

УДК 551.583.1

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.03.021>**В. І. Осадчий¹, Е. Агуїлар², О. А. Скриник³, Д. О. Бойчук⁴, В. П. Сіденко⁴, О. Я. Скриник¹**¹Український гідрометеорологічний інститут, Київ²Центр дослідження кліматичних змін, СЗ, Університет Ровіра і Віргілі, Вела - сека (Тарагона), Іспанія³Національний університет біоресурсів та природокористування України, Київ⁴Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ДОБОВА АСИМЕТРІЯ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ*

У статті проведено аналіз сучасних змін екстремальної температури повітря в Україні. Для аналізу використано гомогенізовану базу даних середніх за місяць добових значень мінімальної та максимальної приземної температури, отриманих на 178 метеорологічних станціях за період 1946-2015 рр. Показано, що в рядах мінімальної та максимальної температури повітря та її добового діапазону характерні нелінійні регулярні тенденції (тренди). Для першої половини досліджуваного періоду (1946-1980 рр.) зміни за інтенсивністю та за напрямом істотно інші порівняно з його другою половиною (1981-2015 рр.). Крім того, для кожного з періодів тренди мінімальної та максимальної температури значно відрізняються, що призводить до значної добової асиметрії кліматичних змін температурного режиму України. Досліджено сезонні та просторові особливості виявлених температурних тенденцій. Проаналізовано вплив кліматологічної неоднорідності первинної інформації (рядів даних екстремальної температури) на оцінку трендів у часових рядах.

Ключові слова: екстремальна (мінімальна, максимальна) температура повітря; добовий діапазон температури; кліматичні зміни; добова асиметрії температурних змін.

V. Osadchyi¹, E. Aguilar², O. Skrynyk³, D. Boichuk⁴, V. Sidenko⁴, O. Skrynyk¹¹Ukrainian Hydrometeorological Institute, Kyiv²Center for Climate Change, C3, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona (Spain)³National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv⁴Taras Shevchenko National University of Kyiv

DAILY ASSYMETRY OF AIR TEMPERATURE CHANGES IN UKRAINE

The analysis of extreme air temperature trends observed in Ukraine has been conducted. In our analysis we have used a homogenized dataset of monthly mean of daily minimum, T_n , and maximum, T_x , air temperature collected at 178 climatological stations during the period of 1946-2015. Our results has revealed non-linear tendencies (trends) of extreme air temperature and its daily range (DTR). During the first half of the studied period (namely, 1946-1980) completely different tendencies of T_n , T_x and DTR have been observed comparing to its second half (1981-2015). Moreover, the trends for minimum temperature also significantly differ from the ones for maximum temperature, what leads to a considerable daily asymmetry of temperature changes in Ukraine. Seasonal and spatial features of the revealed temperature tendencies have been studied in details. Besides, we have analyzed the influence of an inhomogeneity of raw time series on their trends.

Keywords: extreme (minimum, maximum) air temperature; DTR; climate change; diurnal asymmetry of temperature changes.

Актуальність теми дослідження

Дослідження змін клімату та його мінливості є важливим науковим завданням. З кожним роком збільшується кількість фактів, які свідчать про

різкі сучасні кліматичні трансформації у регіональному та глобальному масштабах [1]. Такі зміни викликають занепокоєння як на побутово-му рівні (оскільки вони є відчутними вже прак-

*Публікацію підготовлено за результатами виконання наукового проекту «Розроблення наукових засад комплексного використання водних ресурсів України в умовах регіональних кліматичних змін» у рамках Цільової комплексної міждисциплінарної програми наукових досліджень НАН України з розроблення наукових засад раціонального використання природно-ресурсного потенціалу та сталого розвитку. Номер реєстрації договору 0115U004253.

тично для всіх жителів планети), так і на експертному (де оперують не відчуттями, а цифрами). Є чітке розуміння, виражене у різних глобальних кліматичних угодах, що необхідно розробляти і впроваджувати контр-, чи хоча б – адаптаційні заходи, оскільки у більшості випадків кліматичні зміни мають негативні наслідки як для життєдіяльності людини, так і для природи.

Визначальними характеристиками клімату певного фізико-географічного регіону є його температурний режим та режим опадів [2]. Тому їх дослідженню приділено найбільше зусиль кліматологів. Основними характеристиками температурного режиму є екстремальна (мінімальна/нічна – T_n і максимальна/денна – T_x) та середня (за добу, місяць, рік) температура. Регулярні (направлені) зміни температури повітря, її екстремальних значень та інших пов'язаних з нею показників (наприклад, дат переходу температури через різні порогові значення та тривалості відповідних періодів) мають великий вплив на життєдіяльність людини, на різні сектори економіки, серед яких найуразливішим є, напевне, сільське господарство. Для розроблення та впровадження адаптаційних заходів необхідно мати коректні/точні оцінки величини температурних трансформацій. Проте їх можна визначити тільки на основі добре перевірених (таких, що пройшли надійний контроль якості) та гомогенізованих кліматологічних даних [1, 3].

Стан вивчення питання

Кліматологічні особливості температурного режиму України, чинники його формування досліджують давно. Отримано багато вагомих результатів, узагальнених у монографіях (напр., [2, 4]). Окремо слід виділити роботи групи дослідників Українського гідрометеорологічного інституту під керівництвом В. М. Бабіченко, які можна вважати класичними.

Активно досліджують також і сучасні кліматичні зміни температурного режиму України [2, 5-10].

Слід відмітити, що для виявлення змін та оцінювання їх величини використовують, в основному, середню (не екстремальну) температуру повітря. Проте, для повноти знань про трансформацію температурного режиму певної території необхідно досліджувати також і мінімальну та максимальну температуру. Такі дослідження важливі, оскільки є багато публікацій, в яких відміча-

ється добова асиметричність температурних змін для різних країн чи регіонів (напр., [1, 11, 12]).

Тенденції зміни екстремальної температури повітря в Україні за останні десятиріччя були досліджені у деяких роботах (напр., [8, 13-16]). Проте дослідження було проведено окремо для мінімальної та максимальної температури і відмінності у їх тенденціях не було проаналізовано.

Основна мета цієї публікації – викласти виявлені особливості регулярних змін мінімальної (нічної) та максимальної (денної) температури повітря в Україні та їх відмінності (добову асиметрію) за період 1946-2015 рр. на основі перевірених та гомогенізованих емпіричних даних, а також з'ясувати, як впливає кліматологічна неоднорідність первинних даних на отримання коректних оцінок кліматичних змін температурного режиму.

Дані та методи дослідження

У дослідженні було використано дані 178 метеорологічних станцій України, які складають основу сучасної моніторингової мережі. Історичні дані про середні за місяць значення мінімальної та максимальної температури повітря для періоду 1946-1965 рр. було оцифровано із довідників [17, 18]. Дані для періоду 1966-2015 рр. з добовою роздільною здатністю було отримано в Центральній геофізичній обсерваторії у цифровому форматі. Для розрахунку середніх за місяць значень використано рекомендації Всесвітньої метеорологічної організації [19]. Перед проведенням аналізу первинні дані було гомогенізовано (вилучено кліматологічну неоднорідність – станційні сигнали).

Детальний опис використаної бази даних та результатів її гомогенізації викладено в [20].

Крім рядів мінімальної та максимальної температури повітря, було розраховано та проаналізовано часові ряди осереднених за місяць значень DTR (diurnal temperature range – добового діапазону температури), що визначається як різниця між добовими значеннями T_x та T_n . Слід зауважити, що DTR є одним із показових та важливих індикаторів кліматичних змін температурного режиму (напр., [1]).

Апроксимаційні моделі часових рядів (лінійні та квадратичні) розраховано методом найменших квадратів [21]. Для порівняльного оцінювання апроксимаційних моделей було розраховано зна-

чення відповідних коефіцієнтів детермінації (R^2). Зазначимо, що R^2 є простою та зручною мірою адекватності вибраної апроксимаційної моделі: чим ближче значення R^2 до 1, тим краще апроксимаційна модель описує часовий ряд (тим більшу частину дисперсії ряду «вловлює» модель). Статистичну значущість лінійних трендів було оцінено за допомогою t-тесту Стьюдента [22] на 5-% рівні значущості. Розраховані коефіцієнти лінійних трендів проінтерпольовано у вузли регулярної сітки методом звичайного крігінгу [23] та побудовано карти для наочного представлення результатів.

Виклад основного матеріалу

Для проведення аналізу було використано сезонні та річні ряди T_n , T_x та DTR, які розраховано для кожної окремої станції з середніх за місяць значень. Для виявлення найзагальніших тенденцій досліджуваних характеристик загалом для території України було проведено осереднення сезонних та річних рядів за всіма 178 станціями та отримано просторово осереднені для території України (national mean) часові ряди.

Просторово осереднені для території України часові ряди річних даних

Осереднені для території України річні дані мінімальної, максимальної температури повітря та її добового діапазону представлено на *рис. 1*. Для полегшення порівняльного візуального аналізу графіки для T_n та T_x приведені до однакового масштабу по осі ординат (до однакової довжини діапазону значень, а саме $6\text{ }^\circ\text{C}$). Незважаючи на наявність інтенсивної шумової компоненти, з візуального аналізу рисунків з очевидністю можна зробити висновок про нелінійний хід (нелінійну динаміку) регулярних змін досліджуваних показників. Загалом для території України в першій частині періоду 1946-2016 рр. спостерігалися менш інтенсивні зміни (зростання для T_n та спадання для T_x) порівняно з другою частиною, де значення обох екстремальних температур інтенсивно зростали. Зазначені вище тенденції T_n та T_x визначили часову динаміку DTR: зниження у першій частині досліджуваного періоду та зростання у другій з приблизно однаковою швидкістю.

Для кількісного підтвердження/обґрунтування припущення про нелінійність направлених змін було розраховано лінійні та поліноміальні (квадратичні) апроксимації рядів та відповідні значення коефіцієнтів детермінації (R^2), які також

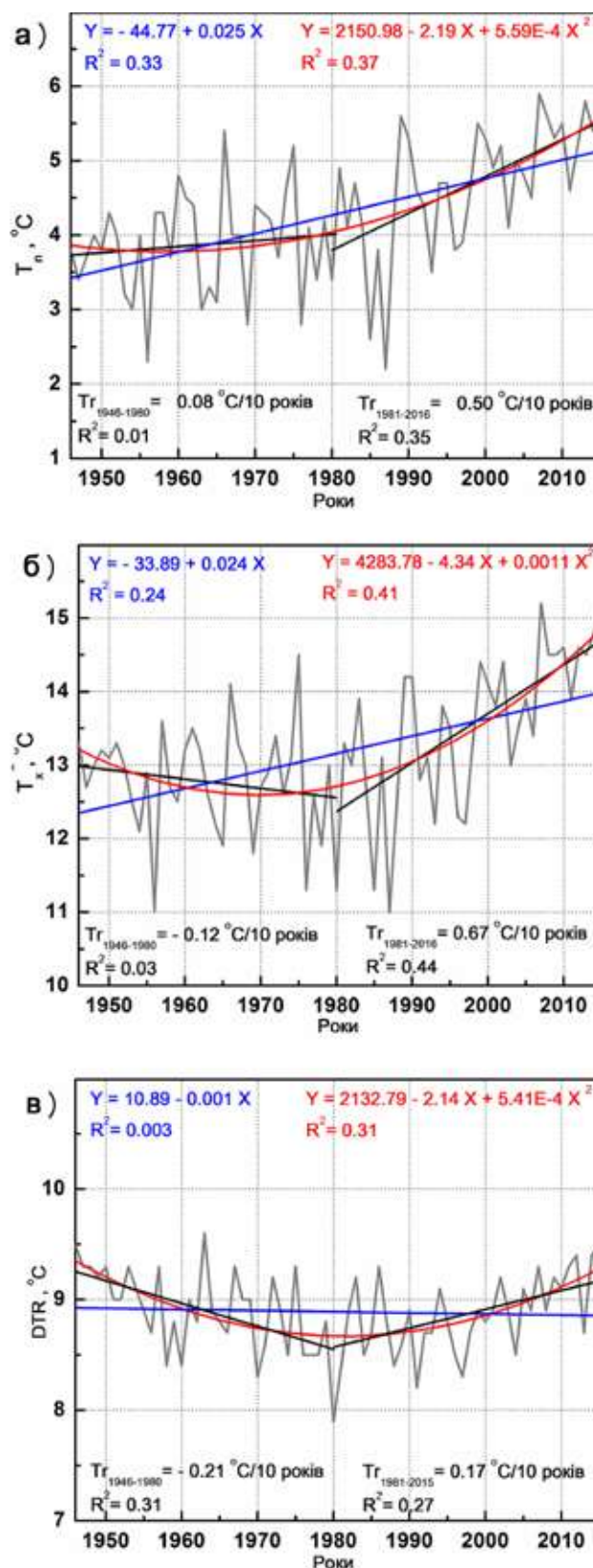


Рис. 1. Просторово осереднені для території України (178 станцій) часові ряди річних значень мінімальної T_n (а), максимальної T_x (б) температури, її добового діапазону DTR (в) та їх апроксимації.

представлені на рисунку. Порівняння значень R^2 повністю підтверджує зроблене вище припущення про наявність нелінійних трендів: квадратичні апроксимації є більш адекватними для моделювання/опису досліджуваних часових рядів ніж лінійні, якщо ряди розглядати за весь період 1946-2015 рр. Наприклад, для T_n коефіцієнт детермінації для квадратичної моделі дорівнює 0.37, в той час як для лінійної – 0.33. Для T_x та DTR відмінності у значеннях R^2 є ще більшими – 0.41/0.24 та 0.31/0.003.

Враховуючи вище зазначене, вважаємо за необхідне розділити весь період 1946-2015 рр. на дві рівні частини (1946-1980 та 1981-2015 рр.) з кардинально різною динамікою температурних тенденцій. Зазначимо, що таке розділення є доволі умовним, оскільки точки мінімум для квадратичних апроксимацій відрізняються для T_n , T_x та DTR. Фізичні процеси, що спричинювали зміни у T_n та T_x , можуть бути різними, тому і точки зміни тенденцій можуть відрізнятися. Проте таке розділення дає змогу провести певні узагальнення й отримати кількісні оцінки регулярних тенденцій на кожному з проміжків і, очевидно, здійснити порівняльний аналіз. Також це забезпечує можливість оцінити: зміни якої з екстремальних температур (мінімальної чи максимальної) були причиною різкої зміни динаміки DTR.

Після розділення, на кожному із проміжків було розраховано лінійні апроксимації та визначено їх кутові коефіцієнти (коефіцієнти лінійних трендів, T_r). Як видно з результатів розрахунків (наведені на *рис.1*), мінімальна температура загалом на території України залишалась майже незмінною у 1946-1980 рр. (незначне зростання зі швидкістю $T_r = 0.08$ °C/10 років), в той час як у 1981-2015 рр. вона інтенсивно зростала ($T_r = 0.50$ °C/10 років). Максимальна температура у 1946-1980 рр. знижувалася ($T_r = -0.12$ °C/10 років), а у 1981-2015 роках – зростала ($T_r = 0.67$ °C/10 років), причому з інтенсивністю значно вищою порівняно з мінімальною температурою. Незначне зростання T_n і зниження T_x у 1946-1980 рр. призвело до значного зменшення добового діапазону температури зі швидкістю $T_r = -0.21$ °C/10 років. Проте у 1981-2015 рр. інтенсивніше зростання T_x порівняно із T_n було причиною зміни динаміки DTR зі зниження до зростання ($T_r = 0.17$ °C/10 років). Наявність значних (відмінних від нульових) трендів у

DTR є свідченням істотної добової асиметрії кліматичних змін температурного режиму України.

Відмітимо, що оцінку статистичної значущості лінійних трендів у осереднених для території України часових рядах буде здійснено для кожної окремої станції при розгляді просторових особливостей кліматичних змін екстремальної температури.

Зазначимо також, що виявлені тенденції регулярної динаміки DTR не узгоджуються з результатами, опублікованими в [12], де для території України для періоду 1950-2005 рр. було показано, що лінійна апроксимація ряду річних значень DTR є кращою ніж поліноміальна (будь-якого порядку від 2-го до 4-го) і отримано зниження добового діапазону температури для всього періоду. При цьому слід взяти до уваги, що у цій роботі для оцінювання динаміки DTR використано дані лише 9 станцій, що може бути причиною відмінності результатів.

Сезонні особливості середньої для території України добової асиметрії температурних тенденцій

Сезонні ряди середньої для території України екстремальної температури та її добового діапазону представлено на *рис. 2*. Аналогічно з *рис. 1* всі графіки для T_n та T_x було побудовано з однаковим масштабом по осі ординат (з однаковою довжиною діапазону значень, у цьому випадку – 12 °C). Масштаб по осі ординат для графіків DTR усіх сезонів складав 4 °C. Як і для річних рядів, для сезонних також було розраховано лінійні апроксимації (тренди) окремо для двох часових проміжків: 1946-1980 та 1981-2015 років.

Сезонні особливості регулярної динаміки T_n та T_x подібні до річних даних: її інтенсивність у другій половині досліджуваного періоду є значно більшою ніж у першій. Проте є особливості, на які слід звернути увагу.

1) У 1946-1981 рр. мінімальна температури хоч і не дуже інтенсивно та все ж зростала у всі сезони, за винятком літа. Максимальна температура, навпаки, – знижувалась у всі сезони, за винятком зими. Найінтенсивніші зміни (зниження зі швидкістю $T_r = -0.58$ °C/10 років) у першій половині досліджуваного періоду було у T_x у літній сезон.

2) У 1981-2015 рр. обидва температурні показники інтенсивно зростали у всі сезони року, най-

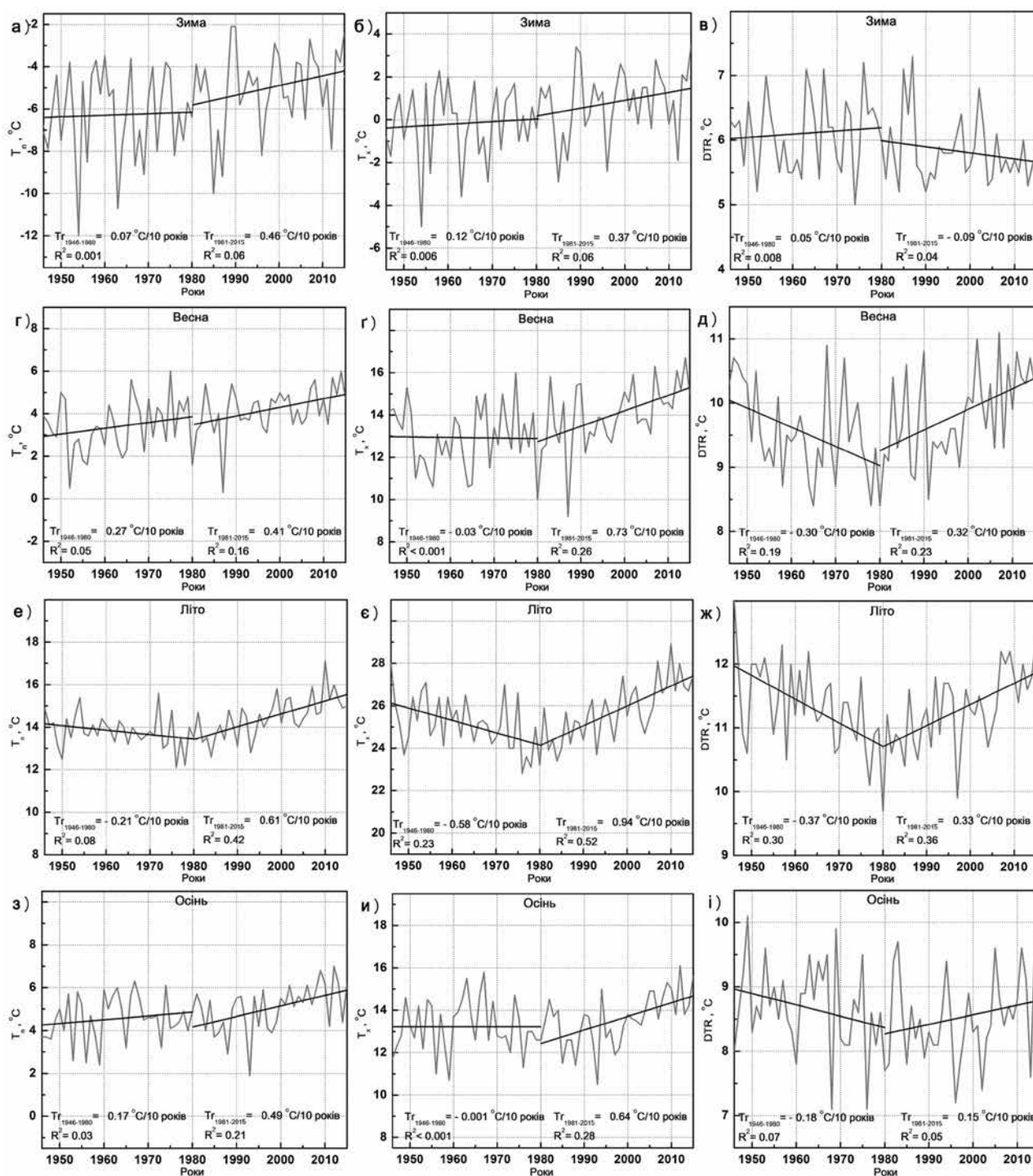


Рис. 2. Сезонні часові ряди просторово осереднених для території України даних мінімальної T_n (а, г, е, з), максимальної T_x (б, р, с, и) температури, її добового діапазону DTR (в, д, ж, і) та їх лінійні апроксимації для періодів 1946-1980 та 1981-2015 років.

більші швидкості їх зростання відмічено влітку ($T_g = 0.61 \text{ °C}/10 \text{ років}$ для T_n та $T_g = 0.94 \text{ °C}/10 \text{ років}$ для T_x).

За винятком зими, у всі інші сезони максимальна температура другої половини досліджуваного

періоду зростала швидше ніж мінімальна.

Сезонні особливості регулярних тенденцій DTR цілком визначаються динамікою екстремальних температур. У всі сезони, крім зими, відбувалося зниження DTR у першій полови-

ні періоду (1946-2015 рр.) та зростання у його другій половині. Тобто, у зазначені сезони у 1946-1980 рр. мінімальна температура зростала швидше ніж максимальна (як навесні та восени), або знижувалась повільніше (як улітку). У 1981-2015 рр. ситуація була прямо протилежною: T_x зростала швидше ніж T_n .

Окремо слід виділити зиму, де динаміка DTR відрізняється від інших сезонів: незначне зростання у 1946-1980 рр., що супроводжувалося незначним зниженням у 1981-2015 рр. Слід також відмітити істотні відмінності між зимовим та літнім сезонами у динаміці температурних тенденцій, що може впливати на зміну типу континентальності клімату України [5].

Відмінності у сезонних тенденціях T_n та T_x та сезонна динаміка DTR показують, що істотна добова асиметрія кліматичних змін температурного режиму має місце у кожному сезоні.

Просторові особливості добової асиметрії кліматичних змін температурного режиму України

Просторовий розподіл розрахованих значень коефіцієнтів лінійних трендів річних рядів T_n , T_x та DTR представлено на *рис. 3*. Для полегшення порівняльного аналізу всі карти було приведено до однієї шкали значень коефіцієнтів лінійних трендів.

Майже на всій території України у першій половині досліджуваного періоду (1946-1980 рр.) річні значення мінімальної температури повітря зростали, а максимальної – знижувалися. Проте, як видно з рисунка, всі тренди у річних рядах T_n та T_x для цього періоду є незначущими.

Зазначимо, що разом з тим для періоду 1981-2015 рр. всі тренди значущі, що підтверджує зроблений вище висновок про істотніші зміни температурних тенденцій у другій половині періоду 1946-2015 рр.

Незначущі зміни у T_n та T_x у 1946-1981 рр. завдяки своїй протилежній спрямованості призвели до значущих змін у DTR (відповідно до статистичних розрахунків, для рядів DTR тренд незначущий за умови $-0.15 \leq Tr \leq 0.15$, °C/10 років).

Як видно з рисунка, у 1946-1980 рр. статистично значуще зниження DTR було відмічено на більшій частині території України, причому на заході та півдні абсолютні значення трендів були більшими порівняно з іншими регіонами, досягаючи значень $Tr \sim -0.40$ °C/10 років.

У період 1981-2015 рр. на всій території Украї-

ни було відмічено істотне і статистично значуще зростання мінімальної та максимальної температури. Для T_n діапазон значень коефіцієнтів лінійних трендів складає $0.35 \div 0.62$ °C/10 років з максимальними значеннями у центральній та східній частинах країни. Діапазон значень трендів у річних рядах T_x є дещо іншим: $0.50 \div 0.82$ °C/10 років. При цьому область максимальних значень також є іншою і знаходиться у південній частині країни. Проте загальні картини просторових особливостей зростання T_n та T_x є досить подібними: найменші значення трендів було відмічено у західній частині України (за винятком Закарпаття).

За рахунок інтенсивнішого зростання T_x порівняно з T_n у 1981-2015 рр. DTR зростало на всій території України. Проте у деяких регіонах (частини територій Житомирської, Вінницької, Полтавської та Донецької областей) таке зростання не є статистично значущим. Загалом, лінійні тренди у річних рядах DTR на території України знаходяться у межах $0.02 \div 0.37$ °C/10 років.

Отже, статистично значуща добова асиметрія температурних змін проявляється на більшій частині території України.

Вплив кліматологічної неоднорідності на лінійні тренди

Для з'ясування впливу кліматологічної неоднорідності первинної інформації на оцінювання температурних тенденцій (значення коефіцієнтів лінійних трендів) було розраховано лінійні тренди також і для негомогенізованих річних даних. Результати розрахунків представлено на *рис. 4*.

Як видно з порівняння рисунків 3 та 4, для первинних даних різко збільшується просторова неоднорідність розрахованих тенденцій. Виявлено локальні області невеликих просторових масштабів, де значення коефіцієнтів лінійних трендів істотно відрізняється від суміжних територій.

Крім того, для деяких станцій змінюється не тільки величина тренду, а й його знак. Також значно збільшуються розміри областей, де коефіцієнти лінійних трендів є незначущими. Очевидно, що це не властиво клімату, і це не є проявом мікрокліматичних особливостей.

Зазначимо, що часові ряди екстремальної температури повітря, отриманої на території України, зазнають такого ж впливу кліматологічної неоднорідності, як і ряди середньої (не екстремальної) температури [24, 25] і цей вплив слід обов'язково враховувати при оцінюванні кліматичних змін.

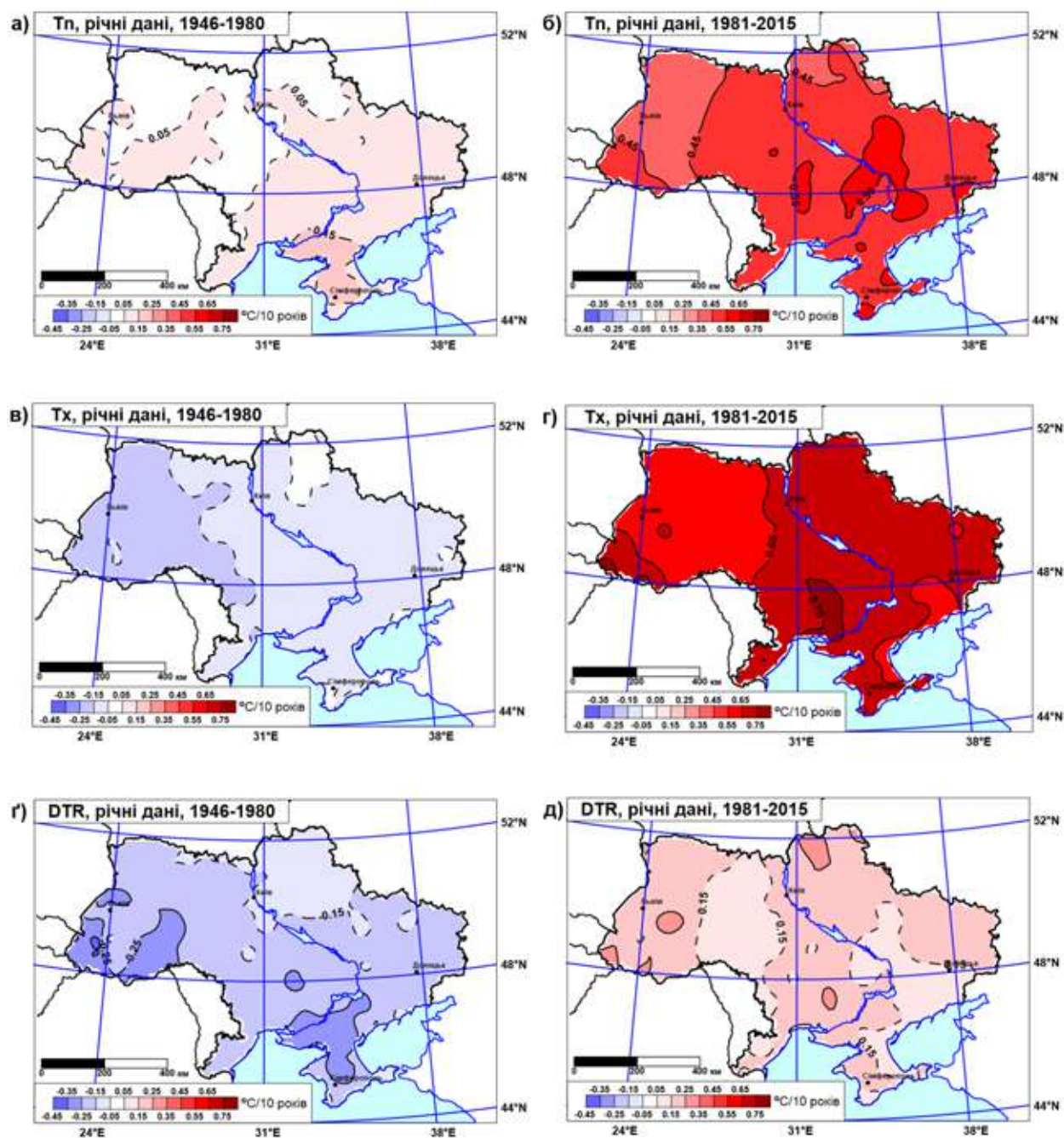


Рис. 3. Просторовий розподіл коефіцієнтів лінійних трендів річних даних мінімальної T_n (а, б), максимальної T_x (в, г) температури, її добового діапазону DTR (г, д) для періодів 1946-1980 рр. (ліва панель) та 1981-2015 рр. (права панель); області з статистично значущими трендами позначені суцільними контурними лініями, незначущими – штриховими.

Можливі причини добової асиметрії кліматичних змін приземної температури повітря

Факторами, що спричиняють добову асиметрію в кліматичних змінах температурного режиму України, можуть бути зміни хмарного покриву, сонячної радіації, кількості аерозольної компо-

ненти в атмосферному повітрі. Можуть впливати також і зміни підстильної поверхні (тип рослинності чи землекористування). Проте детальне дослідження причин добової асиметрії кліматичних змін температурного режиму виходить за рамки цієї публікації. Необхідно провести доклад-

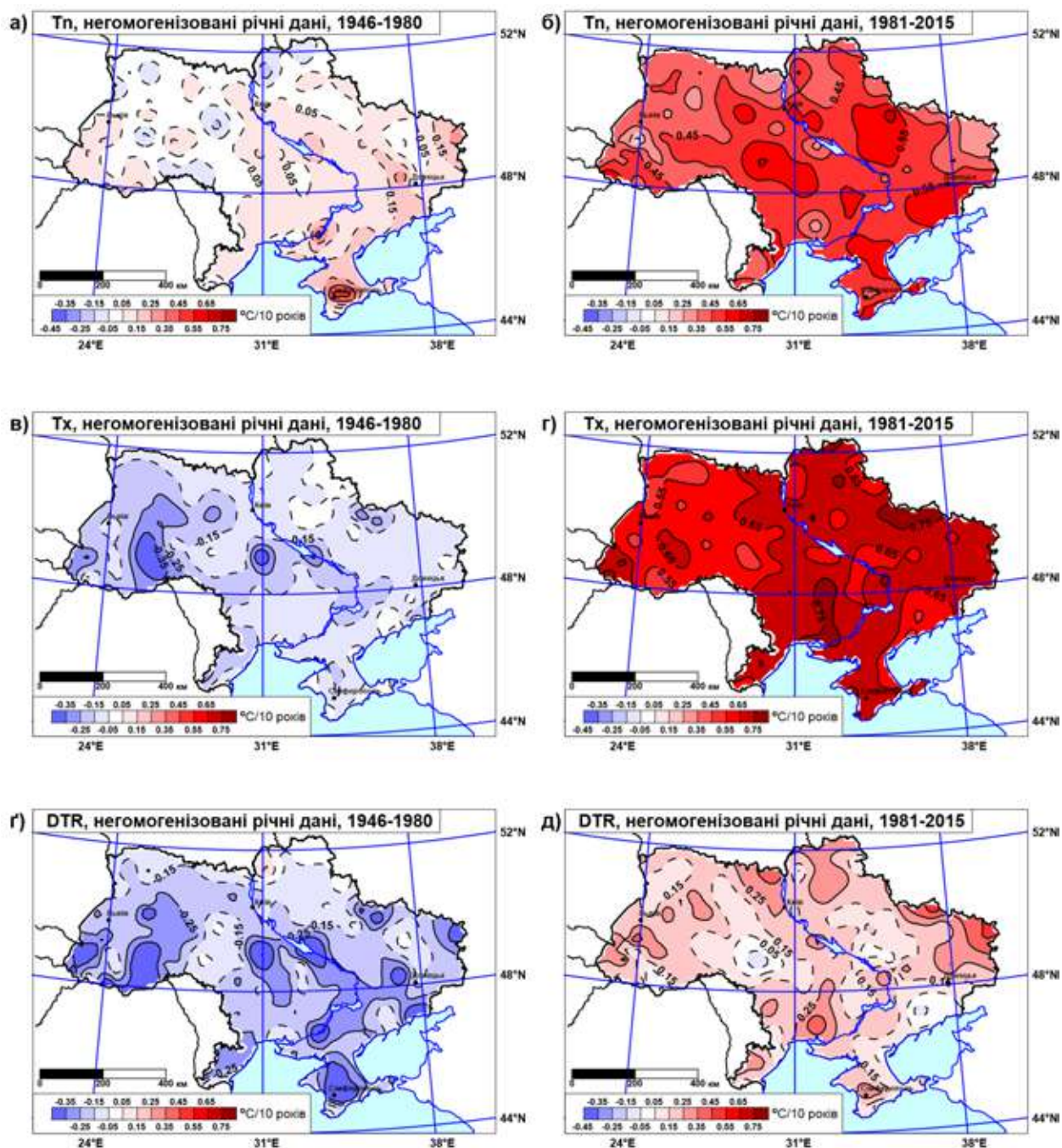


Рис. 4. Річні тренди негомогенізованих (первинних) даних мінімальної T_n (а, б), максимальної T_x (в, г) температури повітря, її добового діапазону DTR (г, д) для періодів 1946-1980 рр. (ліва панель) та 1981-2015 рр. (права панель); області з статистично значущими трендами позначені суцільними контурними лініями, незначущими – штриховими.

ні дослідження взаємозв'язку DTR із вище названими показниками (хмарність, сонячна радіація та кількість атмосферного аерозолі). Такі дослідження є найближчою перспективою і будуть предметом окремої публікації.

Висновки

У статті проаналізовано кліматичні зміни (тренди) екстремальної температури повітря в Україні за період 1946-2015 рр. Аналіз проведено на основі гомогенізованої бази даних довгих рядів мі-

німальної та максимальної температури повітря, тому вплив станційних сигналів на оцінювання трендів було нівельовано. База даних містить ряди середньої за місяць добової мінімальної та максимальної температури повітря, отриманої на 178 метеорологічних станціях. В аналізі використано також розраховані ряди добового діапазону температури. Результати аналізу показують, що загалом для території України квадратичні апроксимаційні моделі краще описують регулярні тенденції (направлені зміни) досліджуваних показників порівняно з лінійними.

Тобто, за період 1946-2015 рр. на території України спостерігалася нелінійна динаміка екстремальної температури, особливо її добового діапазону: зміни у першій половині періоду (1946-1980 рр.) відрізняються за інтенсивністю та знаком від його другої половини (1981-2015 років).

Крім того, показано, що лінійні тренди для мінімальної та максимальної температури для обох частин досліджуваного періоду істотно відрізняються, що призводить до значної добової асимет-

рії кліматичних змін температурного режиму України.

Проаналізовано сезонні та просторові особливості температурних тенденцій на території України. Показано, що у 1946-1980 рр. зміни мінімальної та максимальної температури є статистично незначущими на всій території України. Проте їх протилежна направленість призводить до статистично значущих змін (зниження) добового діапазону температур. На відміну від попереднього періоду, у 1981-2015 рр. на всій території України спостерігалася істотно та статистично значуще підвищення і денної, і нічної температури. При цьому швидше зростання було відмічено для максимальної температури, що спричинило значне збільшення добового діапазону температур, статистично значущого на більшій частині території України.

Встановлено, що кліматологічна неоднорідність первинних даних має істотний вплив на оцінку лінійних трендів. Невилучення станційних сигналів може призвести до невірних оцінок та висновків щодо динаміки регіонального клімату.

References [Література]

1. Hartmann D. L., Klein Tank AMG, Rusticucci M., Alexander L. V., Brönnimann S., Charabi Y., Dentener F. J., Dlugokencky E. J., Easterling D. R., Kaplan A., Soden B. J., Thorne P. W., Wild M., Zhai P. M. (2013). Observations: atmosphere and surface. In *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York. NY.
2. *Climate of Ukraine*. V. M. Lipinsky, V. A. Dyachuk, V. M. Babichenko (eds). (2003). Kyiv. [In Ukrainian]. [Клімат України / За редакцією В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ, 2003. 343 с.]
3. Aguilar E., Auer I., Brunet M., Peterson T.C., Wieringa J. (2003). *WMO Guidelines on climate metadata and homogenization*. WCDMP. No 53, WMO-TD No 1186. WMO, Geneva.
4. Babichenko V. N., Rudyshyna S. F., Bondarenko Z. S., Gushchyna L. M. (1987). *Air temperature in Ukraine*. Leningrad. [In Russian]. [Температура воздуха на Украине / В. Н. Бабиченко, С. Ф. Рудишина, З. С. Бондаренко, Л. М. Гущина. Ленинград, 1987. 399 с.]
5. Boychenko S. G., Voloshchuk V. M., Serdiuchenko N. N. (2017). Modern space-time variations of the index of continentality and the amplitude of a seasonal course of the surface air temperature on the territory of Ukraine. *Dopov. Nac. acad. nauk Ukr.* 7, 67-75. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.09.067> [In Russian]. [Бойченко С. Г., Волощук В. М., Сердюченко Н. Н. Современные пространственно-временные вариации индекса континентальности и амплитуды сезонного хода приземной температуры на территории Украины // Доповіді НАН України. 2017. № 7. С. 67-75. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.09.067>]
6. Voloshchuk V. M., Boychenko S. G., Stepanenko S. N., Bortnyk S. Y., Shyshchenko P. G. (2002). *Global Warming and Climate of Ukraine: Regional Environmental and Socio-Economic Aspects*. Kyiv. [In Ukrainian]. [Глобальне потепління та клімат України, регіональні екологічні та соціально-економічні аспекти / В. М. Волощук, С. Г. Бойченко, С. М. Степаненко, Г. П. Шищенко, С. Ю. Бортник. Київ, 2002. 117 с.]
7. Martazinova V. F., Ivanova O. K. (2010). *Modern climate of Kyiv region*. Kyiv. [In Ukrainian]. [Мартазінова В. Ф., Іванова О. К. Сучасний клімат Київської області. Київ, 2010. 70 с.]
8. Osadchyi V. I., Babichenko V. M., Nabyvanets Y. B., Skrynyk O. Y. (2013). *Dynamics of Air Temperature in Ukraine over Instrumental Observation Period*. Kyiv. [In Ukrainian]. [Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень / В. І. Осадчий, В. М. Бабіченко, Ю. Б. Набиванець, О. Я. Скриник. Київ, 2013. 308 с.]

9. *Greenhouse effect and climate changes in Ukraine: assessments and consequences*. V. I. Lyalko (ed). (2015). Kyiv. [In Ukrainian].
[Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки / За ред. В.І. Лялька. Київ, 2015. 283 с.]
10. Osadchyi V. I., Babichenko V. M. (2013). The air temperature on the territory of Ukraine in today's climate conditions. *Ukrainian geographical journal*, 4, 32-39. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.04.032> [In Ukrainian].
[Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату // Укр. геогр. журн. 2013. № 4. С. 32-39. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.04.032>]
11. Davy R., Esau I., Chernokulsky A., Outten S., Zilitinkevich S. (2017). Diurnal asymmetry to the observed global warming. *Int. J. Climatol.*, 37, 79-93. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4688>
12. Makowski K., Wild M., Ohmura A. (2008). Diurnal temperature range over Europe between 1950 and 2005, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 6483-6498. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-8-6483-2008>
13. Babichenko V. M., Bondarenko Z. S., Nikolaeva N. V., Gushchyna L. M. (2010). Minimum air temperature on the territory of Ukraine in modern climate conditions. *Physical geography and geomorphology*. 2 (59), 63 – 75. [In Ukrainian].
[Мінімальна температура повітря на території України в умовах сучасного клімату / В. М. Бабіченко, З. С. Бондаренко, Н. В. Ніколаєва, Л. М. Гущина. Фізична географія та геоморфологія. 2010. Вип. 2 (59). С. 63 – 75.]
14. Babichenko V. M., Nikolaeva N. V., Rudishyna S. F., Gushchyna L. M. (2010). Maximum air temperature on the territory of Ukraine in modern climate conditions. *Ukrainian geographical journal*, 3, 6 – 15. [In Ukrainian].
[Максимальна температура повітря на території України в умовах сучасного клімату / В. М. Бабіченко, Н. В. Ніколаєва, С. Ф. Рудішина, Л. М. Гущина // Укр. геогр. журн. 2010. № 3. С. 6 – 15.]
15. Babichenko V. N., Adamenko T. I., Bondarenko Z. S., Nikolaeva N. V., Rudishyna S. F., Gushchyna L. M. (2011). Extreme air temperature on the territory of Ukraine in modern climate conditions. *Global and regional climate change*. Kiev, 207-221. [In Russian].
[Экстремальная температура воздуха на территории Украины в условиях современного климата / В. Н. Бабиченко, Т. И. Адаменко, З. С. Бондаренко, Н. В. Николаева, С. Ф. Рудишина, Л. М. Гущина. Глобальные и региональные изменения климата. Киев, 2011. С. 207-221.]
16. Klok S. V., Krasuyukova Y. V. (2016). Spatial and temporal changes of minimum air temperature in Ukraine today. *Proceeding of UHMI*. Iss. 268, 51-57. [In Ukrainian].
[Клок С. В., Красуюкова Я. В. Просторово-часові зміни мінімальної температури повітря на території України на сучасному етапі // Наукові праці УкрНДГМІ, 2016. Вип. 268. С. 51-57.]
17. *Meteorological Data for Separate Years*. (1953). Iss. 10a. Ukrainian SSR and Moldavian SSR. Part 1. Air Temperature. Publishing of Academy of Science of USSR. Kiev. [In Russian].
[Метеорологические данные за отдельные годы. Выпуск 10 а. По Украинской ССР и Молдавской ССР. Часть 1. Температура воздуха. Том 1. Киев, 1953. 577 с.]
18. *Handbook on Climate of USSR*. (1971). Data for Separate Years. Iss. 10. Ukrainian SSR. Part 1. Air Temperature. Publishing of Academy of Science of USSR. Kiev. [In Russian].
[Справочник по климату СССР. Данные за отдельные годы. Выпуск 10. Украинская ССР. Часть 1. Температура воздуха. Киев, 1971. 960 с.]
19. WMO. (1989). *Calculation of monthly and annual 30-years standard normals*. WCDP 10, WMO-TD 341, World Meteorological Organization, World Climate Data and Monitoring Programme Series Washington D.C.
20. Skrynyk O. Y., Aguilar E., Skrynyk O. A., Sidenko V., Boychuk D., Osadchyi V. (2018). The quality controlled and homogenized database of monthly extreme air temperature collected in Ukraine. *Int. J. Climatol.* (submitted).
21. Wilks D. S. (2006). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 2nd edn. Academic Press: Amsterdam. 630 pp.
22. Gosset W. S. (1908). The probable error of a mean. *Biometrika* 6, 1–25.
23. Hengl T. (2009). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*. Joint Research Centre: Ispra, Italy. 290 pp.
24. Osadchyi V. I., Skrynyk O. A., Skrynyk O. Ya. (2017). Influence of inhomogeneity of temperature time series on the estimation of regional climate changes. *Dopov. Nac. acad. nauk Ukr.*, 7, 43-50. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.07.043> [In Ukrainian].
[Осадчий В. І., Скриник О. А., Скриник О. Я. Вплив неоднорідності часових рядів температури повітря на оцінку регіональних кліматичних змін // Доповіді НАН України. 2017. № 7. С. 43-50. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.07.043>]
25. Osadchyi V., Skrynyk O. A., Radchenko R., Skrynyk O. Y. (2018). Homogenization of Ukrainian air temperature time series. *Int. J. Climatol.* 38, 497-505. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5191>

Стаття надійшла до редакції 07. 08. 2018