

**АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙНИХ ЗМІН МІНІМАЛЬНОЇ
ДОБОВОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ
НА ФОНІ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ**

**ANALYSIS OF CURRENT TREND CHANGES OF MINIMUM DAILY
AIR TEMPERATURE ON THE TERRITORY OF UKRAINE ON THE
BACKGROUND OF GLOBAL WARMING**

¹**Клок С. В.**, кандидат географічних наук, старший науковий співробітник відділу кліматичних досліджень та довгострокових прогнозів погоди,

²**Корнус А. О.**, кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри загальної та регіональної географії,

²**Корнус О. Г.**, кандидат географічних наук, доцент, завідувач кафедри загальної та регіональної географії, **Данильченко О. С.**, кандидат географічних наук, доцент, старший викладач кафедри загальної та регіональної географії

¹*Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, Україна,*

²*Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка, Україна*

¹**Klok S. V.**, Candidate of Geographical Sciences, Senior Research Fellow, Department of Climate Research and Long-Term Weather Forecasts,

²**Kornus A. O.**, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Regional and Regional Geography,

Kornus O. H., Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Regional and Regional Geography,

Danylchenko O. S., Associate Professor, Senior Lecturer of the Department of Regional and Regional Geography

¹*Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine*

²*Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko, Candidate of Geographical Sciences, Ukraine*

Анотація. Наведено порівняльний аналіз повторюваності тропічних ночей по 13 метеостанціям України за період спостережень 1976-2019 рр. Обрані станції: Вінниця, Житомир, Львів, Полтава, Херсон, Івано-Франківськ, Київ, Ковель, Нікополь, Харків, Одеса, Суми, Чернігів відносяться до різних фізико-географічних областей України. Названі

метеостанції обрані таким чином, аби мати можливість проаналізувати не лише секторні, а й міжширотні відмінності екстремальних температур повітря. Отримані результати підтверджують, що підвищення температури повітря призводить до зростання мінімальних температур практично по всій території країни, що призвело до появи влітку екстремально високих мінімальних температур (явище тропічних ночей). Слід зазначити, що інтенсивне збільшення їх повторюваності на півдні, сході та у центрі країни відбулося іще з середини 90-х років минулого століття. Впродовж останніх десятиліть явище тропічних ночей досить стабільно почало спостерігатись і на заході України.

Abstract. The paper presents a comparative analysis of the frequency of tropical nights for 13 weather stations in Ukraine for the observation period 1976-2019. Selected stations: Vinnytsia, Ivano-Frankivsk, Kyiv, Kovel, Nikopol, Kharkiv, Odesa, Sumy, Chernihiv, Poltava, Zhytomyr, Lviv and Kherson belong to different physical and geographical regions of Ukraine. The indicated weather stations are selected in such a way as to be able to analyze not only sectoral, but also interlatitudinal differences extremal air temperatures. The results obtained confirm that an increase of minimal air temperature is almost the entire territory of the country. It's leads to appear of extremally highly summer temperatures (tropical nights). It should be noted that an intensive increase in their frequency in the south, east and center of the country has occurred since the mid-1990s. In recent decades, the phenomenon of tropical nights has begun to be observed quite steadily in the western territories of Ukraine.

Мінімальна температура повітря є важливою характеристикою, що визначає температурний режим навколишнього середовища. Зміни клімату та необхідність їх вивчення зумовили розробку різних індикаторів потепління. Серед них і екстремально висока мінімальна добова температура повітря, індекс якої отримав назву «тропічні ночі». Цей показник є важливим кліматичним індексом, запропонованим свого часу Всесвітньою Метеорологічною організацією (WMO) для виявлення екстремальних відхилень термічного режиму (мінімальної температури повітря) в умовах глобального потепління, їх узагальнення для значних територій або для Землі в цілому та проведення відповідного порівняльного аналізу [4, 7]. Нагадаємо, що тропічними вважаються ночі, коли мінімальна температура повітря перевищує 20°C.

Тропічні ночі раніше спостерігались, як правило, в тропічних широтах, проте у зв'язку з глобальним потеплінням, впродовж останніх десятиліть вони відзначаються в більш високих широтах – збільшується їх кількість або ж вони фіксуються там, де раніше таких явищ не було взагалі

[1, 2]. Слід зазначити, що тропічні ночі, зокрема збільшення їх інтенсивності та повторюваності, певним чином впливають на здоров'я та життєдіяльність людини, можуть створювати негативні стресові теплові навантаження на її організм [1, 2, 4, 7].

У 2007 році Міжурядова група експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) – міжнародний орган, який об'єднує тисячі вчених із 130 країн світу – представила свій Четвертий оціночний звіт, в якому містяться узагальнені висновки про минулі й нинішні кліматичні зміни, їх вплив на природу і людину, а також про можливі заходи з протидії таким змінам. У цій Доповіді говориться, що з 90%-ною імовірністю зміни клімату, які ми зараз спостерігаємо, пов'язані з діяльністю людини.

Антропогенне походження сучасних кліматичних змін, зокрема, підтверджують палеокліматичні дослідження, що ґрунтуються на аналізі вмісту парникових газів в бульбашках повітря, що замерзли в льоді. Вони показують, що такої концентрації CO₂, як зараз, не було за останні 650 000 років (а за ці роки відбувалося не одне потепління нашої планети). До того ж, у порівнянні з доіндустріальною епохою (1750 рік) концентрація вуглекислого газу в атмосфері зросла на третину. Сучасні глобальні концентрації метану і оксиду азоту також істотно перевищили доіндустріальні значення. Власне, збільшення частоти та тривалості тропічних ночей є одним із наслідків названих вище кліматичних змін.

Згідно з перспективними оцінками [2], приземна температура повітря зросте протягом ХХІ століття за всіх розглянутих сценаріїв викидів. Цілком імовірно, що хвилі тепла наступатимуть більш часто і будуть тривалішими, і що у багатьох регіонах екстремальні опади стануть інтенсивнішими та частішими. Як і раніше, в зимовий час в окремих випадках відзначатимуться екстремально низькі температури. Триватимуть процеси потепління та закислення океану й підвищення середнього глобального рівня моря. Визначено, що з підвищенням середніх глобальних температур, над більшою частиною поверхні суші в добовому і сезонному часових масштабах частіше спостерігатимуться екстремально високі температури, які формуватимуться за певних синоптичних умов [3], і рідше – екстремально низькі температури.

Метою даної роботи є аналіз частоти й повторюваності тропічних ночей на окремих метеостанціях України, як одного з індикаторів кліматичних змін. Крім власне аналізу, до завдань дослідження входила побудова та аналіз лінійних трендів часового розподілу та інтенсивності тропічних ночей на обраних станціях.

У даному розділі наведено порівняльний аналіз повторюваності тропічних ночей, зафіксованих по 13 метеостанціям України за період спостережень 1976-2019 рр. Обрані станції Полтава (49,5°N, 34,6°E), Житомир (50,2°N, 28,6°E), Львів (49,8°N, 24,0°E), Одеса (46,5°N, 30,7°E),

Суми (50,9°N, 34,7°E), Харків (49,9°N, 36,6°E), Нікополь (47,6°N, 34,4°E), Ковель (51,2°N, 24,7°E), Київ (50,4°N, 30,6°E), Івано-Франківськ (49,0°N, 24,4°E), Вінниця (49,2°N, 28,6°E), Чернігів (51,4°N, 31,1°E) та Херсон (46,6°N, 32,6°E).

Як бачимо, названі станції розташовані по всіх регіонах країни, що дає можливість говорити про просторовий розподіл та тенденції тропічних ночей в масштабах всієї України.

У роботі використано архів даних спостережень за мінімальною температурою повітря (табл. 1). Цікаво відмітити, що мінімальні екстремуми спостерігались досить давно – переважно у 80-х роках минулого століття, а максимуми – у першому десятиріччі поточного.

Таблиця 1. Характеристики мінімальної температури повітря по станціям України за період 1991-2019 рр.

Характеристика спостережень			Середній		Абсолютний	
Пункт	спостереження		максимум	мінімум	максимум	мінімум
	кількість	період	дата	дата	дата	дата
Полтава	16071	01.01.1976 - 31.12.2019	<u>19,6°C</u> 07.2010	<u>-18,6°C</u> 01.1987	<u>25,3°C</u> 07.1981	<u>-29,2°C</u> 01.1987
Житомир	16041	01.01.1976 - 31.12.2019	<u>17,2°C</u> 07.2010	<u>-20,1°C</u> 01.1987	<u>23,2°C</u> 08.2012	<u>-33,3°C</u> 01.1987
Львів	16071	01.01.1976 - 31.12.2019	<u>16,0°C</u> 07.2012	<u>-15,6°C</u> 02.1985	<u>21,7°C</u> 07.2007	<u>-28,5°C</u> 02.1985
Київ	16071	01.01.1976 - 31.12.2019	<u>19,5°C</u> 07.2001	<u>-17,6°C</u> 01.1987	<u>24,9°C</u> 07.2010	<u>-27,8°C</u> 01.1987
Херсон	16071	01.01.1976 - 31.12.2019	<u>19,6°C</u> 07.2002	<u>-15,9°C</u> 02.1985	<u>25,2°C</u> 08.2017	<u>-26,3°C</u> 01.2006
Чернігів	16071	01.01.1976 - 31.12.2019	<u>18,5°C</u> 07.2010	<u>-21,6°C</u> 01.1987	<u>22,9°C</u> 07.1999	<u>-35,9°C</u> 01.1987

Повторюваність тропічних ночей. Із метою просторового аналізу розподілу максимумів мінімальної температури повітря по території України проаналізовано коефіцієнти кореляції між середньою максимальною температурою повітря по території України та середньою максимальною температурою повітря на окремих станціях у липні за відповідний період.

Як бачимо, розподіл та тенденції мінімальної температури повітря по території України суттєво відрізняються в залежності від регіону. Встановлено, що вектор розподілу максимумів мінімальної температури повітря влітку має чітко виражену південну складову, спрямовану на північ країни, з незначним її зміщенням на північний захід, що продемонстровано на рис. 1.

Важливо відмітити факт того, що східні та північно-східні території країни є найбільш активними в плані змін мінімальної температури повітря, особливо це стосується холодного періоду року.

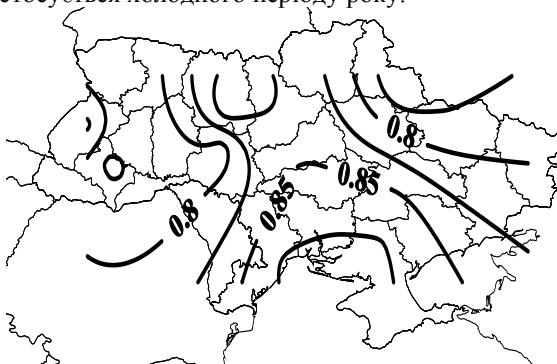


Рис. 1. Розподіл коефіцієнта кореляції між середньою максимальною температурою повітря по території України та середньою максимальною температурою повітря на окремих станціях у липні за період 1976-2019 рр. (укладено авторами)

У перехідні сезони року спостерігається збільшення активності змін мінімальної температури повітря західних та північно-західних областей, що пов'язано з активізацією відповідних циркуляційних процесів (рис. 2). Як бачимо, до таких процесів належить адвекція теплих повітряних мас з північного сходу (рис. 2а) та сходу (рис. 2б), повторюваність випадків якої збільшується.

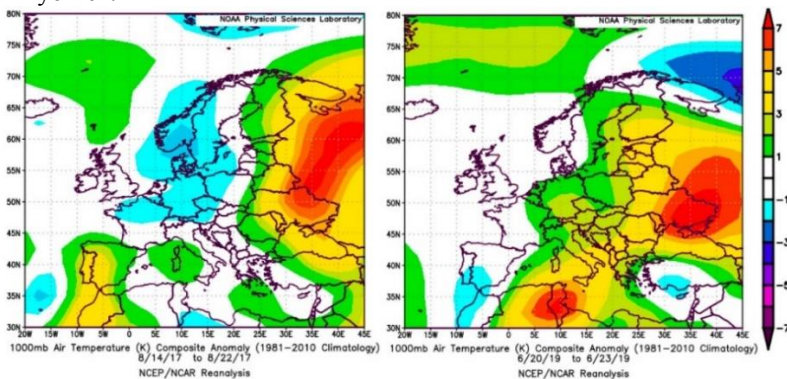


Рис. 2. Позитивні аномалії приземної мінімальної температури повітря на сході України за період з 14.08. по 22.08.2017 р. а) та з 20.06. по 23.06.2019 р. б) порівняно з кліматичною нормою 1981-2010 рр. [5]

Наступний рис. 3 демонструє аномалії розподілу кількості днів, коли спостерігалось явище тропічної ночі на обраних станціях. Слід уточнити, під аномаліями в даному випадку ми розуміємо різницю кількості випадків досліджуваного явища за періоди спостережень 1976-1997 та 1998-2019 рр. Позитивні значення, отримані нами за результатами розрахунків, свідчать про те, що кількість тропічних ночей зростала, практично, на всій території (рис. 3).

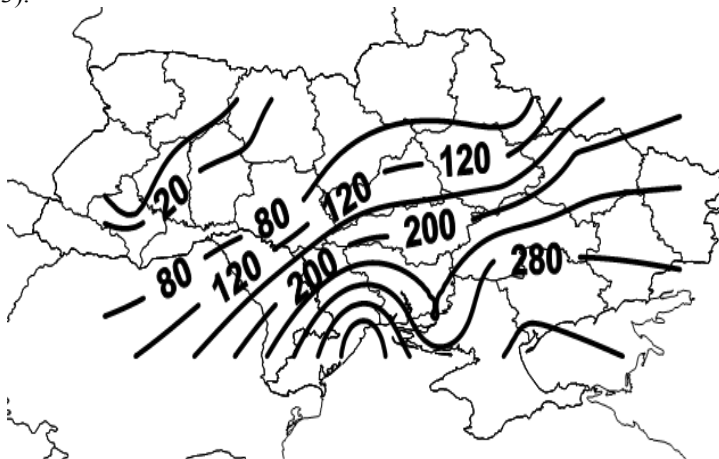


Рис. 3. Аномалії розподілу тропічних ночей за періоди спостережень 1976-1997 та 1998-2019 рр. (укладено авторами)

Цілком зрозуміло, що зростання кількості випадків тропічних ночей на півдні країни (до 300 випадків) є значно суттєвішим зростання їх кількості на північному заході (до 20 випадків).

Проведений аналіз повторюваності тропічних ночей по окремим пунктам спостережень демонструє зростання їх кількості на всіх станціях (рис. 4).

Слід зазначити, що на метеостанції Херсон (південь країни) збільшення кількості тропічних ночей є максимальним. У центрі України (метеостанції Київ і Полтава) тренд дещо менший, проте це явище тут спостерігалось впродовж всього періоду, що аналізується. На заході країни, що представлений метеостанціями Львів та Житомир, а також на півночі (метеостанція Чернігів) явища до середини 90-х років минулого століття або ж не спостерігалось взагалі, або ж воно відмічалось нечасто. Починаючи з 1995 року маємо збільшення кількості тропічних ночей на всіх станціях

України, включаючи Львів, де вони зараз фіксуються стабільно практично кожного року.

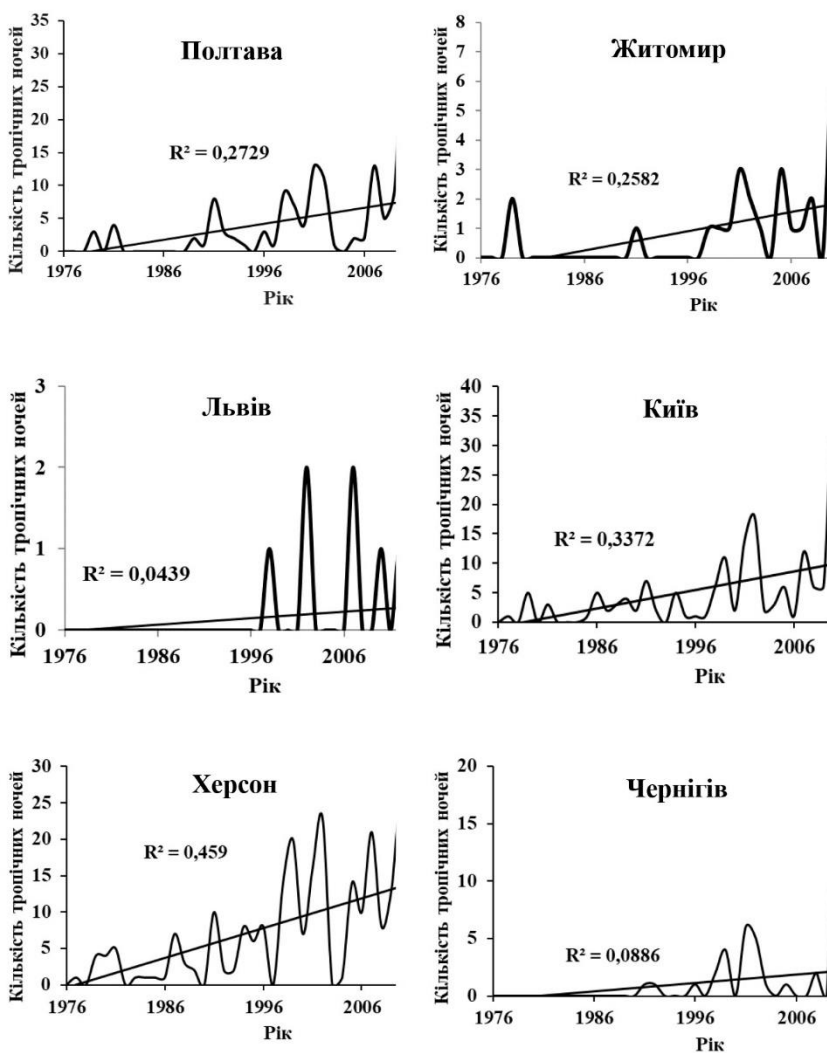


Рис. 4. Розподіл випадків тропічних ночей по деяким станціям України за період спостережень 1991-2019 рр. (укладено авторами)

Окрім аналізу повторюваності тропічних ночей, у даній роботі проведено аналіз лінійних трендів їх розподілу на зазначених станціях, що відображено на наступному рис. 5. Конфігурація ізолейн на обох (рис. 3 і рис. 5) рисунках дуже схожа. Тобто в районах із великою кількістю тропічних ночей (південь України) спостерігаються і стрімкіші тенденції до збільшення їх числа.

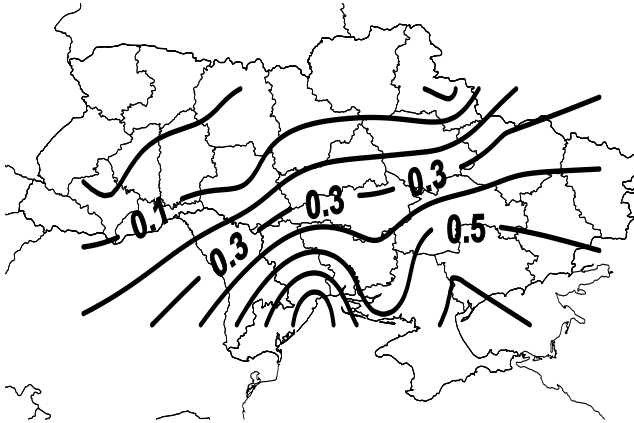


Рис. 5. Коефіцієнти лінійних трендів розподілу тропічних ночей по території України за період 1976-2019 рр. (укладено авторами)

Окрім аналізу повторюваності тропічних ночей, нами проведено аналіз лінійних трендів їх розподілу на зазначених станціях. Характеристики лінійних трендів і їх достовірність наведені у табл. 2.

Таблиця 2. Характеристики лінійних трендів розподілу тропічних ночей по станціям України за період 1991-2019 рр. (розраховано авторами)

Пункт	Тренд, днів/44 роки	Похибка, днів	Коефіцієнт детермінації	F-статистика
Полтава	0,24	0,06	0,27	15,8
Житомир	0,06	0,02	0,25	14,6
Львів	0,008	0,006	0,04	1,9
Київ	0,31	0,07	0,34	21,4
Херсон	0,41	0,07	0,46	35,6
Чернігів	0,07	0,04	0,09	4,1

Найбільший позитивний тренд, цілком очікувано, зафіксовано у Херсоні – 0,41 день / 44 роки. У Полтаві та Києві – 0,24 та 0,31 відповідно.

Чернігів, Житомир і Львів мають найменші тренди – 0,07, 0,06 і 0,01 день / 44 роки. Слід зазначити, що нами було отримано статистично значущі тренди, що підтверджується відповідними значеннями F-статистики. Лише по Львову результати не є статистично значущими, що можна пояснити незначною тривалістю ряду спостережень з наявними випадками тропічних ночей.

Інтенсивність тропічних ночей. У даному дослідженні під інтенсивністю тропічних ночей ми розуміємо збільшення кількості випадків температур повітря вище окремих порогових значень. Зокрема аналізувались випадки, коли температура повітря вночі піднімалась до позначок 20°C та 23°C.

Спостерігається стабільне збільшення випадків з мінімальними добовими температурами 20 °C і вище, а щодо порогу 23 °C, то ці значення по метеостанції Херсон в нічний час почали з'являтися з середини 90-х років минулого століття і їх кількість на сьогодні є постійною – рис. 6.

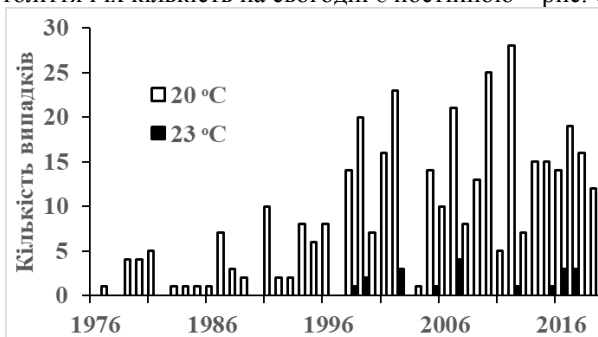


Рис. 6. Розподіл випадків тропічних ночей з температурами 20°C та 23°C по метеостанції Херсон за період спостережень 1976-2019 рр. (укладено авторами)

Відтак можна зробити висновок, що зі збільшенням повторюваності явища тропічних ночей, має місце і збільшення їх інтенсивності.

Отримані результати цілком відповідають загальновідомим трендам глобального потепління. Спостерігається прямо пропорційна залежність: підвищення температури повітря призводить до збільшення кількості тропічних ночей практично по всій території України. Слід зазначити, що інтенсивне збільшення їх повторюваності на сході та у центрі країни відбулося іще з середини 90-х років минулого століття. Впродовж останніх десятиліть явище тропічних ночей досить стабільно почало спостерігатись і у західних регіонах держави.

Крім того, слід зазначити, що явище тропічних ночей упродовж останніх років все частіше спостерігається в період адвекції жаркого повітря зі сходу, в моменти існування певних блокуючих циркуляційних процесів (коли жарка погода встановлюється на період до декількох тижнів і навіть більше) – це питання потребує додаткового вивчення. Зі збільшенням повторюваності тропічних ночей, має місце і зростання їх інтенсивності.

Використані інформаційні джерела:

1. Корнус А. О., Клок С. В., Пономарьов О. М. Тропічні ночі у місті Суми // Наукові записки Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка. Географічні науки. 2021. Т. 2, Вип. 3. С. 3–8. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6437507>
2. МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р. К. Пачаури и Л. А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 163 с.
3. Уманська О. В., Боровська Г. О., Хохлов В. М. Вплив синоптичної ситуації на виникнення спекотних та холодних погодних умов в Україні // Український гідрометеорологічний журнал. 2019. №24. С. 33–40. doi: <https://doi.org/10.31481/uhmj.24.2019.03>
4. Элизбарашвили Э. Ш., Элизбарашвили Ш.Э., Челидзе Н.З., Горгишели В.Э. Сравнительный анализ статистических характеристик тропических ночей для различных регионов Передней и Южной Азии // Труды Института гидрометеорологии Грузинского технического университета. 2017. Вып. 124, С. 55–59.
5. Daily Mean Composites / Physical Sciences Laboratory. URL: <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>
6. ETCCDI Climate Change Indices. URL: <http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml>
7. Peterson T.C. Climate Change Indices. WMO Bulletin, 2005, 54 (2), 83–86.