

Порівняльний аналіз біоклімату Харкова та Івано-Франківська в сучасний період

<https://doi.org/10.17721/2786-4561.2025.6.2.-3/15>

Шевченко О. Г., Семиліт І. Є., Костирко І. О.,
Сніжко С. І. Шинкаренко У. Ю.

Надішла: 7 вересня 2025 року

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ,
Україна, shevchenko_olga@knu.ua

Прийнята: 29 вересня 2025 року

Анотація. Стаття присвячена порівнянню біокліматичних умов міст Харкова та Івано-Франківська в сучасний період (1991–2020 рр.). Для оцінки біоклімату за даними строкових спостережень за температурою та вологістю повітря, швидкістю вітру та хмарністю, були змодельовані значення сучасного біокліматичного індексу, який ґрунтується на рівнянні енергетичного балансу тіла людини, фізіологічно-еквівалентної температури (ФЕТ). Значення індексу отримані за допомогою мікромасштабної моделі RayMan. В статті проаналізовано повторюваність різних градацій ФЕТ для кожної декади року, різних градацій швидкості вітру та кількості опадів, а також випадків, коли хмарність менше 5 октантів у обох містах. Ґрунтуючись на індексі Зупана, здійснено оцінку континентальності клімату Харкова та Івано-Франківська за тридцять років. В результаті проведеного дослідження було встановлено, низку відмінностей між біокліматом Харкова та Івано-Франківська: за рахунок коротшого періоду з холодним стресом та нижчої його інтенсивності взимку біокліматичні умови будуть сприятливішими у Івано-Франківську; Харків, незважаючи на вищі температури в теплий сезон, за рахунок нижчої вологості повітря та вищої швидкості вітру, буде децю комфортнішим за тепловідчуттями в цей період. В той же час, Харків має вищий рівень континентальності клімату (за досліджуваний період майже всі значення індексу континентальності для Харкова належать до градації «континентальний клімат», тоді як для Івано-Франківська переважаючими є значення, що відповідають «перехідній морській зоні»), відповідно там спостерігаються вищі добові амплітуди та більші часті і різкі перепади температури і зміни погоди, що може негативно позначатися на самопочутті людей, які мають хронічні захворювання.

Ключові слова: біоклімат, континентальність клімату, фізіологічно-еквівалентна температура, модель RayMan, Харків, Івано-Франківськ, індекс континентальності Зупана

Comparative analysis of the thermal comfort conditions of Kharkiv and Ivano-Frankivsk in the modern period

Shevchenko O., Semylit I., Kostyrko I., Snizhko S., Shynkarenko U.

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine,
shevchenko_olga@knu.ua

Abstract. The thermal comfort conditions of Kharkiv and Ivano-Frankivsk in the modern period (1991–2020) are compared in the paper. To analyze the thermal comfort conditions, the modern thermal index physiologically equivalent temperature (PET) was used, which is based on the equation of the human body's energy balance. The simulations of PET, based on long-term observations of air temperature and humidity, wind speed, and cloud cover, were performed utilizing the RayMan model. The paper analyzes the frequency of different grades of physiological stress for each ten-day period of the year, different grades of wind speed and precipitation, and cases when cloud cover is less than 5 octants in both cities. The continentality of the climate in Kharkiv and Ivano-Frankivsk over a thirty-year period was assessed based on the continentality index of Zupan. The research revealed some differences between the thermal comfort conditions of Kharkiv and Ivano-Frankivsk. Due to the shorter period with cold stress and its lower intensity in winter, the thermal comfort conditions will be more suitable in Ivano-Frankivsk. Kharkiv, despite higher air temperatures during the warm season, will be slightly more comfortable during this period due to lower air humidity and higher

wind speeds. At the same time, Kharkiv has a higher level of continentality (during the research period, almost all values of the continentality index for Kharkiv belong to the grade “continental climate”, while for Ivano-Frankivsk, the values corresponding to the grade “transitional maritime zone” prevail), accordingly, higher daily amplitudes and more frequent and sharp temperature fluctuations and weather changes are observed there, which can negatively affect the well-being of people with chronic diseases.

Keywords: bioclimate, climate continentality, Physiologically Equivalent Temperature, RayMan model, Kharkiv, Ivano-Frankivsk, continentality index of Zupan

Вступ. Погода і клімат значною мірою впливають на комфортність середовища для проживання людини. Для позначення такого впливу використовують термін «біоклімат», а з метою його кількісної оцінки застосовують комплексні показники, що називаються біокліматичними індексами (БІ). Високий інтерес до проблеми впливу метеорологічних параметрів на людину призвів до виникнення значної кількості біокліматичних індексів – на сьогодні їх налічується понад 160 (Potchter et al., 2018). Усі існуючі БІ можна розподілити на дві групи: 1) індекси, при розрахунку яких враховуються лише метеорологічні параметри (або рідше – метеорологічні параметри і теплоізоляція одягу); 2) індекси, що враховують всі три групи чинників, включно з енергетичним балансом людського організму (Shevchenko, 2021). Індекси, які не враховують рівняння енергетичного балансу, є дуже простими в розрахунку, це переважно індекси розроблені близько ста років тому і пізніше дещо вдосконалені, їх точність є невисокою. Тому на сьогоднішній день майже в усьому світі для оцінки біоклімату використовують індекси з другої групи.

Дослідження біоклімату України за допомогою найпростіших біокліматичних індексів, які ґрунтуються лише на значеннях метеорологічних величин та не враховують рівняння теплового балансу тіла людини, розпочалися ще у 70-х роках ХХ століття і були представлені у серії монографій Клімат Києва, Клімат Полтави, Клімат Харкова, Клімат Ужгорода, ін. (Lipinskyi et al., 2003). Однак, навіть сьогодні для вивчення біоклімату України дослідники часто застосовують ці найпростіші біокліматичні індекси (БІ), точність яких є не дуже високою. Ряд сучасних досліджень (Katerusha et al., 2018; Osadchy et al., 2010; Vrublevska & Katerusha, 2005) також ґрунтується на найпростіших біокліматичних індексах, таких як ефективна температура (ЕТ), еквівалентно-ефективна температура (ЕЕТ), радіаційна еквівалентно-ефективна температура (РЕЕТ), індекс суворості Г. Бодмана та індекс вітрового охолодження. Водночас для окремих міст та регіонів України вже здійснені біокліматичні дослідження із застосуванням сучасних методологічних підходів – біокліматичних індексів, що ґрунтуються на рівнянні енергетичного балансу тіла людини, зокрема фізіологічно-еквівалентної температури (ФЕТ) (Katerusha & Matzarakis, 2015; Shevchenko et al., 2021a; Shevchenko et al., 2020; Shevchenko et al., 2021b; Shevchenko et al., 2024; Tomczyk et al., 2023) та універсального біокліматичного індексу (UTCI) (Krzyzstof et al., 2020).

Використання біокліматичних індексів є дуже важливим, як для представлення поточної погоди (адже, однакова температура, за різних значень вологості, хмарності та швидкості вітру, може відчуватися по-різному), так і для оцінки біокліматичних умов територій. Останнє набуває особливої актуальності в умовах зміни клімату, адже, зростання температури повітря, зміна режиму зволоження та вітрового режиму територій призводить до зростання повторюваності теплового стресу в теплий сезон. Результати оцінки біоклімату можуть використовуватися для розробки заходів адаптації до зміни клімату, створення та вдосконалення Систем оповіщення про спекотну погоду, що може зашкодити здоров'ю (Heat Health Warning System – HHWS) (Shevchenko et al., 2025), оцінки рекреаційного потенціалу територій, визначення оптимального періоду для проведення спортивних та різноманітних розважальних заходів. Але при цьому дуже важливо використовувати сучасні підходи та індекси, результати оцінки з використанням яких будуть характеризуватися високою точністю.

Зважаючи на брак досліджень біокліматичних умов міст та регіонів України, які ґрунтуються на сучасних методологічних підходах і забезпечують належну точність результатів, нами для аналізу було обрано два великих міста – обласні центри зі значною кількістю населення, що розташовані майже на однаковій широті, проте завдяки низці чинників характеризуються певними відмінностями клімату та біокліматичних умов. Таким чином, метою даного дослідження є оцінка біокліматичних умов Харкова та Івано-Франківська в сучасний період з використанням сучасного біокліматичного індексу – фізіологічно-еквівалентної температури (ФЕТ) і здійснення порівняльного аналізу біоклімату цих міст.

Матеріали та методи. Івано-Франківськ (48°55' пн.ш., 24°43' сх.д., 275 м.н.р.) – обласний центр на заході України у Передкарпатті. Площа – 83.73 км², населення – 238.2 тис. осіб (2022 р.). Харків є обласним центром, що розташований на північному сході України (50°0' пн.ш., 36°14' сх.д., 154 м.н.р.), з населенням понад 1.4 млн. мешканців і площею – близько 350 км². Обидва міста знаходяться майже на однаковій широті, проте Харків розташований більш ніж на 800 км на схід від Івано-Франківська.

Згідно класифікації Кеппена-Гейгера (Köppen, 1936) обидва досліджувані міста розташовані у вологому континентальному кліматі з теплим літом (Dfb). Проте відмінності у довготі, близькість розташування Івано-Франківська до гір, а також розміщення Харкова далі в глиб континенту і відповідно частіше надходження до нього повітряних мас континентального походження, призводять до формування відмінностей ступеня континентальності клімату цих двох міст.

З метою порівняння біокліматичних умов досліджуваних міст були використані дані спостережень на метеорологічних станціях (МС) Івано-Франківськ та Харків в 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 та 21:00 за міжнародним скоординованим часом (МСЧ) за 1991–2020 рр. Дані були отримані з архіву дані Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського.

Порівняльна характеристика біоклімату Івано-Франківська та Харкова в даній роботі базується на сучасному індексі – фізіологічно-еквівалентній температурі (ФЕТ), аналізі окремих метеорологічних величин, що впливають на тепловідчуття людини, та індексі континентальності Зупана.

ФЕТ виведений з моделі теплового балансу MEMI, яка базується на рівнянні енергетичного балансу тіла людини (Hörre, 1999). Цей біокліматичний індекс залежить від значень температури та вологості повітря, швидкості вітру та середньої радіаційної температури (*mean radiant temperature* – *T_{mrt}*). Комплексний аналіз частоти використання біокліматичних індексів показав, що індекс ФЕТ є одним з чотирьох найбільш вживаних індексів, що застосовуються у біометеорології людини (Potchter et al., 2018).

Найкомфортніші умови для людини спостерігаються за значень ФЕТ в межах 18.1–23.0°C (табл. 1).

Таблиця 1. Градації фізіологічно-еквівалентної температури (Matzarakis et al., 1999).

ФЕТ (°C)	Тепловідчуття	Оцінка фізіологічного стресу
<4	Дуже холодно	Екстремальний холодний стрес
4.1–8.0	Холодно	Сильний холодний стрес
8.1–13.0	Прохолодно	Помірний холодний стрес
13.1–18.0	Злегка прохолодно	Легкий холодний стрес
18.1–23.0	Комфортно	Відсутність термічного стресу
23.1–29.0	Злегка тепло	Легкий тепловий стрес
29.1–35.0	Тепло	Помірний тепловий стрес
35.1–41.0	Спекотно	Сильний тепловий стрес
>41.1	Дуже спекотно	Екстремальний тепловий стрес

Для отримання значень індексу ФЕТ була використана модель RayMan – мікромасштабна модель, що призначена для моделювання радіаційних потоків у простих та складних середовищах (Matzarakis et al., 2010). Ця модель набула широкого застосування для вирішення біокліматичних завдань по всьому світу (включно з Україною) (Tomczyk et al., 2020; Matzarakis & Endler, 2010; Omonijo et al., 2013; Mahmoud, 2011; Lin & Matzarakis, 2011; Katerusha & Matzarakis, 2015; Matzarakis & Nastos, 2011). В даному дослідженні при моделюванні ФЕТ були використані «стандартні параметри людини» – тобто розрахунки зроблені для людини чоловічої статі, 35-ти років, зростом 175 см, вагою 75 кг, що сидить, теплопродукція дорівнює 80 В, а теплоопірність одягу – 0.9 КЛО.

Для моделювання значень ФЕТ як вхідна інформація, були використані значення температури та вологості повітря, швидкості вітру та кількості хмар. Усі метеорологічні параметри, які використовуються для розрахунку ФЕТ, мають бути виміряні на висоті 1,1 м над рівнем землі (це середня висота центру ваги людини у стоячому положенні в Європі або так звана «біометеорологічно значуща для людини висота»).

Швидкість вітру на МС вимірюється на висоті 10 метрів, тому для використання цих значень у моделі RayMan, швидкість вітру спершу була приведена до висоти 1.1 м. Розрахунки були здійснені за підходом, застосованим В. Каттлером (Kuttler, 2000):

$$WS_{1.1} = WS_h(1.1/h)^\alpha = 0.12 \times z_0 + 0.18$$

де WS_h – швидкість вітру (м/с) на висоті h (10 м), α – емпіричний показник, який залежить від шорсткості поверхні, and z_0 – висота шорсткості.

Інші метеорологічні параметри не приводилися до рівня 1.1 м, оскільки вони вимірюються на висоті 2 м і відмінності між їхніми значеннями на цій висоті і на висоті 1.1 м мінімальні і цими відмінностями можна знехтувати.

Для визначення рівня континентальності було використано значення середньої температури повітря найтеплішого місяця року (T_{max}) і середньої температури повітря найхолоднішого місяця року (T_{min}) та рівняння індексу континентальності Зупана (Vilček et al., 2016):

$$I_c = T_{max} - T_{min},$$

Для характеристики рівня континентальності клімату значення відносять до наступних градацій (Vilček et al., 2016):

- екваторіальний клімат, де $I_c = <2.5^\circ\text{C}$;
- океанічний клімат, де $I_c = 2.5\text{--}10^\circ\text{C}$;
- перехідна морська зона, де $I_c = >10\text{--}25^\circ\text{C}$;
- континентальний клімат, де $I_c = >25\text{--}40^\circ\text{C}$;
- екстремально континентальний клімат, де $I_c = >40^\circ\text{C}$.

Розрахунок середніх значень індексу ФЕТ та побудова більшості графіків виконані за допомогою програми Microsoft «Excel», графіки «Box-and-Wisker» побудовані в програмі «Statistica».

Результати та їх аналіз. Для об'єктивної оцінки біоклімату використовують дещо інший методологічний підхід, ніж при вивченні клімату. Для характеристики клімату оперують усередненими значеннями метеорологічних величин, в той час як оцінка біоклімату в першу чергу має показати наскільки комфортним чи дискомфортним є клімат місцевості і для цього значення певного біокліматичного індексу інтерпретують відносячи його до певної градації фізіологічного стресу. Усереднені значення Бі за окремі місяці чи сезони можуть використовуватися лише в якості додаткових характеристик під час оцінки біоклімату. Адже, наприклад, в теплий період або в перехідні сезони може фіксуватися значний діапазон значень Бі (які потрапляють до різних градацій), але при усередненні отримане значення Бі може потрапити до градації «комфортна погода». Тому в біокліматології для оцінки впливу клімату

на людський організм найчастіше використовують наступний підхід: отримані значення БІ для певного періоду відносять до певної градації (наприклад, комфортної погоди, погоди з тепловим стресом різної інтенсивності, тощо) і розраховують повторюваність днів, що належать до цієї градації за обраний часовий відрізок (десятиденка, місяць або сезон). (Shevchenko, 2021). Саме тому для аналізу біокліматичних умов Харкова та Івано-Франківська, на основі розрахованих значень ФЕТ за кожен строк спостережень за 1991–2020 рр., була визначена повторюваність різних градацій даного БІ за кожен десятиденку року (рис. 1).

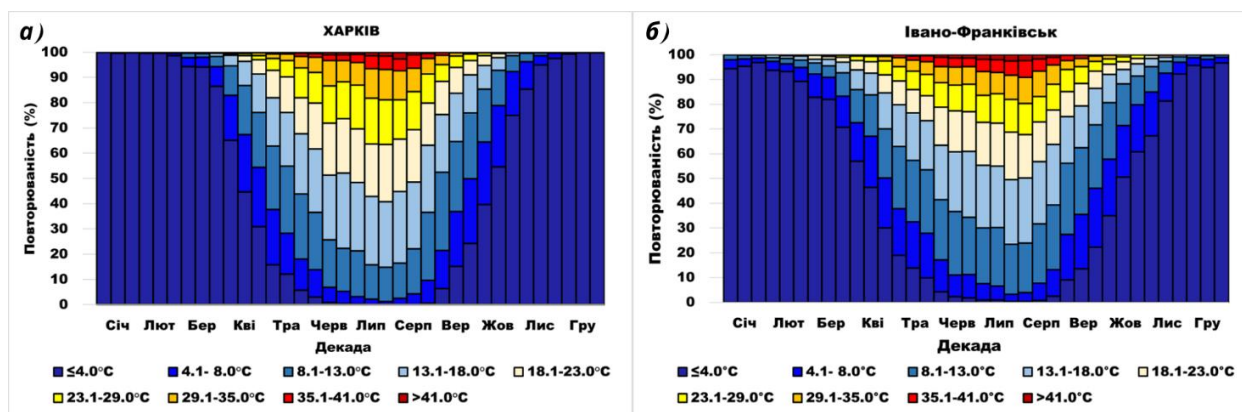


Рис. 1. Повторюваність різних градацій ФЕТ (°C) а) для Харкова та б) Івано-Франківська для кожного 10-денного періоду року за 1991–2020 рр.

Аналіз повторюваності значень ФЕТ за досліджуваний період показав, що холодний стрес (ФЕТ < 18°C) фіксувався в усі місяці року на обох досліджуваних метеорологічних станціях. У Харкові лише холодний стрес спостерігався в усі строки спостережень у січні, лютому та грудні. Повторюваність екстремального холодного стресу (ФЕТ < 4°C) в цей період становила 99.3–100.0%. В Івано-Франківську період, коли фіксувався лише холодний стрес є коротшим (січень та грудень), а декад, коли фіксувався лише екстремальний холодний стрес – взагалі не зафіксовано. Найвищі значення повторюваності екстремального холодного стресу спостерігалися у третій декаді січня та сягали 96.9%. Висока частота екстремального холодного стресу характерна і для інших регіонів України, для яких проводилися дослідження, що базуються на використанні індексу ФЕТ і такому ж методологічному підході. Наприклад, на МС Світязь частота екстремального холодного стресу взимку (грудень–лютий) становила від 92.5% до 99.3%, в Одесі – від 88.4% до 96.7% (Shevchenko et al., 2023), а на МС Дніпропетровської області – від 94.5% до 99.8% (Shevchenko et al., 2024). Найвища повторюваність комфортної погоди (10% і вище) спостерігалася з травня до третьої декади вересня у Харкові (10.2–22.7%) та з останньої декади травня до першої декади вересня – у Івано-Франківську (10.0–19.1%).

Тепловий стрес в окремі строки спостережень зафіксовано у Харкові з другої декади березня до кінця жовтня, проте зростання його повторюваності понад 10.0% відмічається з останньої декади травня до першої декади вересня (11.5–36.5%). У Івано-Франківську тепловий стрес в окремі строки спостережень зафіксовано з третьої декади лютого до третьої декади листопада. Зростання його повторюваності понад 10.0% відбувається з травня по третю декаду вересня (10.7–32.3%). Максимальні значення частоти теплового стресу для Івано-Франківська спостерігалися в третій декаді липня та першій декаді серпня (31.3% та 32.3% відповідно), а для Харкова – у другій та третій декаді липня (36.4% та 36.5% відповідно). Результати досліджень, проведених за тією ж методологією і за такий же період свідчать, що максимальна частота всіх градацій теплового стресу у Світязі та Одесі спостерігалася в останню декаду липня та першу декаду серпня і становила трохи більше 40% для Світязя та

майже 50% для Одеси (Shevchenko et al., 2023), у Дніпропетровській області найвища повторюваність теплового стресу фіксується у другій декаді липня і варіюється від 39.1% до 50.0% на різних МС (Shevchenko et al., 2024).

Повторюваність сильного та екстремального теплового стресу в літні місяці у Івано-Франківську становить 4.1–9.1%, у Харкові – 2.0–7.4%. Швидкість вітру безпосередньо впливає на тепловідчуття людини, підвищуючи/знижуючи холодний чи тепловий стрес, або сприяючи формуванню комфортних біокліматичних умов. Майже в усі місяці року середня швидкість вітру на МС Харків є вищою, ніж на МС Івано-Франківськ, на 1 м/с і вище. У холодний період року (листопад–березень) середні значення становлять близько 4 м/с для Харкова та 2.5–3.2 м/с для Івано-Франківська. Влітку в обох містах спостерігається зниження швидкості вітру – у Харкові до 3.1–3.5 м/с, в Івано-Франківську – 2.1–2.6 м/с (табл. 2).

Таблиця 2. Середня швидкість вітру (м/с) на МС Харків та Івано-Франківськ у сучасний період

МС/місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Харків	4.0	4.3	4.4	4.1	3.6	3.5	3.2	3.1	3.4	3.6	4.0	4.2	3.8
Івано-Франківськ	2.7	3.0	3.2	3.0	2.7	2.6	2.4	2.1	2.2	2.4	2.6	2.5	2.6

У Харкові та Івано-Франківську протягом року переважає швидкість вітру 2–5 м/с (рис. 2). У Харкові повторюваність такої швидкості вітру становить понад 59.7%, з максимумом 72.3% у першій декаді серпня. У Івано-Франківську протягом всіх декад року повторюваність швидкості вітру 2–5 м/с перевищує 45.9%, а максимальне значення сягає 61.9% у третій декаді червня. Слабкий вітер (до 1 м/с) значно частіше спостерігається саме в Івано-Франківську, де його повторюваність протягом року варіюється від 22.7 до 42.6%, в той час як у Харкові – від 6.6 до 18.3%.

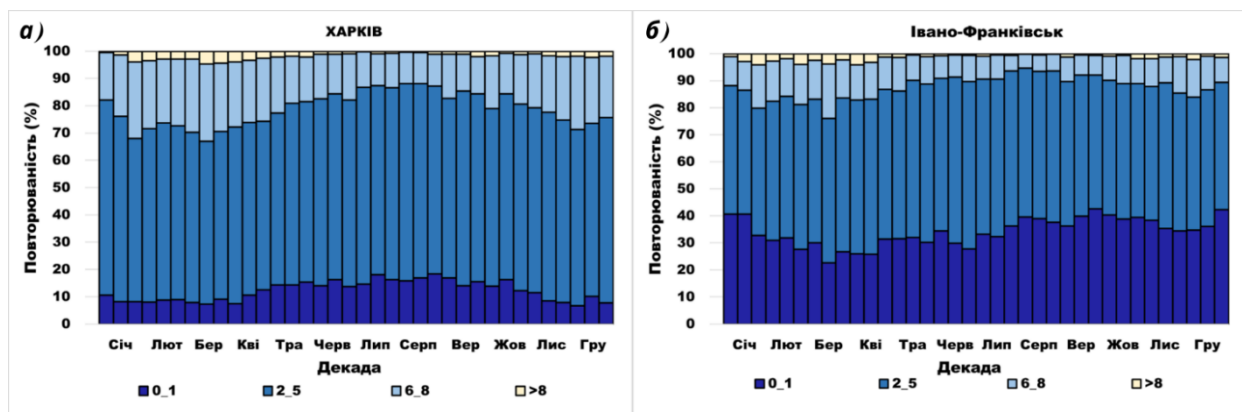


Рис. 2. Повторюваність градацій швидкості вітру а) для Харкова та б) для Івано-Франківська за період 1991–2020 рр.

Харків характеризується більш посушливими умовами – річна кількість опадів у цьому місті становить 560.0 мм і є на 93.1 мм нижча, порівняно з Івано-Франківськом (табл. 3).

Таблиця 3. Середня кількість опадів (мм) на МС Харків та Івано-Франківськ за 1991–2020 рр.

МС/місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Харків	36.7	32.2	36.8	31.8	54.2	58.0	63.3	39.2	44.1	44.4	39.7	39.9	560.0
Івано-Франківськ	28.3	31.6	39.5	43.8	79.9	93.6	93.7	65.1	64.0	49.1	31.8	32.7	653.1

У Івано-Франківську кількість опадів була вищою ніж у Харкові в усі місяці року, за винятком зимових та листопада. Різниця кількості опадів між Харковом та Івано-Франківськом впродовж року коливається від 0.6 мм у лютому до 35.6 мм у червні. Упродовж

року як у Харкові, так і в Івано-Франківську переважає погода без опадів або без істотних опадів, однак повторюваність таких днів у Харкові вища (86.8 – 96.9%, в той час як у Івано-Франківську – 87.2–92.9%) (рис. 3). Значні або сильні опади (>15 мм) фіксуються в обох містах з весни до осені, однак у Івано-Франківську як триваліший період, коли такі опади фіксуються, так і вища їх повторюваність. У Харкові такий період триває з травня по серпень, з максимумом 0.4% (третья декада червня), тоді як в Івано-Франківську – з травня до другої декади жовтня, і з вищими максимальними значеннями: 0.6% у червні та 0.7% у липні.

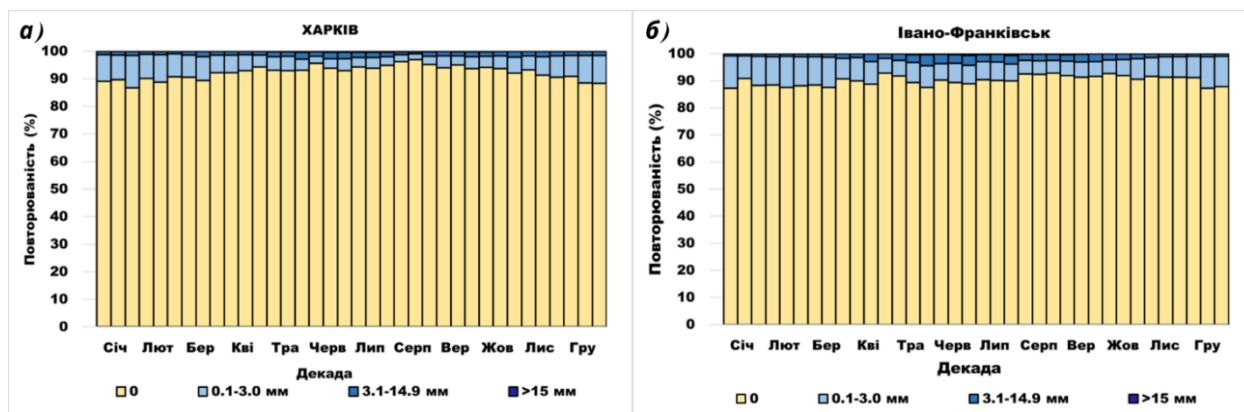


Рис. 3. Частота повторюваності градацій кількості опадів а) для Харкова та б) для Івано-Франківська за 1991–2020 рр.

Хмарність також здійснює істотний вплив на тепловідчуття людини і на формування біокліматичних умов місцевості. Вона визначає надходження сонячної радіації (таким чином впливаючи на тепловідчуття) і опосередковано впливає на вологість повітря.

Для аналізу режиму хмарності було використано дані строкових спостережень, що були відтворені у діаграмах повторюваності випадків, коли кількість хмар була менше 5 октантів на МС Харків та Івано-Франківськ (рис. 4).

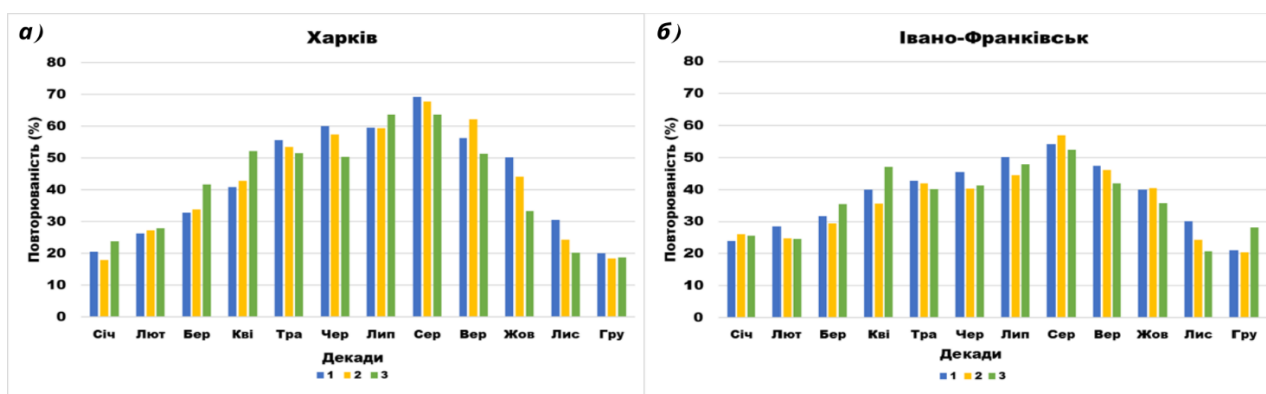


Рис. 4. Повторюваність випадків з хмарністю менше 5 октантів а) для Харкова та б) Івано-Франківська за період 1991–2020 рр.

Повторюваність хмарності менше 5 октантів на МС Харків понад 50% спостерігається у період з третьої декади квітня по першу декаду жовтня, найвищі значення припадають на першу декаду серпня зі значенням 69.2%, впродовж усіх декад року найменше значення цього показника фіксується у другій декаді січня – 17.9%.

У Івано-Франківську повторюваність кількості хмар менше 5 октантів дещо нижча, адже лише у першій декаді липня та у серпні значення перевищували 50%. Починаючи з третьої декади квітня по третю декаду вересня, а також у другу декаду жовтня значення повторюваності кількості хмар менше 5 октантів перевищували 40%. Максимальне значення

цього показника зафіксовано у другій декаді серпня – 57.0%, тоді як найменше у другій декаді грудня – 20.4%.

У містах Харків та Івано-Франківськ зростання повторюваності випадків хмарності менше 5 октантів спостерігається у схожі періоди – з третьої декади квітня. Зменшення частоти малохмарної погоди фіксується також майже синхронно: на МС Харків – з першої декади жовтня, а на МС Івано-Франківськ – з другої декади жовтня, що вказує на загальну сезонну динаміку зміни циркуляційних умов. Вища повторюваність малохмарної погоди у Харкові порівняно з Івано-Франківськом пояснюється насамперед кліматичними та географічними відмінностями. Клімат Харкова характеризується вищою континентальністю, в місті частіше спостерігається антициклонна (а відповідно, малохмарна погода), особливо в теплий період року. На режим хмарності також впливає складніша орографія поблизу Івано-Франківська – місто розташоване поблизу Карпат, що створює сприятливі умови для формування хмарності внаслідок орографічного підйому повітря. Крім того, західна частина території України частіше зазнає впливу вологих повітряних мас з Атлантики, що також сприяє зростанню повторюваності хмарних днів. Тому навіть у літній період повторюваність малохмарних днів у Івано-Франківську нижча, ніж у Харкові.

Континентальність клімату – це сукупність характерних рис клімату, що визначається впливом континенту на процеси формування клімату. Головною ознакою континентального клімату є амплітуда температури повітря – чим більшою є річна амплітуда температури, тим більш континентальним вважається клімат (Nepsha & Stetsyshyn, 2017). Значні перепади значень метеорологічних величин (в тому числі – температури повітря) негативно впливають на самопочуття та здоров'я людей з хронічними захворюваннями, відповідно клімату, які характеризуються високою континентальністю будуть здійснювати подразнюючий ефект на здоров'я населення.

Аналіз значень індексу континентальності Зупана свідчить про виразні відмінності у рівні континентальності клімату Харкова та Івано-Франківська в сучасний період. Упродовж усього аналізованого періоду майже всі значення індексу континентальності (Ic) для Харкова належать до градації «континентальний клімат», тоді як для Івано-Франківська переважаючими є значення, що відповідають «перехідній морській зоні». Середнє значення індексу за 1991–2020 рр. становить 29.0°C для МС Харків та 24.6°C – для МС Івано-Франківськ. У деякі роки різниця між цими показниками була особливо значною: 10.5°C – у 2011 р., 7.1°C – у 2001 р., 6.9°C – у 2010 р.

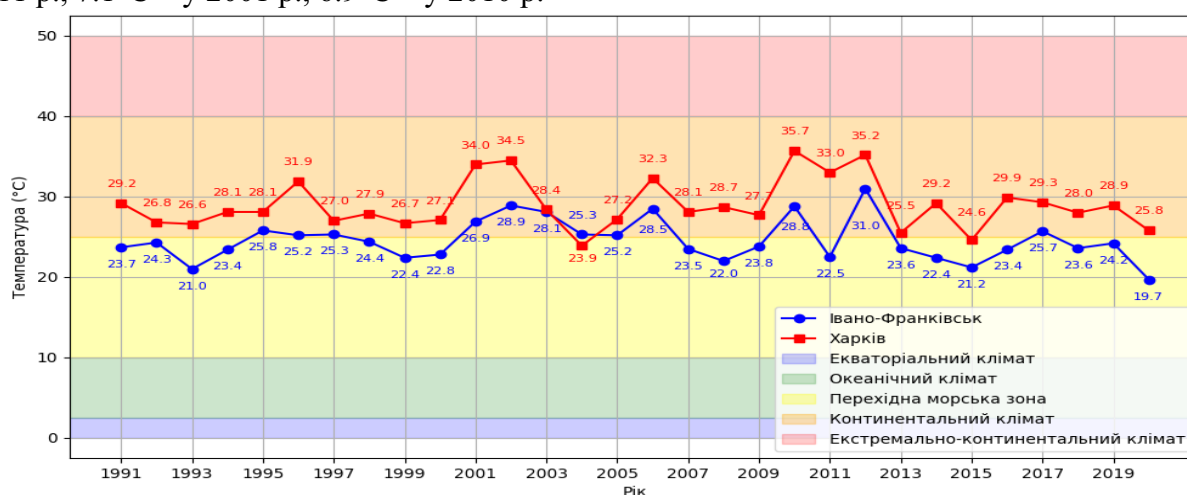


Рис. 5. Значення індексу континентальності Зупана для МС Харків та Івано-Франківськ за 1991–2020 рр.

Протягом тридцятирічного періоду спостережень (1991–2020 рр.) на фоні міжрічних коливань значень індексу континентальності Зупана, чіткої тенденції до зниження чи підвищення рівня континентальності не виявлено ні в Харкові, ні в Івано-Франківську. У

Харкові індекс змінювався в межах 23.9–35.7°C, тоді як в Івано-Франківську – від 19.7 до 31.0°C (рис. 5).

У окремі роки зміни значень індексу континентальності (зростання або зниження) на обох МС відбувалися синхронно, що свідчить про вплив масштабних атмосферних процесів, які формували температурні аномалії на регіональному рівні. Проте така синхронність простежується не завжди. Максимальне значення індексу континентальності зафіксовано у 2010 році в Харкові й становило 35.7°C. Його зростання, імовірно, пов'язане з інтенсивною хвилею тепла, внаслідок якої температури повітря досягали надзвичайно високих значень – до +39.8°C (Svintsitska & Shevchenko, 2017).

Висновки. Отже, в результаті проведеного дослідження було встановлено, низку відмінностей між біокліматом Харкова та Івано-Франківська. У Харкові період з холодним стресом є тривалішим, а повторюваність екстремального холодного стресу – вищою. Період з повторюваністю теплового стресу понад 10.0% у Харкові є коротшим на 4 декади, а повторюваність сильного та екстремального теплового стресу в літні місяці у Харкові є дещо нижчою, ніж у Івано-Франківську – 2.0–7.4% та 4.1–9.1%, відповідно. Період з повторюваністю комфортної погоди понад 10% у Харкові є довшим на 4 декади і триває з початку травня до третьої декади вересня (10.2–22.7%), в той час як у Івано-Франківську такі умови фіксуються з останньої декади травня до першої декади вересня (10.0–19.1%). Середня швидкість вітру майже в усі місяці року на 1 м/с і більше є вищою у Харкові. Протягом року у обох містах переважає швидкість вітру 2–5 м/с, її повторюваність у Харкові становить понад 59.7%, у Івано-Франківську – понад 45.9%. Слабкий вітер (до 1 м/с) частіше спостерігається в Івано-Франківську (його повторюваність протягом року – від 22.7 до 42.6%, у Харкові – від 6.6 до 18.3%). У Харкові спостерігається вища повторюваність малохмарної погоди, а річна кількість опадів нижча на 93.1 мм, порівняно з Івано-Франківськом. Упродовж року як у Харкові, так і в Івано-Франківську переважає погода без опадів або без істотних опадів, однак повторюваність таких днів у Харкові дещо вища (86.8 – 96.9%, в той час як у Івано-Франківську – 87.2–92.9%). Ступінь континентальності клімату є вищим у Харкові, чіткої тенденції до зниження чи підвищення рівня континентальності не виявлено в жодному з досліджуваних міст.

Таким чином, за рахунок коротшого періоду з холодним стресом та нижчої його інтенсивності взимку біокліматичні умови будуть сприятливішими у Івано-Франківську. Харків, хоча й характеризується вищими температурами в теплий сезон, проте за рахунок нижчої вологості повітря та вищої швидкості вітру, буде дещо комфортнішим за тепловідчуттями в цей період. В той же час, Харків має вищий рівень континентальності клімату, відповідно там спостерігаються вищі добові амплітуди та більш часті і різкі перепади температури і зміна погоди, що може негативно позначатися на самопочутті людей, які мають хронічні захворювання.

References

- Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature - A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 71–75. <https://doi.org/10.1007/s004840050118>.
- Katerusha, G. P., Safranov, T. A., & Katerusha, O. V. (2018). *Mozhlyvi zminy bioklimatychnykh umov zymovoho periodu v Ukraini* (Possible changes of bioclimatic conditions of the winter period in Ukraine). *Liudyna ta dovkillia. Problemy neokolohii*, 30, 17–27. (In Ukrainian).
- Katerusha, O., & Matzarakis, A. (2015). Thermal bioclimate and climate tourism analysis for Odessa, Black Sea. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 97(4), 671–679. <https://doi.org/10.1111/geoa.12107>.
- Köppen, W. (1936). Das geographische System der Klimate. In W. Köppen & R. Geiger (Eds.), *Handbuch der Klimatologie* (p. 46). Gebrüder Borntraeger. (In German).

- Krzysztof, B., Nejedlik, P., Skrynyk, O., Halaś, A., Skrynyk, O., Błażejczyk, A. & Mikulova, K. (2020). Influence of geographical factors on thermal stress in northern Carpathians. *International Journal of Biometeorology*. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02011-x>.
- Kuttler, W. (2000). Stadtklima. In R. Guderian (Ed.), *Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie, Band 1B: Atmosphäre* (pp. 420–470). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-57087-2>. (In German).
- Lipinsky, V. M., Dyachuk, V. A., & Babichenko, V. M. (Eds.). (2003). *Klimat Ukrainy (Climate of Ukraine)*. – Kyiv: Vydavnytstvo Raievskoho (In Ukrainian).
- Mahmoud, A. (2011). Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions. *Building and Environment*, 46, 2641–2656. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.025>.
- Matzarakis, A. & Endler, C. (2010). Climate change and thermal bioclimate in cities: Impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. *International Journal of Biometeorology*, 54, 479–483. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0296-2>.
- Matzarakis, A., Mayer, H., & Iziomon, M. G. (1999). Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 76–84. <https://doi.org/10.1007/s004840050119>.
- Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2010). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 54(2), 131–139. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0261-0>.
- Lin, T.-P., & Matzarakis, A. (2011). Tourism climate information based on human thermal perception in Taiwan and Eastern China. *Tourism Management*, 32(3), 492–500. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2010.03.017>.
- Matzarakis, A., & Nastos, P. (2011). Analysis of tourism potential for Crete island, Greece. *Global Nest Journal*, 13, 141–149. <https://doi.org/10.30955/gnj.000774>.
- Nepsha, O. V., & Stetsyshyn, M. M. (Eds.). (2017). *Hlosarii terminiv ta poniat z kursiv «Meteorolohiia i klimatolohiia» ta «Hidrolohiia»* (Glossary of terms and concepts from the courses 'Meteorology and Climatology' and 'Hydrology']. Melitopol: MDPU im. B. Khmelnytskoho (In Ukrainian).
- Osadchyi, V. I., Kosovets, O. O., & Babichenko, V. M. (2010). *Klimat Kyieva (Climate of Kyiv)*. Kyiv: Nika-Center. (In Ukrainian)
- Omonijo, A., Adeofun, C., Oguntoke, O., & Matzarakis, A. (2013). Relevance of thermal environment to human health: A case study of Ondo State, Nigeria. *Theoretical and Applied Climatology*, 113, 205–212. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0777-9>.
- Potchter, O., Cohen, P., Lin, T.-P., & Matzarakis, A. (2018). Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review. *Science of the Total Environment*, 631–632, 390–406. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276>.
- Shevchenko, O. (2021). *Teoretyko-metodolohichni zasady kompleksnykh doslidzhen urbometeorolohichnykh transformatsii u mistakh* (Theoretical and methodological foundations of complex studies of urban-meteorological transformations in cities]. Kyiv: DIA. (In Ukrainian).
- Shevchenko, O., Snizhko, S., & Matviienko, M. (2021a). Human-biometeorological assessment of Kharkiv (Ukraine) in the summer season. *Hrvatski meteorološki časopis*, 54/55(54/55), 43–54. <https://doi.org/10.37982/hmc.54.55.1.4>.
- Shevchenko, O., Snizhko, S., & Matviienko, M. (2021b). Thermal comfort conditions during heat wave events in Lviv. *Konstruktyvna heohrafiia ta ratsionalne vykorystannia pryrodnykh resursiv*, 1(1), 15–24 (In Ukrainian).
- Shevchenko, O., Snizhko, S., & Matzarakis, A. (2020). Recent trends on human thermal bioclimate conditions in Kyiv, Ukraine. *Geographia Polonica*, 93(1), 89–106. <https://doi.org/10.7163/GPol.0164>.
- Shevchenko, O., Sulzer, M., Christen, A., & Matzarakis, A. (2025). Coupling indoor and outdoor heat stress during the hot summer of 2022: A case study of Freiburg, Germany. *Atmosphere*, 16, 167. <https://doi.org/10.3390/atmos16020167>.
- Shevchenko, O., Snizhko, S., Gryniuk, O., & Matzarakis, A. (2023). A comparison of the tourist potential of the climates of the coastal resort at Odesa and the inland resort by Lake Svityaz. *Atmosphere*, 14(3), 460. <https://doi.org/10.3390/atmos14030460>.

- Shevchenko, O., Snizhko, S., Zapototskyi, S., Kostyrko, I., & Semylit, I. (2024). Thermal comfort conditions of the Dnipropetrovsk region in the modern period. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 33(4), 817–829. <https://doi.org/10.15421/112474>.
- Svintsitska, H., & Shevchenko, O. (2017). Doslidzhennia khvyl tepla litnoho sezonu v skhidnykh oblastiakh Ukrainy (The research of summer period heat waves in Eastern regions of Ukraine), *Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia*, 4(88), 91–98. (In Ukrainian)
- Tomczyk, A. M., Shevchenko, O., & Matzarakis, A. (2023). Biometeorological conditions during cold spells in south-east Poland and west Ukraine. *International Journal of Biometeorology*. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02559-4>.
- Tomczyk, A., Bednorz, E., & Matzarakis, A. (2020). Human-biometeorological conditions during heat waves in Poland. *International Journal of Climatology*, 40, 5043–5055. <https://doi.org/10.1002/joc.6503>.
- Vilček, J., Škvarenina, J., Vido, J., Nalevanková, P., Kandřík, R., & Škvareninová, J. (2016). Minimal change of thermal continentality in Slovakia within the period 1961–2013. *Earth System Dynamics*, 7(3), 735–744. doi:10.5194/esd-7-735-2016.
- Vrublevska, O. O., & Katerusha, G. P. (2005). *Prykladna klimatolohiia: Konspekt leksii (Applied climatology: Lecture notes)*. Odesa: TES. (In Ukrainian)