

<http://doi.org/10.17721/1728-2721.2022.83.3>
УДК 551.583

О. Шевченко, д-р геогр. наук, доц.

Scopus ID: 55801127100

ORCIDID: 0000-0003-3915-427X

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

С. Сніжко, д-р геогр. наук, проф.

Scopus ID: 57224880799

ORCIDID: 0000-0002-2696-687X

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

І. Костирко, асп.

Scopus ID: 57217246796

ORCIDID: 0000-0002-8156-1920

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ТРОПІЧНІ НОЧІ В УКРАЇНІ: ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ АНАЛІЗ

Тропічні ночі (TR20) належать до основних індексів зміни клімату, вивчення яких було запропоновано ВМО та Експертною групою з виявлення кліматичних змін та індексів (ETCCDI), і які активно використовуються в сучасних кліматичних дослідженнях. Результати просторово-часового аналізу тропічних ночей можуть бути дуже корисними для оцінювання біокліматичних умов, а також впливу спеки на окремі галузі економіки країни. Метою цієї роботи є здійснення ґрунтового аналізу кліматології тропічних ночей в Україні за багаторічний період. Для проведення цього дослідження було обрано 14 метеорологічних станцій (МС), що розташовані в різних регіонах України. Як інформаційну базу дослідження використано дані про мінімальну добову температуру повітря. Отримані результати свідчать, що для території України характерна виражена тенденція до збільшення повторюваності тропічних ночей. Для метеорологічних станцій з довгими рядами спостережень характерне зростання випадків TR20 від початку XX ст. і до його середини. Після цього до кінця 70-х рр. XX ст. відбувається деяке зниження повторюваності TR20 по всіх станціях. і відразу ж після цього, з початку 1980-х років повторюваність TR20 різко зростає і цей процес триває й до сьогодні. Максимальна встановлена інтенсивність тропічних ночей для території України становила 7°C і була зафіксована на станціях південних і східних областей, а також один випадок – на МС Ужгород. Переважна більшість випадків TR20 на всіх станціях характеризується інтенсивністю до 3°C. Порівняно з періодом кліматичної норми, за 1991–2020 рр. інтенсивність тропічних ночей значно підвищилась на всіх метеорологічних станціях, зокрема, підвищилась повторюваність TR20 інтенсивністю 5° C і вище. У сучасний період на переважній більшості досліджуваних МС тропічні ночі в річному ході розпочинаються раніше і спостерігаються довше. Серед досліджуваних МС у сучасний період найтривалішим періодом із тропічними ночами характеризуються Одеса (понад п'ять місяців), Генічеськ та Київ (по чотири місяці).

Ключові слова: тропічні ночі (TR20), зміна клімату, мінімальна температура повітря.

Вступ. Результати досліджень свідчать, що в останні десятиліття температура повітря на планеті зростає. За даними Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО), незважаючи на охолоджуючу дію явища Ла-Нінья, 2020 рік став одним із трьох найтепліших років за всю історію спостережень – середня глобальна температура на 1,2° C перевищила доіндустріальний рівень (1850–1900). Шість років із 2015 стали найтеплішими за всю історію спостережень, а 2011–2020 рр. були найтеплішим десятиліттям за весь час спостережень. Закономірно, що зростання температури повітря призводить до збільшення частоти та інтенсивності явищ, пов'язаних з високими температурами – хвиль тепла, посух, суховіїв тощо, а також спричинює тепловий стрес у людей. Зазвичай, максимальні температури повітря спостерігаються у денні години, а у вечірні й нічні – термічне навантаження на організм знижується і людина може відпочити від спеки (Thorsson *et al.*, 2014). Проте, в умовах високих температур, навіть у нічні години, може спостерігатися тепловий стрес і відповідно додаткове навантаження на людський організм. Саме тому оцінка термічного навантаження вночі також є дуже важливою стосовно впливу на здоров'я, самопочуття та умови для рекреації населення (McGregor *et al.*, 2015; Müller *et al.*, 2014; Rooney *et al.*, 1998), а системи оповіщення про спекотну погоду, що може зашкодити здоров'ю (Heat Health Warning System (HHWS) – англ.) багатьох країн (Бельгії, Великої Британії, Франції, Польщі тощо) базуються на значеннях максимальної й мінімальної добових температур повітря (McGregor *et al.*, 2015).

Тропічні ночі належать до основних індексів зміни клімату, вивчення яких було запропоновано ВМО й

Експертною групою з виявлення кліматичних змін та індексів (Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) – англ.), і які активно використовуються в сучасних кліматичних дослідженнях (Abatan *et al.*, 2019; Cantos *et al.*, 2019; Elizbarashvili *et al.*, 2017; Hong *et al.*, 2018). Ніч вважають тропічною, якщо мінімальна добова температура повітря була вищою 20° C. Результати аналізу кліматології тропічних ночей можуть бути дуже корисними для ґрунтового оцінювання біокліматичних умов, а також для оцінювання несприятливого впливу спеки на окремі галузі економіки країни.

Аналіз попередніх публікацій і досліджень. Як зазначалося вище, тропічні ночі привертають до себе увагу кліматологів з різних куточків світу. Окремі дослідження українських науковців також присвячені цій проблематиці (Balabukh & Malitskaya, 2017; Shevchenko & Snizhko, 2019; Umanska *et al.*, 2019). За даними В. Балабух і Л. Малицької (Balabukh & Malitskaya, 2017), зростання кількості тропічних ночей майже на всій території країни (за винятком Чернігівської, Сумської, Житомирської й Івано-Франківської областей) практично не викликає сумнівів і за період 1981–2010 рр. відбувалося зі швидкістю від 3–5 днів/10 років на заході країни до 10–14 днів/10 років на північному сході. Кліматологи з Одеського державного екологічного університету досліджували основні циркуляційні процеси, які обумовлюють виникнення спекотних і холодних погодних умов в Україні – літніх днів, тропічних ночей, морозних днів і морозних ночей.

Хоча вищезазначені роботи містять певну інформацію щодо кліматології TR20 на території України, проте в них автори розглядали тропічні ночі лише як частину дослідження при реалізації інших задач. Крім того,

періоди дослідження в них обмежені кількома десятиліттями: 1981–2010 рр. (*Balabukh & Malitskaya, 2017*), 1971–2001 рр. (*Umanskaetal., 2019*) та 1961–2010 рр. (*Shevchenko & Snizhko, 2019*) і не включають період 2011–2020 рр., який, за даними ВМО, був найтеплішим десятиліттям за весь час спостережень, тому неодмінно має враховуватися при аналізі тропічних ночей. Отже, ураховуючи вищезазначене, **метою цієї роботи** є здійснення ґрунтовного аналізу кліматології тропічних ночей в Україні за багаторічний період.

Матеріали та методи досліджень. Територія України характеризується складними фізико-географічними умовами, що зумовлюють різноманітність клімату (*Klimat Ukrainy, 2003*). Саме тому для проведення цього дослідження було обрано 14 метеорологічних станцій (МС), що розташовані в різних регіонах України (табл. 1). Як інформаційну базу дослідження використані дані про мінімальну добову температуру повітря за багаторічний період.

Таблиця 1. Характеристики метеорологічних станцій та рядів даних, використаних у дослідженні

МС	Широта	Довгота	Регіон	Висота над рівнем моря	Період спостережень
Ужгород	48°38' пн.ш.	22°16' сх.д.	Захід	115	1946–2020
Чернівці	48°15' пн.ш.	25°58' сх.д.	Захід	246	1941–2020
Львів	49°49' пн.ш.	23°57' сх.д.	Захід	319	1936–2020
Шепетівка	50°09' пн.ш.	27°02' сх.д.	Захід	277	1924–2020
Київ	50°24' пн.ш.	30°32' сх.д.	Північ	166	1881–2020
Умань	48°46' пн.ш.	30°14' сх.д.	Центр	214	1887–2020
Полтава	49°05' пн.ш.	34°33' сх.д.	Центр	160	1900–2020
Лубни	50°12' пн.ш.	32°59' сх.д.	Центр	156	1936–2020
Миколаїв	46°58' пн.ш.	31°59' сх.д.	Південь	52	1900–2020
Сімферополь	45°02' пн.ш.	33°58' сх.д.	Південь	180	1936–2020
Одеса	46°26' пн.ш.	30°40' сх.д.	Південь	54	1894–2020
Генічеськ	46°10' пн.ш.	34°19' сх.д.	Південь	14	1945–2020
Харків	49°55' пн.ш.	36°16' сх.д.	Схід	154	1951–2020
Луганськ	48°31' пн.ш.	39°15' сх.д.	Схід	59	1905–2014

Для реалізації поставлених у роботі задач застосовувалися загальнонаукові та специфічні методи: структурного аналізу і синтезу, системний, математико-статистичний, порівняльний тощо. Статистична обробка даних і візуалізація отриманих результатів виконувалася за допомогою персонального комп'ютера з використанням програм "Microsoft Excel" та "Statistica".

Виклад основного матеріалу. *Часова динаміка тропічних ночей за багаторічний період.* Феномен тропічних ночей не є новим і неочікуваним виявом для території України, оскільки вже понад 100 років тому, у кінці XIX – на початку XX ст., у рядах мінімальних добових температур можна виявити випадки TR20. Передусім, це стосується МС, розміщених на півдні України: Одеса – 1894 р. (16 випадків), Миколаїв – 1900 р. (12 випадків). У центральній частині України перші випадки TR20 виявлено на МС Полтава – 1900 р. – 1 випадок та 1902 р. – 4 випадки, на МС Київ – 1881 р. (2 випадки) та 1882 р. – 10 випадків.

На рис. 1 для прикладу наведено графіки візуалізації часового ходу виявів TR20 для кількох МС України, розміщених у різних регіонах України, а саме для Одеси, Києва, Умані й Полтави.

Не зважаючи на те, що ці станції розміщені у різних природних зонах України, характеризуються різним ступенем дискретності рядів TR20 та інтенсивністю вияву випадків тропічних ночей в окремі роки, вони мають одну спільну особливість – чітко виражену тенденцію до збільшення повторюваності TR20 на кінець існуючого періоду спостережень. Якщо на початок періоду спостережень типова повторюваність TR20 для півдня України становила 15–20 випадків на рік, то в сучасний період вона досягла 40–50 випадків. Для центральних і північних регіонів України ці показники зросли від 1–2 до 8–10 випадків. У Києві ці показники змінилися від 5–10 випадків на початку століття до 15–30 випадків – на сьогодні.

Свідченням суттєвого зростання повторюваності TR20 є виявлені позитивні лінійні тренди часової

динаміки TR20 у рядах спостережень з 1900-х років. Якщо порівнювати коефіцієнти регресії лінійних трендів для зіставних за тривалістю спостережень рядів для МС Київ, Одеса, Умань, Полтава, що характеризують у даному випадку інтенсивність процесу збільшення повторюваності тропічних ночей у часі, то виявляється, що вони дуже відрізняються для півдня України і для інших регіонів, зокрема для Одеси – 0,1618, Києва – 0,0496, Полтави – 0,0454, Умані – 0,014. Найвище значення коефіцієнта для Одеси свідчить про надзвичайно високу швидкість зростання повторюваності тропічних ночей у часі, порівняно з іншими регіонами України. Повторюваність TR20 в Одесі зростає у часі у 3,3 рази швидше, ніж у Києві, у 3,6 рази швидше, ніж у Полтаві та у 11,6 рази швидше, ніж в Умані.

Цілком очевидно, що інтенсивність зростання ефекту тропічних ночей у часі залежить не тільки від географічної широти місцевості, а й від швидкості й інтенсивності процесу урбанізації. Для великих міст, таких як Київ, Одеса, Харків у формуванні ефекту "тропічних ночей" урбанізація відіграє значну роль. Розширення урбанізованої території у процесі розширення меж міста й ущільнення вже забудованих старих кварталів, заміна природних підстильних поверхонь на штучні (асфальт, бетон, дахи будинків тощо) суттєво впливає на радіаційний баланс приземного шару атмосфери (*The urban surface energy budget and mixing height in European cities., 2005*). Це призводить до інтенсивнішого зростання температури повітря у містах, порівняно із природним середовищем (*Georgescu et al., 2012; Hua et al., 2018; Oke, 1982*). Експериментальні дослідження впливу урбанізації на формування позитивних трендів TR20 у містах Північного Китаю показали, що внесок урбанізації у формування ефекту "тропічних ночей" може досягати навіть 100 % (*Zhou & Ren, 2011*). Турецькі вчені у своїх дослідженнях показали (*Sensou et al., 2017*), що найчутливішим індикатором впливу урбанізації на клімат є мінімальна температура. Вона зростає у великих містах з

найбільшою інтенсивністю, спричиняє зниження діапазону добових температур ($DTR = T_{max} - T_{min}$) і є однією з основних причин формування тропічних ночей. У той самий час, у малих містах локальні чинники не мають суттєвого значення. Там основну роль у формуванні клімату, у тому числі й повторюваності тропічних ночей, відіграють глобальні кліматичні чинники.

Слід зауважити, що тенденції стосовно зростання частоти вияву TR20 в останні десятиліття спостерігаються в різних регіонах нашої планети – в Іспанії на узбережжі Середземного моря (Cantos *et al.*, 2019), у Грузії (Elizbarashvili *et al.*, 2017), у Китаї (Zhou & Ren, 2011), у Південній Кореї (Zheng *et al.*, 2020), у Нігерії (Abatan *et al.*, 2019) тощо.

Застосування статистичного методу ковзного осереднення (Prusov & Snizhko, 2017) з вікном осереднення

в 31 рік дозволили деталізувати особливості часового ходу вияву випадків TR20 у довгих рядах спостережень та виявити характерні для досліджених рядів із усіх МС сегменти часової структури. Аналіз осереднених кривих показує, що для МС з довгими рядами спостережень характерне зростання випадків TR20 від початку ХХ ст. до його середини. Причому найшвидше максимум повторюваності TR20 для першої половини ХХ ст. досягається в Одесі в 1935–1939 рр. У Києві цей момент настає дещо пізніше – у період із 1935 до 1950 р., в Умані – близько 1950 р. Після цього до кінця 70-х рр. ХХ ст. відбувається деяке зниження повторюваності TR20 по всіх станціях і, нарешті, відразу ж після цього, з початку 80-х років повторюваність TR20 різко зростає. Цей процес триває й до сьогодні.

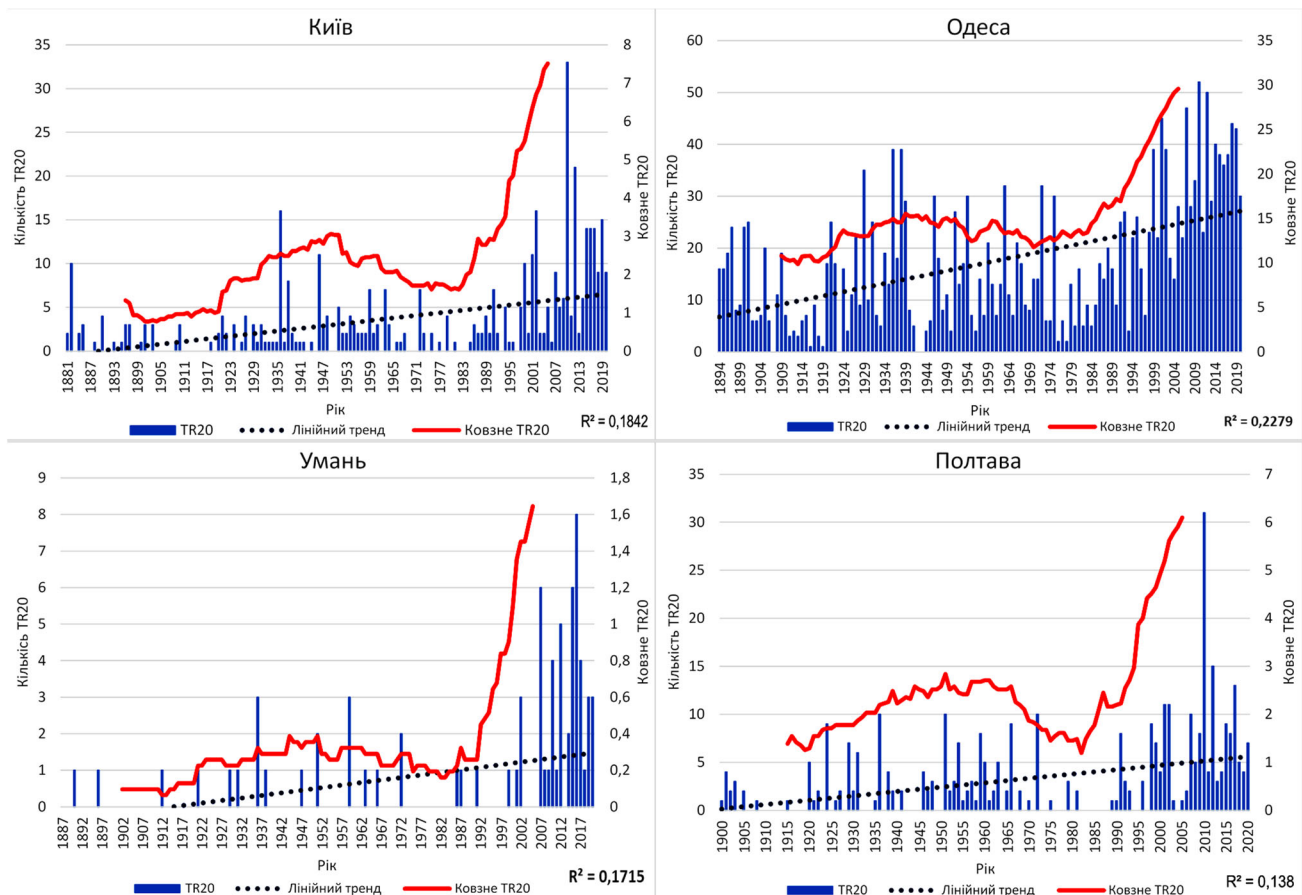


Рис. 1. Часовий хід випадків TR20 для МС України з найдовшими рядами спостережень

Порівняння динаміки повторюваності TR20 за два останні 30-річні кліматичні періоди (базовий кліматичний період 1961–1990 рр. і сучасний кліматичний період 1991–2020 рр.) свідчить про інтенсифікацію та зростання частоти виявів тропічних ночей по всій рівнинній території України в сучасний кліматичний період (рис. 2). Зважаючи на підвищення мінімальної температури повітря на території України, установлене зростання частоти виявів тропічних ночей в останні десятиліття є цілком закономірним. За даними (Balabukh & Malitskaya, 2017) протягом року найсуттєвіші зміни значень мінімальної температури відбулися саме влітку, величина цих змін була практично однаковою на всій території України і становила 0,6–0,7° С/10 років (з імовірністю понад 98 %).

Якщо в 1961–1990 рр. для більшості досліджених МС тренди часової динаміки випадків TR20 були статистично незначущими, або зі слабо вираженими негативними коефіцієнтами регресії, то в сучасний кліматичний період у всіх регіонах відслідковуються чітко виражені позитивні тенденції повторюваності випадків тропічних ночей. Найсуттєвіше зростання кількості випадків тропічних ночей відбулося у великих містах. Найбільш значення коефіцієнтів лінійної регресії часових трендів, які статистично характеризують напрямки та інтенсивність процесу, встановлено для МС Одеса (0,788), Київ (0,388) і Харків (0,390).

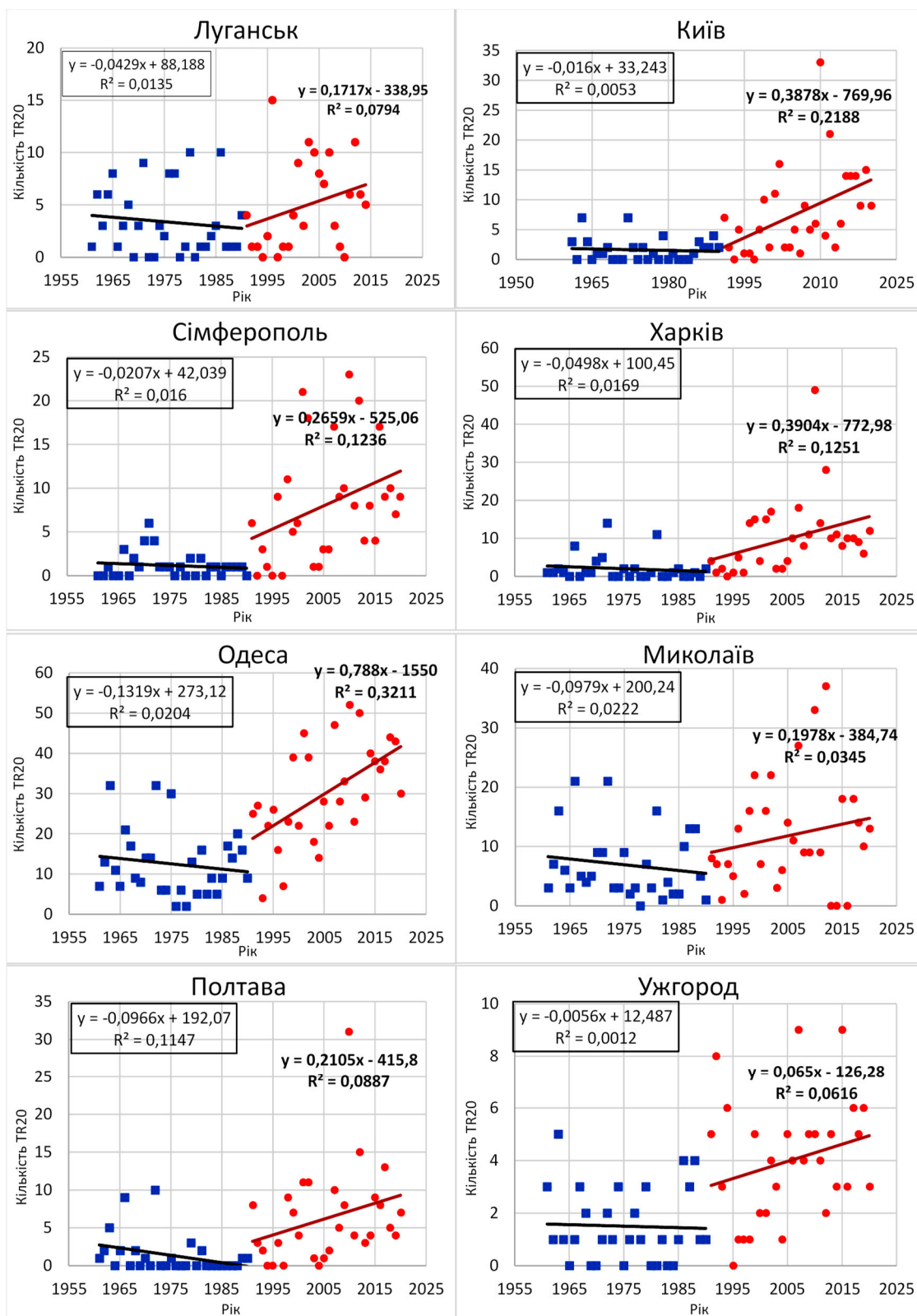


Рис. 2. Порівняння динаміки повторюваності TR20 на території України за два останні 30-річні кліматичні періоди (базовий кліматичний період 1961–1990 рр. і сучасний кліматичний період 1991–2020 рр.)

Інтенсивність тропічних ночей. Наступним етапом дослідження був розрахунок інтенсивності тропічних ночей на обраних МС. Інтенсивність визначалася як різниця між мінімальною добовою температурою повітря та

граничним значенням температури 20° С. Градації інтенсивності були обрані з кроком 1°С. Максимальна виявлена інтенсивність становила 7° С і була зафіксована на станціях південних і східних областей, а також один

випадок – на МС Ужгород. Переважна більшість випадків TR20 на всіх станціях характеризувалася інтенсивністю до 3° С. Оскільки ряди даних на станціях помітно відрізняються за тривалістю, тому для об'єктивного просторово-часового аналізу кількості тропічних ночей, їхньої інтенсивності й динаміки, було обрано два референтні періоди: період кліматичної норми 1961–1990 рр. і сучасний період 1991–2020 рр. (табл. 2).

Перш за все слід зауважити, що зафіксована кількість випадків тропічних ночей суттєво відрізняється для двох досліджуваних періодів та корелює із кліматичними умовами різних регіонів України. Найбільша кількість TR20 спостерігається на МС південних і східних регіонів. За період кліматичної норми у південних областях цей показник перебував у межах від 206 (Миколаїв) до 417 (Генічеськ). У Сімферополі було зафіксовано значно менше тропічних ночей – лише 35 випадків, що пояснюється тим, що на цій станції середня мінімальна температура літніх місяців також є нижчою – 15.0° С (за 1961–1990), у той час як на МС Генічеськ – 17.0° С, на МС Миколаїв – 16.2° С, на МС Одеса – 16.8° С. На сході – у Харкові та Луганську за період кліматичної норми було зафіксовано 63 та 101 випадок TR20 відповідно. На досліджуваних станціях центру та півночі максимальна кількість тропічних ночей зафіксована у Києві (48). У західних областях на досліджуваних МС кількість тропічних ночей була дуже низькою (1–11 випадків), за винятком станції Ужгород (45 випадків). За період кліматичної норми на досліджуваних МС була зафіксована лише одна тропічна ніч інтенсивністю

7° С – у Луганську. На п'яти МС фіксувалися поодинокі тропічні ночі з інтенсивністю більше 4° С, у Генічеську – таких тропічних ночей зафіксовано 25. На МС центральних, північних і західних областей переважно максимальна інтенсивність TR20 становила до 3° С, за винятком станцій Ужгород і Полтава.

Порівняно з періодом кліматичної норми, за 1991–2020 рр. кількість та інтенсивність тропічних ночей значно підвищилася на всіх метеорологічних станціях. Найсуттєвішим є зростання на МС, де за кліматичну норму кількість TR20 була мінімальною: з 1 до 10 випадків – у Львові, із 3 до 21 – у Шепетівці, із 6 до 51 випадку – в Умані та з 11 до 51 випадку – на станції в Чернівцях. Також майже в 7 разів зросла кількість випадків тропічних ночей на станції Сімферополь. Варто також зауважити, що на МС Одеса й Генічеськ у сучасний період кількість випадків TR20 сягнула 908 та 799, відповідно, що є найвищим показником серед досліджуваних станцій. Майже на всіх МС зросла максимальна інтенсивність тропічних ночей – у Львові з 1° С до 2° С, у Києві – із 3° С до 5° С, в Умані – із 2° С до 3° С, у Лубнах – із 3° С до 5° С, у Миколаєві – із 5° С до 7° С, у Сімферополі – із 4° С до 5° С, в Одесі – із 5° С до 7° С, у Генічеську – із 6° С до 7° С, у Харкові – із 4° С до 7° С. А також підвищилася повторюваність TR20 інтенсивністю 5° С і вище. У Генічеську за період кліматичної норми повторюваність тропічних ночей такої інтенсивності зросла із 6 % від загальної кількості до 9.9 % (у сучасний період), в Одесі – із 1.1 % до 6.5 %, у Харкові – з 0 % до 3.6 %.

Таблиця 2. Кількість тропічних ночей різної інтенсивності

МС	Загальна кількість TR20	Кількість випадків TR20 різної інтенсивності (°С)						
		1	2	3	4	5	6	7
<i>Весь період спостережень</i>								
Ужгород	200	104	53	28	10	3	1	1
Чернівці	65	51	10	4	0	0	0	0
Львів	18	14	3	1	0	0	0	0
Шепетівка	27	23	4	0	0	0	0	0
Київ	428	261	108	44	12	3	0	0
Умань	73	50	18	5	0	0	0	0
Полтава	347	191	95	43	12	4	1	0
Лубни	280	156	81	30	11	2	0	0
Миколаїв	935	493	288	108	30	13	1	2
Сімферополь	296	188	81	22	3	2	0	0
Одеса	2150	947	619	342	154	59	24	4
Генічеськ	1506	567	385	283	147	83	26	12
Харків	402	193	127	53	17	7	3	2
Луганськ	364	195	93	36	21	14	2	2
<i>1961–1990 рр.</i>								
Ужгород	45	20	17	4	2	1	1	0
Чернівці	11	8	2	1	0	0	0	0
Львів	1	1	0	0	0	0	0	0
Шепетівка	3	2	1	0	0	0	0	0
Київ	48	38	8	2	0	0	0	0
Умань	6	5	1	0	0	0	0	0
Полтава	40	25	13	1	0	0	1	0
Лубни	39	28	9	2	0	0	0	0
Миколаїв	206	113	68	19	5	1	0	0
Сімферополь	35	26	7	1	1	0	0	0
Одеса	375	195	106	52	18	4	0	0
Генічеськ	417	181	117	67	27	18	7	0
Харків	63	35	18	9	1	0	0	0
Луганськ	101	51	33	9	3	3	1	1

Закінчення табл. 2

МС	Загальна кількість TR20	Кількість випадків TR20 різної інтенсивності (°C)						
		1	2	3	4	5	6	7
1991–2020 рр.								
Ужгород	120	63	28	22	6	1	0	0
Чернівці	51	40	8	3	0	0	0	0
Львів	10	8	2	0	0	0	0	0
Шепетівка	21	18	3	0	0	0	0	0
Київ	231	125	67	27	10	2	0	0
Умань	51	34	13	4	0	0	0	0
Полтава	188	94	56	25	11	2	0	0
Лубни	180	92	52	25	9	2	0	0
Миколаїв	357	182	97	50	21	5	1	1
Сімферополь	243	150	68	21	2	2	0	0
Одеса	908	329	260	168	92	38	19	2
Генічеськ	799	265	191	163	98	54	14	11
Харків	301	138	96	41	15	6	3	2
Луганськ*	119	67	26	14	10	2	0	0

* Для Луганська період взято 1991–2014 рр.

Високі мінімальні добові температури повітря, що є ознакою тропічних ночей, характерні для кліматичного літа, настання якого приурочене до дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через 15° С, і залежить від умов циркуляції зимового й весняного сезонів конкретного року. У північних, центральних і східних областях України в середньому кліматичне літо розпочинається в середині травня і триває до 10-х чисел вересня, відповідно в цей період імовірність вияву тропічних ночей є найвищою. В окремі роки можливе відхилення від багаторічних значень – літо може розпочатися як значно раніше, так і пізніше від норми. Проте, як свідчать результати аналізу, унаслідок виявів глобальної

зміни клімату в сучасний період на переважній більшості досліджуваних МС тропічні ночі в річному ході розпочинаються раніше і спостерігаються довше (рис. 3). Наприклад, у Полтаві за період кліматичної норми найбільш ранню тропічну ніч зафіксовано 17 червня, у той час як у сучасний період – 24 травня, найпізніша за 1961–1990 рр. – 22 серпня, а за 1991–2020 рр. – 4 вересня; в Одесі – перша TR20 змістилася із 30 травня на 1 травня, а остання – із 17 вересня на 3 жовтня. Проте, на окремих МС змін у тривалості періоду із тропічними ночами майже не відбулося (напр., у Генічеську перша TR20 за кліматичну норму зафіксована 22 травня, а в сучасний період – 20 травня, останні – 27 та 24 вересня відповідно).

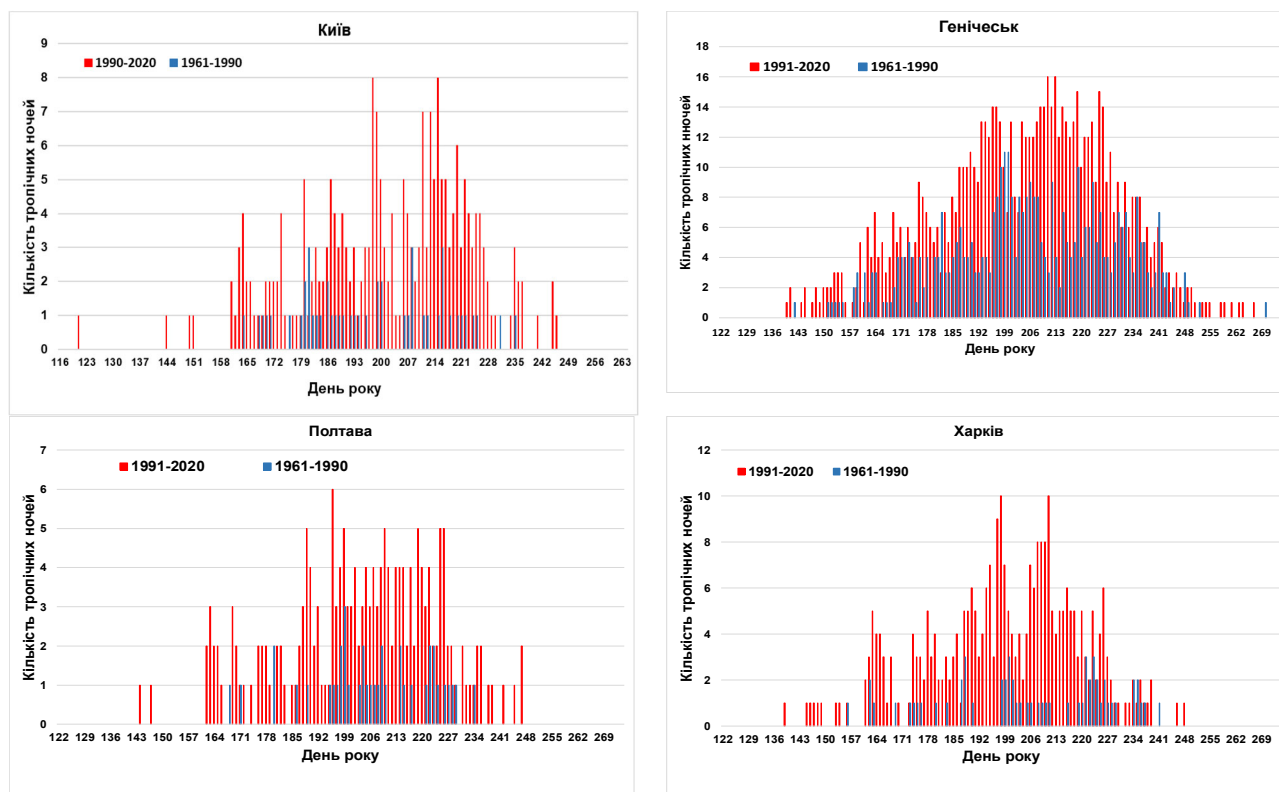


Рис. 3. Річний хід тропічних ночей за кліматичну норму та сучасний період

Серед досліджуваних МС у сучасний період найтривалішим періодом із тропічними ночами характеризуються Одеса (понад п'ять місяців), Генічеськ і Київ (по чотири місяці). В Одесі й Генічеську також зафіксовано найбільшу кількість TR20, а також у сучасний період зросла кількість тропічних ночей з інтенсивністю 7° С. Дещо триваліший період із тропічними ночами у Києві, порівняно навіть з МС центральних областей, пояснюється розмірами міста й існуванням у ньому острова тепла (Shevchenko et al., 2012). У добовому ході острів тепла є найбільш вираженим після заходу Сонця у вечірні години та вночі, тому його вплив призводить до зростання мінімальних добових температур у містах.

Висновки. Отже, для території України характерна виражена тенденція до збільшення повторюваності тропічних ночей. Для метеорологічних станцій з довгими рядами спостережень часова динаміка повторюваності TR20 є дещо складнішою: зростання випадків TR20 від початку ХХ ст. і до його середини; певне зниження повторюваності тропічних ночей по всіх станціях з 50-х до кінця 70-х рр. минулого століття і різке зростання повторюваності TR20 з початку 80-х років і до сьогодні. Максимальна встановлена інтенсивність тропічних ночей для території України становила 7° С і була зафіксована на станціях південних і східних областей, а також один випадок – на МС Ужгород. Переважна більшість випадків TR20 на всіх станціях характеризувалася інтенсивністю до 3° С. Порівняно з періодом кліматичної норми, за 1991–2020 рр. інтенсивність тропічних ночей значно підвищилася на всіх метеорологічних станціях. Майже на всіх МС зросла максимальна інтенсивність тропічних ночей: у Львові з 1° С до 2° С, у Києві – із 3° С до 5° С, в Умані – із 2° С до 3° С, у Лубнах – з 3° С до 5° С, Миколаєві – із 5° С до 7° С, Сімферополі – вз 4° С до 5° С, Одесі – із 5° С до 7° С, у Генічеську – із 6° С до 7° С, Харкові – із 4° С до 7° С. А також підвищилася повторюваність TR20 інтенсивністю 5° С і вище. У Генічеську за період кліматичної норми повторюваність тропічних ночей такої інтенсивності зросла із 6 % від загальної кількості до 9.9 % (у сучасний період), Одесі – із 1.1 % до 6.5 %, Харкові – з 0 % до 3.6 %. У сучасний період на переважній більшості досліджуваних МС тропічні ночі в річному ході розпочинаються раніше і спостерігаються довше. Серед досліджуваних МС у сучасний період найтривалішим періодом із тропічними ночами характеризуються Одеса (понад п'ять місяців), Генічеськ і Київ (по чотири місяці).

References

1. Abatan, A. A., Abiodun, B. J., Adefisan, E. A. et al., 2019. Hot days and tropical nights in Nigeria: trends and associated large-scale features. *Theor Appl Climatol* 137, 2077–2093. DOI: 10.1007/s00704-018-2713-0
2. Balabukh, V. O., Malitskaya, L. V., 2017. Otsiniuvannia suchasnykh zmin termichnogo rezhymu Ukrainy [Assessment of current changes in the thermal regime of Ukraine] *Geoinformatika*, № 4 (64), p. 5–20. (In Ukrainian, abstr. in English)
3. Cantos, J. O., Serrano-Notivol, R., Miró, J., Meseguer-Ruiz, O., 2019. Tropical nights on the Spanish Mediterranean coast, 1950–2014 *CR* 78:225–236 DOI: 10.3354/cr01569

4. Elizbarashvili, M., Elizbarashvili, E., Kutaladze, N., Elizbarashvili, S., Maisuradze, R., Eradze, T., Jamaspashvili, N., Gogia, N., 2017. Climatology and Historical Trends in Tropical Nights over the Georgian Territory. *Earth Science*, 6(5-1): 23–30.
5. Georgescu, M., Moustouli, M., Mahalov, A., Dudhia, J., 2012. Summer-time climate impacts of projected megapolitan expansion in Arizona. *Nature Climate Change* 3,37–41(2013), DOI:10.1038/nclimate1656
6. Hong, J. S., Yeh, S. W., & Seo, K. H., 2018. Diagnosing physical mechanisms leading to pure heat waves versus pure tropical nights over the Korean Peninsula. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 7149–7160. DOI: 10.1029/2018JD028360
7. Hua, L., Ma, Z. & Guo, W., 2008. The impact of urbanization on air temperature across China. *Theor Appl Climatol* 93, 179–194. DOI: 10.1007/s00704-007-0339-8
8. *Klimat Ukrainy / Zared. V. M. Lipinskoho, V. A. Diachuka, V. M. Babichenko.* [Climate of Ukraine / as amended V. M. Lipinskoho, V. A. Diachuka, V. M. Babichenko]. – K.: Vydavnytstvo Raievskoho, 2003. – 343 s. (In Ukrainian)
9. McGregor, G. R. and Bessmoulin, P. and Ebi, K. and Menne, B., 2015. Heatwaves and health: guidance on warning-system development. World Meteorological Organization and World Health Organization.
10. Müller, N., Kuttler, W., Barlag, A.-B., 2014. Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort // *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 115, p. 243–257. DOI: 10.1007/s00704-013-0890-4
11. Oke, T. R., 1982. The Energetic Basis of the Urban Heat Island. *Q. Jl. R. Met. Soc.*, 108, s. 1–22.
12. Prusov, V. A., Snizhko, S. I., 2017. *Metody prykladnoho systemnoho analizu v hidrometeorologii* [Methods of applied systems analysis in hydrometeorology]. Kyiv:Print-Service. 2017. – 701 p. (In Ukrainian)
13. Rooney, C., McMichael, A.J., Kovats, R. S., Coleman, M. P., 1998. Excess Mortality in England and Wales during the 1995 Heatwave. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 52, 482–486.
14. Sensoy, S., Coşkun, M., Ömüştü, Ü. et al., 2017. Impact of urbanization on mean temperature anomalies and climate indices in Turkey. 8th Atmospheric Sciences Symposium – ATMOS, 01 – 04 November 2017, Istanbul – Turkey, 101–110
15. Shevchenko, O. G., Samchuk, E. V., Snizhko, S. I., 2012. Osoblyvosti termichnogo rezhymu hranychnoho шарu atmosfery nad Kyievom [Characteristics of temperature conditions of atmospheric boundary layer in Kyiv city]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neoeekologii*. № 3–4, p. 7–13 (In Ukrainian)
16. Shevchenko, O., Snizhko, S., 2019. Climate change and Ukrainian cities: manifestations and projections on 21st century based on RCP-scenarios. *Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka, Geografiya* [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography], 2 (75), 11–18 (in Ukrainian, abstr. in English), DOI: 10.17721/1728-2721.2019.75.2
17. The urban surface energy budget and mixing height in European cities: data, models and challenges for urban meteorology and air quality. Final Report of Working Group 2 of COST-715 Action. 2005. Resource: https://www2.dmu.dk/atmosphericEnvironment/cost/docs/WG2_final.pdf
18. Thorsson, S., Rocklöv, J., Konarska, J., Lindberg, F., Holmer, B., Dousset, B., Rayner, D., 2014. Mean radiant temperature – A predictor of heat related mortality. *Urban Climate*, Volume 10, Part 2, pp. 332–345. DOI: 10.1016/j.uclim.2014.01.004
19. Umanska, O. V., Borovska, H. O., Khokhlov, V. M., 2019. Vplyv synoptichnoi situatsii na vynykennia spekotnykh ta kholodnykh pohodnykh umov v Ukraini. [Impact of weather pattern on initiation of hot and cold weather conditions in Ukraine.] *Ukrainian hydrometeorological journal*, 24, 33–40 DOI: 10.31481/uhmj.24.2019.03(in Ukrainian, abstr. in English)
20. Zheng, H., Yu, J., Lim, J. et al., 2020. Spatial and temporal characteristics of tropical nights in Seoul. *Environ Monit Assess* 192, 669. DOI: 10.1007/s10661-020-08608-4
21. Zhou, Y., Ren, G., 2011. Change in extreme temperature event frequency over mainland China, 1961–2008. *Climate research*. Vol. 50: 125–139. DOI: 10.3354/cr01053

Надійшла до редколегії 25.12.22

O. Shevchenko, DSc Geography, Associated Professor
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

S. Snizhko, DSc Geography, Professor
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

I. Kostyrko, PhD Student
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

TROPICAL NIGHT IN UKRAINE: SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS

Tropical nights (TR20) are among the main climate change indices proposed by WMO and the Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI), and they are actively used in modern climate research. The results of the analysis of tropical nights climatology can be very useful for bioclimatic conditions assessment, as well as for assessment of the adverse effects of heat on certain sectors of the country's economy. The aim of this work is to carry out thorough analysis of the climatology of tropical nights in Ukraine over a long-term period. Fourteen meteorological stations (MS) from different regions of Ukraine were selected for conducting this study. Minimum daily air temperature was used as an information base for the study. The results obtained in this study indicate that a pronounced tendency to an increase in the frequency of TR20 observed on the territory of Ukraine. For meteorological stations with long time series, an increase in TR20 cases is characteristic from the beginning of the 20th century to its middle. After that, until the end of the 70s of the XX century, there was a slight decrease in the frequency of occurrence of TR20 at all stations, and immediately after that, since the beginning of the 1980s, the frequency of occurrence of TR20 sharply increases, and this process continues to this day. The maximum established intensity of tropical nights for the territory of Ukraine was 7° C and it was recorded at the stations of the southern and eastern regions, as well as one case – MS Uzhgorod. In the most cases, TR20 at all stations was characterized by an intensity of up to 3°C. Compared with the period of the climatic norm, in 1991–2020 the intensity of tropical nights increased significantly at all meteorological stations, in particular, the frequency of occurrence of TR20 increased with an intensity of 5° C and higher. In the modern period, on most of the studied MSs, tropical nights in the annual cycle begin earlier and are observed longer. Among the studied MSs in the modern period, the longest period with tropical nights is characterized by Odessa (more than 5 months), Genichesk and Kiev (4 months each).

Keywords: tropical nights (TR20), climate change, minimum air temperature.