5,0	0,00
Чернівецька	10,9	0,01	10,5	0,00	9,0	0,00	1,8	0,01	1,1	0,01	10,4	0,01	8,3	0,00
Одеська	7,6	0,04	5,1	0,01	10,3	0,00	2,5	0,05	6,1	0,00	10,7	0,00	6,9	0,02
Запорізька	8,5	0,01	3,1	0,08	5,9	0,02	2,8	0,02	5,4	0,00	7,9	0,01	4,4	0,02
Миколаївська	6,3	0,05	2,3	0,19	7,4	0,01	2,7	0,05	4,6	0,00	9,2	0,00	5,2	0,01
Херсонська	7,1	0,03	3,2	0,06	7,3	0,00	2,0	0,10	7,1	0,00	8,7	0,01	5,5	0,01
АР Крим	5,7	0,03	5,7	0,00	10,1	0,00	2,8	0,01	7,1	0,00	9,1	0,00	7,4	0,00
У к р а ї н а	9,7	0,01	3,9	0,01	7,6	0,00	5,5	0,00	3,2	0,00	1,8	0,10	3,0	0,05

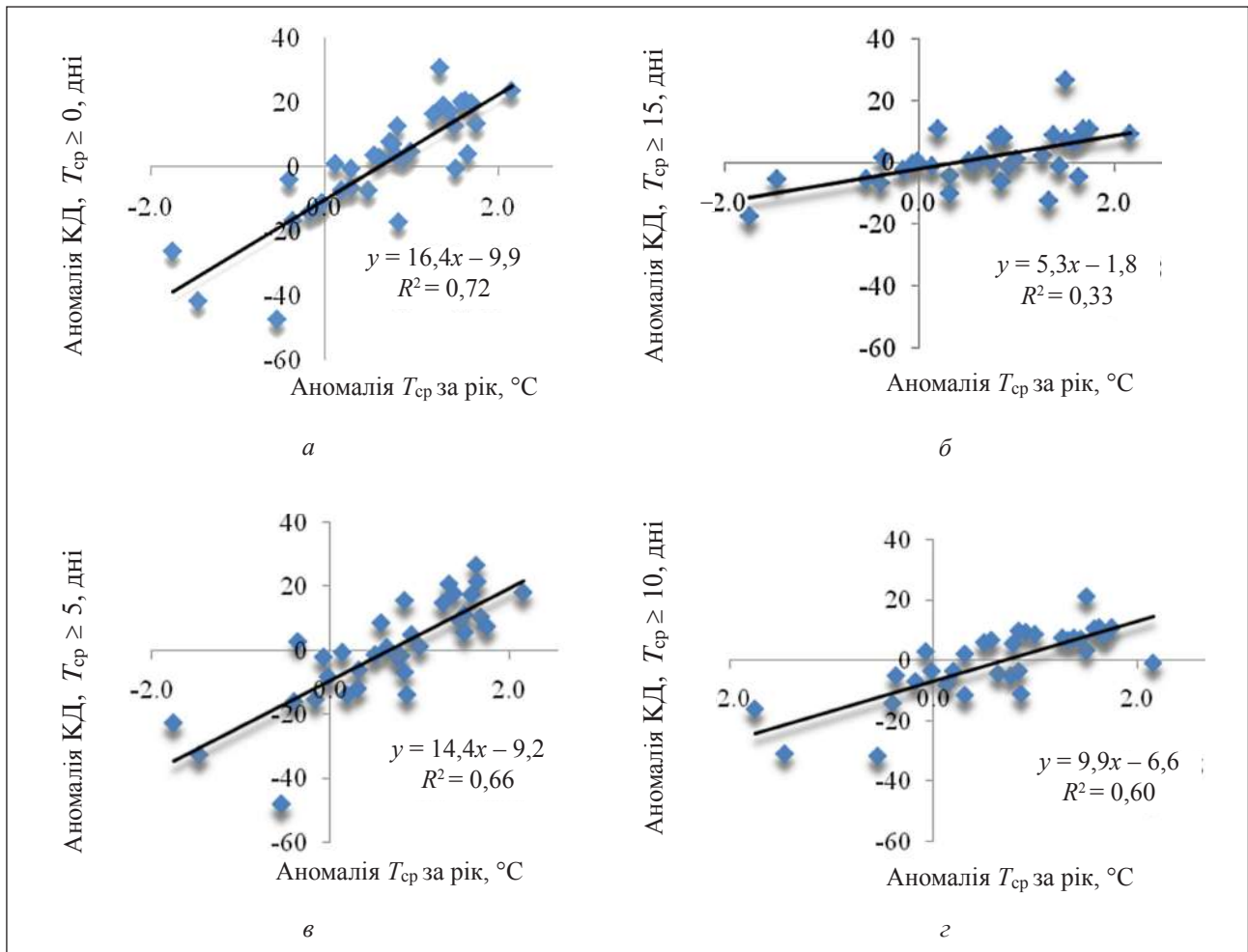


Рис. 11. Залежність річної аномалії кількості теплих (а), літніх днів (б) та днів з вегетацією (в) і активною вегетацією (г) від аномалії середньої за рік температури повітря

Fig. 11. Correlation between the anomaly of the average annual air temperature and the annual anomaly of the amount of warm (a), summer days (б), growing days (в), active growing days (г)

ня за добу температура повітря перевищує 15 °C (табл. 5). Це зростання практично не викликає сумнівів на заході країни і становить 7–10 днів/10 років, дуже ймовірно у північних і південних областях (3–5 днів/10 років) і ймовірно у центральних та східних (2–3 дні/10 років).

З імовірністю 90–99 % можна стверджувати, що на всій території України зростає кількість спекотних днів, коли максимальна температура повітря перевищує 25 °C (табл. 5). Швидкість зміни становить 5–10 днів/10 років і найінтенсивнішою є у Степу та центральному і східному Лісостепу (7–10 днів/10 років). Збільшується також максимальна тривалість періоду з такою температурою. Подібні зміни дуже ймовірні майже на всій території країни, за винятком північних і східних областей, де вони практично не викликають сумнівів.

Практично не викликає сумнівів і зростання кількості тропічних ночей майже на всій території країни: від 3–5 днів/10 років на заході країни до 10–14 днів/10 років на північному сході (див. табл. 4). Ніч вважають тропічною, якщо мінімальна за добу температура повітря перевищує 20 °C. Винятком є

Чернігівська, Сумська та Житомирська області, де ці зміни дуже ймовірні, та Івано-Франківська, де вони ймовірні.

Аналіз зв'язку аномалії середньої за рік температури повітря та аномалій кліматичних показників термічного режиму підтвердив наявність безпосереднього впливу збільшення тривалості теплої та вегетативного періодів, кількості літніх днів на інтенсивність підвищення середньої за рік температури повітря (рис. 11). Виявлено, що аномалія середньої за рік температури повітря найбільше залежить від кількості теплих днів (коефіцієнт кореляції $r = 0,85$) та кількості днів, коли середня за добу температура повітря перевищує 5 °C ($r = 0,81$). Суттєво впливає на аномалію середньої за рік температури повітря і збільшення кількості днів із середньою за добу температурою повітря понад 10 і 15 °C ($r = 0,77$ та $r = 0,58$ відповідно). Встановлено, що підвищення середньої за рік температури повітря на 1 °C/10 років в Україні свідчить про збільшення кількості теплих днів, днів, сприятливих для розвитку вегетації та активної вегетації, – на 6–7 за цей період і збільшення на 4 дні/10 років кількості літніх днів (рис. 11).

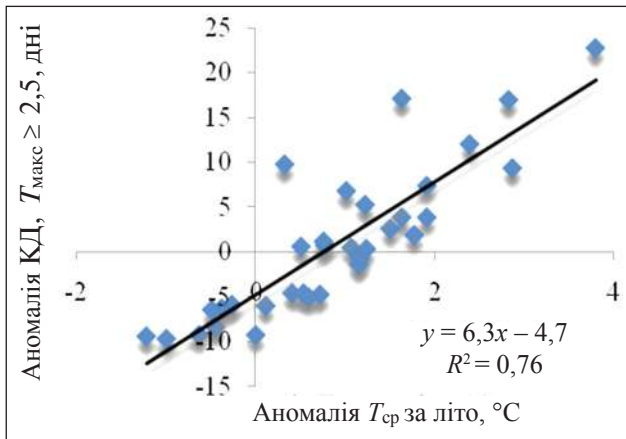


Рис. 12. Залежність річної аномалії кількості спекотних днів від аномалії середньої за літо температури повітря

Fig. 12. Correlation between the anomaly of the average summer air temperature and the anomaly of the amount of hot days

Виявлено тісний зв'язок ($r = 0,87$) між кількістю спекотних днів з максимальною температурою більш як $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і середньою температурою повітря за літо (рис. 12). Установлено, що збільшення на 8 днів/10 років кількості спекотних днів приводить до підвищення середньої за літо температури повітря на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 12).

Висновки. У сучасний кліматичний період в Україні спостерігаються суттєві зміни кліматичних показників термічного режиму, які привели до зміни їх середніх багаторічних значень і, відповідно, до зміни кліматичної норми відносно базового кліматичного періоду. Такі зміни потребують їх урахування у виробничій діяльності кліматозалежних галузей економіки країни і насамперед у тих регіонах, де їх імовірність найбільша. Подальші дослідження полягають в оцінюванні можливих регіональних змін термічного режиму для різних сценаріїв розвитку суспільства та викидів парникових газів, оцінюванні соціально-екологічних і соціально-економічних наслідків їхньої зміни.

Список бібліографічних посилань

1. Балабух В.О., Лавриненко О.М., Малицька Л.В. Особливості термічного режиму 2013 року в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2014. № 14. С. 30-46.

2. Базалеєва Ю.О., Балабух В.О. Повторюваність, тривалість та інтенсивність блокувальних процесів, що зумовлюють аномальні погодні умови в Україні. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2016. Вип. 268. С. 44-50.
3. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 599 с.
4. Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень: кол. монографія. К.: Ніка-Центр, 2013. 308 с.
5. Клімат України: кол. монографія. К.: Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
6. Кліматичний кадастр України. К.: Центральна геофізична обсерваторія, 2006. 1 електрон. опт. диск (CD-ROM).
7. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: кол. монографія. Одеса: ТЕС, 2015. 520 с.
8. Третье, четвертое и пятое национальные сообщения Украины по вопросам изменения климата, подготовленные на выполнение статей 4 и 12 Рамочной конвенции ООН об изменении климата и статьи 7 Киотского протокола. URL: http://unfccc.int/resource/docs/natc/ukr_nc5.pdf (дата обращения 20.06.2017)
9. Шевченко О.Г. Прояв зміни клімату на території м. Києва та основні підходи до його адаптації. *Часопис картографії*. 2017. № 17. С. 108–122.
10. Шестое национальное сообщение Украины по вопросам изменения климата, подготовленное на выполнение статей 4 и 12 Рамочной конвенции ООН об изменении климата и статьи 7 Киотского протокола URL: http://unfccc.int/files/national_reports (дата обращения 17.06.2017)
11. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC Working Group I Contribution to AR5: Approved Summary for Policymakers. *WMO-IPSS*. 2013. p.204 URL:http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf (дата обращения 10.04.2017)
12. Klein Tank A.M.G., Zwiers F.W., Zhang X. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. *WMO.TD*. N 1500. 2009. 56 p.
13. Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H. Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology*. 2014. Vol. 34(5). P. 1642–1650.
14. The role of climatological normals in a changing climate. *WMO. TD*. N 1377. 2007. 46 p.

Надійшла до редакції 26.07.2017 р.

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА УКРАИНЫ

В.А. Балабух, Л.В. Малицкая

Український гідрометеорологічний інститут ГСЧС і НАН України, просп. Науки, 37, г. Київ, 03028, Україна, e-mail: balabukh@uhmi.org.ua, m_alitsk_a@i.ua

Исследуются характерные черты термического режима в Украине в современный климатический период (1981–2010) и его особенности относительно базового климатического периода (1961–1990). Уточнены тенденции изменений климатических средних и показателей экстремальности термического режима на рубеже XX–XXI вв. Для каждой административной области и страны в целом оценена статистическая значимость, вероятность и доля неопределенности выявленных изменений. Выявлены существенные изменения климатических

показателей термического режима, которые привели к изменению их средних многолетних значений в современный климатический период и, соответственно, к изменению климатической нормы относительно базового климатического периода. Установлена зависимость между величиной аномалии средней за год температуры воздуха и аномалиями показателей термического режима.

Ключевые слова: термический режим, климатическая норма, региональные изменения климата, современный климатический период.

ASSESSMENT OF THE CURRENT CHANGES IN THE THERMAL REGIME OF UKRAINE

V.O. Balabukh, L.V. Malitskaya

Ukrainian Hydrometeorological Institute SSU and NAS of Ukraine, 37, Prospect Nauky, Kyiv, 03028, Ukraine, e-mail: balabukh@uhmi.org.ua, m_alitsk_a@i.ua

Purpose The aim of the study is to assess the state and the current changes of meteorological parameters of the thermal regime in Ukraine through the current climatic period (1981–2010).

Design/ methodology/ approach The research of features and changes of the thermal regime, and the characteristics of its extreme was conducted for the period of 1981–2010 using the daily data on the average, minimum and maximum surface temperature from the 187 meteorological stations across Ukraine. Based on the daily observation data, we calculated the characteristics of the thermal regime: average, minimum and maximum per year and season air temperature, the number of warm, summer and hot days, tropical nights, frost days and days with frost below $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, the number of days, favourable for vegetation and days requiring heating, the maximum duration of the hot period and period of extreme cold. For each meteorological parameter the current climatic norm (1981–2010), rate and direction of changes, its significance and reliability were determined for all regions of Ukraine and the country as a whole. The reliability of the change was evaluated according to Student's t-test.

Findings The article considers the characteristics of thermal regime in Ukraine in the current climatic period (1981–2010) and its features relative to the basic climatic period (1961–1990). We have also specified the trends of change in long-term values of average and extreme characteristics of the thermal regime at the turn of the 20th and 21st centuries. The conducted analyses revealed that in 1981–2010 the climatic norms for the main parameters of the thermal regime rose against the values for the basic climatic period (1961–1990) due to significant increase in the air temperature. It was discovered that the air temperature in Ukraine increased throughout the year at a much faster pace than globally. Such changes in winter season led to a decrease in the cold period duration, the number of cool days and the number of days requiring heating. In the warm period, there is a tendency to increase the duration of the warm and summer periods and the period of vegetation, as well as the number of hot days and the duration of the hot period. These changes have regional peculiarities and increase from south to north. There is a relationship between the anomalies of the average annual air temperature and the anomalies of the climatic parameters of the thermal regime. We have found that an increase in the average annual temperature by $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ leads to an increase in the duration of warm and vegetative periods in Ukraine for 6–7 days per 10 years and the number of summer days for 4 days per 10 years. The growth of the average summer temperature by $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ causes an increase in the number of hot days for 8 days per 10 years. These dependencies have also regional features.

Practical value/ implications The identified regional features of the thermal regime in Ukraine and their changes must be taken into account in the production activities of the climate-dependent industries of the country's economy, above all in those regions where their probability is the greatest. The results can be used for assessing the socio-ecological and socio-economic impacts of climate change and climatic projections made for different greenhouse gas emission scenarios and community development.

Keywords: thermal regime, climatic norm, regional climate change, current climatic period.

References:

1. Balabukh V.O., Lavrynenko O.M., Malys'ka L.V. Features of the thermal regime of 2013 in Ukraine. *Ukrayins'kyi hidrometeorologichnyy zhurnal*, 2014, no. 14, pp. 30–46 [in Ukrainian].
2. Bazalyeyeva Yu.O., Balabukh V.O. Frequency, duration and intensity of the blocking processes, which causes anomal weather conditions in Ukraine. *Naukovi pratsi UkrNDHMI*, 2016, iss. 268, pp. 44–50 [in Ukrainian].
3. Sachs L. Statistische auswertungsmethoden. M., Statistika, 1976, 599 p. [in Russian].
4. Osadchyy V.I., Babichenko V.N., Nabyvanets' Yu.B., Skrynyuk O.Ya. Dynamika temperatury povitrya v Ukrayini za period instrumental'nykh meteorologichnykh sposterezhen'. Kyiv: Nika-Tsentr, 2013, 308 p. [in Ukrainian].
5. Lipins'kyi V.M., Dyachuk V.A., Babichenko V.M. Klimat Ukrayiny. Kyiv, Vydavnytstvo Rayevs'koho, 2003, 343 p. [in Ukrainian].
6. Klimatychnyy Kadastr Ukrayiny. [CD-ROM]. Kyiv: Tsentral'na Heofizychna Observatoriya, 2006 [in Ukrainian].
7. Stepanenko S.M., Pol'ovyy A.M., Loboda N.S. Klimatychni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrayiny. Odesa, TES, 2015, 520 p. [in Ukrainian].

8. Tret'e, chetvertoe i pyatoe natsyonal'nye soobshcheniya Ukrainy po voprosam izmeneniya klimata, podhotovlennoe na vypolnenye statey 4 y 12 Ramochnoy konventsii OON ob izmenenii klimata v stat'e 7 Kiotskoho protokola. 2009, 366 p. Available at: http://unfccc.int/resource/docs/natc/ukr_nc5.pdf (Accessed 20 June 2017) [in Russian].
9. Shevchenko O. Climate change manifestation on the territory of Kyiv and main approaches to its adaptation. *Chasopys kartohrafiyi*, 2017, no. 7, pp.108-122 [in Ukrainian].
10. Shestoe natsyonal'noe soobshchenie Ukrainy po voprosam izmeneniia klimata, podhotovlennoe na vypolnenie statei 4 y 12 Ramochnoy konventsii OON ob izmenenii klimata v stat'e 7 Kiotskoho protokola. 2012, 342 p. Available at: http://unfccc.int/files/national_reports (Accessed 17 June 2017) [in Russian].
11. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC Working Group I Contribution to AR5: Approved Summary for Policymakers. *IPSS*, 2013, 28 p. Available at: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf (Accessed 10 April 2017)
12. Klein Tank A.M.G., Zwiers F.W., Zhang X. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation, *WMO.TD*, 2009, no. 1500 , 56 p.
13. Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H. Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology*, 2014, vol. 34(5), pp. 1642-1650.
14. The role of climatological normals in a changing climate. *WMO. TD*, 2007, no. 1377, 46 p.

Received 26/07/2017