

<https://doi.org/10.26565/1992-4259-2026-34-02>

УДК(UDC): 551.524.3:613.1(477.54-25)

Н. В. МАКСИМЕНКО¹, д-р географ. наук, проф.,
завідувачка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи
e-mail: maksymenko@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>

Д. С. ДОЛЯ¹,
здобувач освіти першого (бакалаврського) рівня,
e-mail: dmytro.dolia@student.karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-0283-4116>

¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, м. Харків, Україна 61022

БАГАТОРІЧНА ДИНАМІКА ПАТОГЕННОСТІ ПОГОДИ ТА БІОКЛІМАТИЧНОГО КОМФОРТУ У МІСТІ ХАРКІВ

Мета. Визначення основних тенденцій багаторічної зміни показників патогенності погоди у м. Харків на основі адаптованої авторами методики визначення індексів патогенності погоди.

Методи. Оцінювання проведено на основі індексу патогенності погоди (J), який враховує комплексний вплив основних метеорологічних параметрів на організм людини.

Результати. Досліджено багаторічну динаміку патогенності погоди та біокліматичного комфорту у місті Харків. Проаналізовано сезонну та міжрічну мінливість показників упродовж 2017–2025 рр. Визначено особливості формування сприятливих і несприятливих біокліматичних умов у різні пори року. На основі аналізу основних метеорологічних показників (температура і вологість повітря, швидкість вітру, атмосферний тиск та їх міждобові коливання) встановлено, що найвищі значення патогенності погоди характерні для холодного періоду року. У цей час спостерігаються підвищені значення індексу J (>20), що зумовлено поєднанням низьких температур, значної швидкості вітру та різких міждобових коливань метеорологічних показників. У літній сезон загалом переважають найбільш комфортні біокліматичні умови (J < 9). Середні значення індексу J у цей період є найнижчими за рік, що пов'язано з відносною стабільністю атмосферних процесів і меншою контрастністю метеорологічних параметрів. Весняний і осінній періоди характеризуються значною нестійкістю погодних умов і підвищеною варіабельністю індексу патогенності. Міжрічний аналіз продемонстрував тенденцію до підвищення мінливості значень індексу патогенності упродовж досліджуваного періоду.

Висновки. Підтверджено доцільність використання індексу патогенності погоди як інтегрального показника оцінки біокліматичного стану урбанізованих територій. Практичне значення дослідження полягає у можливості застосування результатів для медико-метеорологічного прогнозування, оцінки рекреаційного потенціалу території, а також розроблення заходів адаптації населення до несприятливих погодних умов в умовах кліматичних змін.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: кліматичні зміни, патогенність погоди, біокліматичний комфорт, індекс патогенності, медична метеорологія, міський клімат

Як цитувати: Максименко Н. В., Доля Д. С. Багаторічна динаміка патогенності погоди та біокліматичного комфорту у місті Харків. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2026. Вип. 34. С. 31-41. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2026-34-02>

In cites: Maksymenko N. V., & Dolia, D. S. (2026). Long-term dynamics of weather pathogenicity and bioclimatic comfort in the city of Kharkiv. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (34), 31-41. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2026-34-02> (in Ukrainian)

Вступ

Однією із глобальних цілей сталого розвитку є 13. Боротьба зі зміною клімату, що спонукає вчених проводити глибокі дослід-

ження динаміки кліматичних показників та чинників, що її спричиняє. В цих дослідженнях значне місце посідають роботи, що вивча-



ють зв'язок змін клімату і захворюваністю населення. Метеочутливість, метеозалежність і метеопрофілактика стали невід'ємною складовою медико-екологічних досліджень. Наприклад, класичне дослідження зв'язку між погодними умовами та больовими симптомами у пацієнтів з хронічним болем представлене в роботі [1], яка висвітлює феномен метеочутливості (weather sensitivity), який є важливим проявом патогенної дії погоди. Регіональні дослідження, присвячені оцінці комфортності погодних умов містяться в роботах [2, 3, 4, 5], але з різних ракурсів. Якщо робота [2] простежує біокліматичні характеристики Київського регіону та тенденції їх змін в умовах кліматичного потепління та оцінює комплексний вплив метеорологічних чинників на людину, то роботи [3-5] оцінюють комфортність погоди за загальним індексом патогенності погоди (ППП).

Систематичний огляд теплового сприйняття та стратегій адаптації людини в різних кліматичних зонах світу [6] розглядає суб'єктивні аспекти впливу погоди, що доповнює концепцію патогенності погоди, але фокусується переважно на термічному сприйнятті, а не на інтегральному кількісному індексі типу ППП. У той же час, для об'єктивної оцінки ролі того чи іншого кліматичного чинника в створенні комфортного для людини середовища існування все частіше науковці використовують певні індекси.

Класична робота [7], присвячена Physiologically Equivalent Temperature (PET) – універсальному термічному індексу, який інтегрує вплив температури, вологості, вітру та радіації на тепловий баланс організму людини.

Стаття [8] представляє Meteorological Contrast Index – індекс метеорологічних контрастів (різких змін погодних умов). Цей індекс акцентує увагу на динамічних змінах метеофакторів, які є однією з ключових складових патогенності погоди.

Детальний огляд історії, методології та обмежень індексу Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) представлено у роботі [9]. WBGT є практичним інтегральним індексом теплового навантаження, що зосереджується особливо

на оцінці впливу на працездатність і безпеку людини, хоча й з меншим акцентом на атмосферний тиск та електричний стан атмосфери.

Аналіз теплових ризиків на Олімпійських іграх у Парижі-2024 та політик міжнародних федерацій наведено у [10]. Джерело демонструє сучасне практичне застосування біокліматичних індексів (зокрема WBGT) для оцінки ризиків для здоров'я.

Окрема група робіт використовує Універсальний кліматичний термальний індекс (UTCI), що враховує теплопередачу всередині тіла та між його окремими частинами, а також між поверхнею тіла та навколишнім середовищем. Така модель теплообміну складається з двох підсистем: пасивної та активної [11, 12]. Пасивна підсистема включає фізичні елементи механізму теплопереносу всередині тіла та на його поверхні, тоді як активна підсистема включає фізіологічний механізм терморегуляції. UTCI – це інструмент, який полегшує такі порівняння та оцінки незалежно від кліматичної зони та пори року, і є незалежним від таких особистих ознак, як стать, вік, фізична активність і одяг [13]. Системний огляд застосування Universal Thermal Climate Index (UTCI) як медичного прогностичного інструменту в умовах зміни клімату [14] показав, що UTCI є одним з найближчих сучасних міжнародних аналогів ППП, оскільки є інтегральним індексом, що оцінює комплексний вплив метеорологічних факторів на фізіологічний стан людини. UTCI використовується, наприклад, у дослідженнях із оцінки біокліматичного потенціалу для туризму та відпочинку [15], оцінці міського біоклімату [16] та багатьох інших сферах.

Таким чином, глобальні зміни клімату є важливою проблемою сталого розвитку. Саме залежність від клімату здоров'я і самопочуття людини, його умов проживання, а подекуди і безпеки людини спонукають наукову спільноту до пошуку об'єктивних параметрів для прогнозу змін. *Метою дослідження* є: визначення основних тенденцій багаторічної зміни показників патогенності погоди у м. Харків на основі адаптованої авторами методики визначення індексів патогенності погоди.

Матеріали і методи

Натепер, як показано вище, в Світі сформувалось декілька біокліматичних індексів, які можуть слугувати тим математич-

ним інструментом, що може дати кількісну, а як наслідок – і якісну оцінку комфортності довкілля для людини.

В дослідженнях українських вчених зустрічаються такі ключові показники [17]:

- Індекс суворості погоди Бодмана (S)
- Вітрово-холодовий індекс Сайпла і Пассела (K_0) – використовуються переважно для оцінки холодового стресу в зимовий період.
- Індекс патогенності В. Бокші (I_{sum}) – комплексний показник, що враховує динаміку температури, вологості, швидкості вітру, хмарності та міждобову мінливість тиску [18].

На думку [17] останній найповніше відповідає потребам науковців у оцінці патогенності погоди, що доведено в просторово-часовому аналізі розподілу біокліматичного індексу В. Бокші на території України (26 міст, 2018–2023 рр.) та розробці автоматизованого застосунку для його розрахунку. Це джерело є прямим прикладом використання індексу патогенності погоди (ІПП) в українській науці, що ідеально відповідає визначенню ІПП як інтегральної характеристики несприятливого впливу комплексу метеофакторів.

Авторами для оцінки біометеорологічного впливу погодних умов на організм людини застосовано індекс патогенності погоди (J), розрахований за методикою що міститься у працях В. Бокші та адаптованою авторами до потреб цього дослідження.

Індекс патогенності погоди визначається як інтегральний показник, що враховує сумарний вплив основних метеорологічних факторів і їх міждобових змін:

$$J = a | T - T_{opt} | + b | f - f_{opt} | + cv + d | p - p_{opt} | + e | \Delta T | + k | \Delta p | \quad (1)$$

Де: T — середньодобова температура повітря, °C;

f — відносна вологість повітря, %;

v — швидкість вітру, м/с;

p — атмосферний тиск, гПа;

ΔT — міждобова зміна температури повітря, °C;

Δp — міждобова зміна атмосферного тиску, гПа.

Як оптимальні значення метеорологічних параметрів прийнято: температура повітря $T_{opt} = 18^\circ\text{C}$, відносна вологість $f_{opt} = 60\%$, атмосферний тиск $p_{opt} = 1013\text{гПа}$.

Температурна складова

$$J_t = a \cdot | T - T_{opt} | \quad (2)$$

Де: T — середньодобова температура;

T_{opt} — оптимальна (зазвичай $+18^\circ\text{C}$);

$a = 0.2-0.3$.

Вологість повітря

$$J_f = b \cdot | f - f_{opt} | \quad (3)$$

Де: f – відносна вологість (%);

$f_{opt} = 60\%$; $b \approx 0.05-0.06$

Швидкість вітру

$$J_v = c \cdot v \quad (4)$$

Де: v – швидкість вітру (м/с);

$c \approx 0.5-0.7$

Атмосферний тиск

$$J_p = d \cdot | p - p_{opt} | \quad (5)$$

Де: p – тиск (гПа або мм рт. ст.);

$p_{opt} = 1013$ гПа(або 760 мм);

$d \approx 0.02-0.03$

Міждобова зміна температури

$$J_{\Delta T} = e \cdot | \Delta T | \quad (6)$$

Де: $\Delta T = T_{\text{сьогодні}} - T_{\text{вчора}}$; $e \approx 0.5-1.0$

Міждобова зміна тиску

$$J_{\Delta p} = k \cdot | \Delta p | \quad (7)$$

Де: $\Delta p = p_{\text{сьогодні}} - p_{\text{вчора}}$; $k \approx 0.03-0.05$

Коефіцієнти вагомості прийнято відповідно до адаптованих варіантів методики: $a = 0,2-0,3$, $b = 0,05-0,06$, $c = 0,5-0,7$, $d = 0,02-0,03$, $e = 0,5-1,0$, $k = 0,03-0,05$.

Отримані значення індексу J інтерпретувалися за наступною шкалою:

- $0 < J < 9$ – оптимальні погодні умови;
- $9 \leq J < 25$ – подразнювальні погодні умови;
- $J \geq 25$ – гострі погодні умови.

Додатково для оцінки біокліматичного навантаження використовувався показник подразнювальної дії погоди (R), який аналізувався за аналогічною шкалою градації.

Статистична обробка результатів виконувалася з використанням стандартних методів описової статистики. Візуалізація даних здійснювалася шляхом побудови залежностей у програмі Microsoft Excel та теплової карти із застосуванням кольорової кодифікації рівнів біометеорологічного впливу з використанням алгоритмів NoteBookLM

У роботі використано результати щоденних метеорологічних спостережень за основними кліматичними показниками (температура повітря, відносна вологість, швидкість вітру, атмосферний тиск) за період з 2017 по 2025 рік [19, 20, 21].

Результати та обговорення

У контексті сучасних глобальних кліматичних трансформацій особливої актуальності набуває кількісна оцінка впливу метеорологічних чинників на функціональний стан людського організму. Використання комплексних біокліматичних показників, зокрема індексу патогенності погоди (J-index), дозволяє інтегрально оцінити рівень подразнювальної дії атмосфери та ідентифікувати періоди найбільшого біотропного ризику для населення. Представлений аналіз базується на результатах моніторингу метеорологічних умов у м. Харків за період 2017–

2025 рр., що дає змогу об'єктивно оцінити як сезонну циклічність, так і характер міжрічної мінливості кліматичного комфорту території.

Аналіз сезонної та міжрічної динаміки індексу патогенності погоди (рис.1) дозволив встановити чітку сезонну залежність патогенного впливу погоди на організм людини. Графік динаміки J-індексу має виражену U-подібну форму (форму «чаші»), що характеризується екстремальним навантаженням у зимовий період та мінімізацією значень у літні місяці.

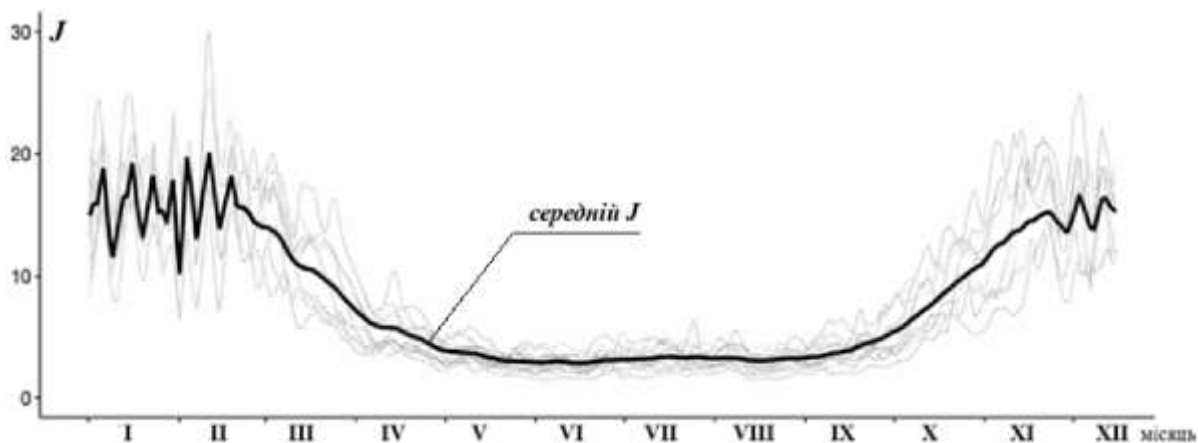


Рис. 1 – Багаторічна динаміка щоденних індексів патогенності погоди м. Харків за період 2017-2025 роки

Fig. 1 – Long-term dynamics of daily weather pathogenicity indices in Kharkiv for the period 2017-2025

Зима історично є найскладнішим періодом для біокліматичного комфорту, проте патогенність розвивається поступово. Класичний зимовий стрес у Харкові є кумулятивним. Організм має час на адаптацію до поступового зниження температур і зміни тиску. Зимовий період характеризується екстремальністю та нестабільністю.

У період з грудня по лютий спостерігаються зимові максимуми патогенності, де значення індексу періодично досягають відмітки 25 одиниць, що класифікується як «гостра» або «дуже висока» патогенність. Основними факторами формування таких піків є:

- термічний стрес, зумовлений поєднанням низьких температур та вітрового навантаження;

- висока вологість та часті опади у вигляді мокрого снігу;
- активна циклонічна діяльність, що супроводжується різкими коливаннями атмосферного тиску та зміною вмісту кисню в повітрі.

Зазвичай високі індекси (>15) тримаються серіями по 3-5 днів, що відповідає проходженню масштабних атмосферних фронтів або стабільним антициклонам.

Аналіз міжрічної мінливості свідчить, що зима є найбільш нестабільним сезоном: у різні роки показник варіював від помірних 9 одиниць до екстремальних 30, що може бути наслідком дестабілізації клімату та чергування аномально теплих зим із арктичними вторгненнями.

Літня стабілізація має у своїй суті оздоровчий потенціал, оскільки на протиположному зимовому періоду, з травня до вересня фіксується літня сталість клімату. Показники патогенності опускаються нижче 9 одиниць, що свідчить про переважання оптимальних умов, які майже не потребують адаптаційних зусиль від організму. Важливою особливістю літа є його висока стабільність з року в рік: світлі криві щорічних спостережень зливаються у вузьку смугу, підтверджуючи надійність цього періоду для кліматотерапії та планового оздоровлення.

Перехідні сезони містять у собі процеси що здатні спричинити медико-метеорологічні ризики. Встановлено суттєву відмінність у динаміці перехідних сезонів:

– весна характеризується високим розкидом значень (особливо у березні), що відображає різний характер «приходу» весни у досліджуваний період.

– осінь демонструє більш синхронне та різке зростання патогенності. Стислі тер-міни переходу (жовтень–листопад) змушують організм швидко адаптуватися зростання навантаження. Індекс патогенності зростає у 2 рази і вся погода характеризується як подразнювальна, що підвищує ризик виникнення сезонних депресій та зниження імунітету.

Виявлені періоди з J -індексом понад 25 одиниць є критичними для пацієнтів із серцево-судинними захворюваннями (гіпертонія, ішемічна хвороба серця) та патологіями дихальних шляхів. Отримані дані дозволяють прогнозувати сплески звернень по медичну допомогу та ефективно планувати лікувально-профілактичні заходи в регіоні

Перехідні сезони характеризуються медіанною патогенністю, різкими міждобовими перепадами (від 10 до 20 за 48 годин). Такий період є критичним для кардіологічних пацієнтів.



Рис.2 – Зони максимальної турбулентності погод

Fig. 2 – Zones of maximum weather turbulence

Пряме порівняння двох ключових сезонів доводить гіпотезу про полярну патогенність кліматичних періодів в Україні. Зима (рис. 2) має максимальну патогенність, що проявляється в розрахованих найвищих середніх показниках індексу J та всіх абсолютних максимумах, зосереджених саме в цей період. Крім того, саме взимку спостерігається найширша амплітуда коливань індексу, що свідчить про високу непередбачуваність погоди.

У той же час, літо можна умовно назвати періодом біологічної рекреації, де зосереджені найнижчі і найстабільніші показники індексу J . Що створює

найсприятливіший фон для відновлення організму, повністю виключаючи екстремальні патогенні стреси.

Аналіз представленого рисунка (теплової карти) у поєднанні з даними розрахункової таблиці індексів патогенності та статистики метеорологічних елементів дозволяє виявити чітку залежність між станом атмосфери та біокліматичним комфортом.

Згідно з тепловою картою (рис. 3), найбільш інтенсивні «гарячі» зони ($J > 30-50$) припадають на зимові місяці та окремі дати 2025 року. Аналіз відповідних метеорологічних даних пояснює ці сплески наступними чинниками:

– низькі температури у поєднанні з вітром: Найвищі показники J -індексу спостерігаються при від'ємних температурах. Наприклад, 17.01.2021 ($J=18,48$) характеризувалося температурою $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ та значною вологістю. Екстремальний показник 01.12.2025 ($J=68,25$) супроводжувався морозом $-5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ та високою вологістю 89,4%.

– висока відносна вологість: У зимові місяці вологість часто перевищує 85–90%, що посилює охолоджувальну дію повітря. Наприклад, 26.12.2025 ($J=30,03$) при температурі $-2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ вологість становила 87,4%.

– аномальні погодні явища: Сплеск патогенності 01.04.2025 ($J=62,15$) є нетиповим для весни. Хоча середня температура була $14,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, висока патогенність у такі дні зазвичай зумовлена різкими коливаннями атмосферного тиску (в цей день він становив 763,0 мм рт. ст.) або іншими динамічними чинниками, що відображені у формулі розрахунку.

«Холодні» синьо-зелені зони на рисунку ($J < 10$) відповідають періодам максимального комфорту, що забезпечується наступними параметрами:

– оптимальний термічний режим: показники J -індексу мінімальні при температурах $+18\dots+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наприклад, у липні 2020 року, який на карті виглядає найбільш комфортним, температури стабільно трималися в межах $17\text{--}24\text{ }^{\circ}\text{C}$ (наприклад, 03.07.2020 — $J=7,07$ при $T=23,0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

– помірна вологість та низька швидкість вітру: У літні дні з низькою патогенністю вологість зазвичай не перевищує 50–65%, а швидкість вітру є мінімальною. Наприклад, 16.07.2017 ($J=3,42$) характеризувалося температурою $17,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ та вологістю 74,8%.

– стабільність атмосфери: літні місяці (червень–серпень) демонструють найменшу міжрічну мінливість на тепловій карті, оскільки метеорологічні елементи в цей час найбільш збалансовані для організму людини.

Таким чином, можна констатувати, що головним патогенним чинником для Харкова є зимовий дискомфорт, викликаний синергією морозу, високої вологості (часто $> 80\%$) та вітрового навантаження. Зона комфорту (травень–вересень) сформована стабільними температурами вище $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ та

помірною вологістю, що мінімізує навантаження на адаптаційні системи.

Аномалії 2025 року на тепловій карті вказують на зростання частоти екстремальних погодних явищ, коли навіть при додатних температурах (як у квітні) патогенність може сягати критичних значень через нестабільність тиску чи вологості.

Аналіз міжрічного розподілу патогенності погоди в Харкові за період з 2017 до 2025 року, проведений на основі матриці індексу J дозволяє виявити чіткі закономірності, що мають критичне значення для кліматотерапії та рекреації (рис.3). Виявлена загальна сезонна закономірність, що відслідковується на графіку.

Максимуми (червоно-чорна гама) припадають на зимові місяці (грудень, січень, лютий). У цей період значення індексу стабільно перевищують 30–40 одиниць, а в окремі роки сягають екстремальних значень понад 50 одиниць. Це свідчить про високе подразнювальне навантаження на організм людини через низькі температури, вітер та вологість.

Мінімуми (синьо-зелена гама) спостерігаються у літній період (червень–серпень). Значення індексу тут коливаються в межах 0–10 одиниць, що відповідає зоні максимального біокліматичного комфорту.

Аналіз окремих років дозволяє виявити тенденції до дестабілізації клімату, а саме: 2020 рік виділяється як найбільш «м'який» за весь період спостережень. Весняні та літні місяці забарвлені переважно у синій колір, що вказує на тривалий період комфортних погодних умов. У той же час, 2025 рік є критично аномальним. На тепловій карті він позначений найбільш інтенсивними кольорами. Особливу увагу привертають січневий та грудневий піки, коли значення стабільно тримаються у темно-фіолетовій зоні (понад 50 одиниць). Також виявлена квітнева аномалія, коли на відміну від інших років, зафіксовано різкий сплеск патогенності (темна пляма на фоні жовто-зелених кольорів інших років), що може бути пов'язано з екстремальними погодними явищами.

Стосовно перехідних сезонів (березень та листопад) можна зазначити, що вони виступають зонами помірної патогенності -10–25 одиниць, що класифікується як подразнюваль-

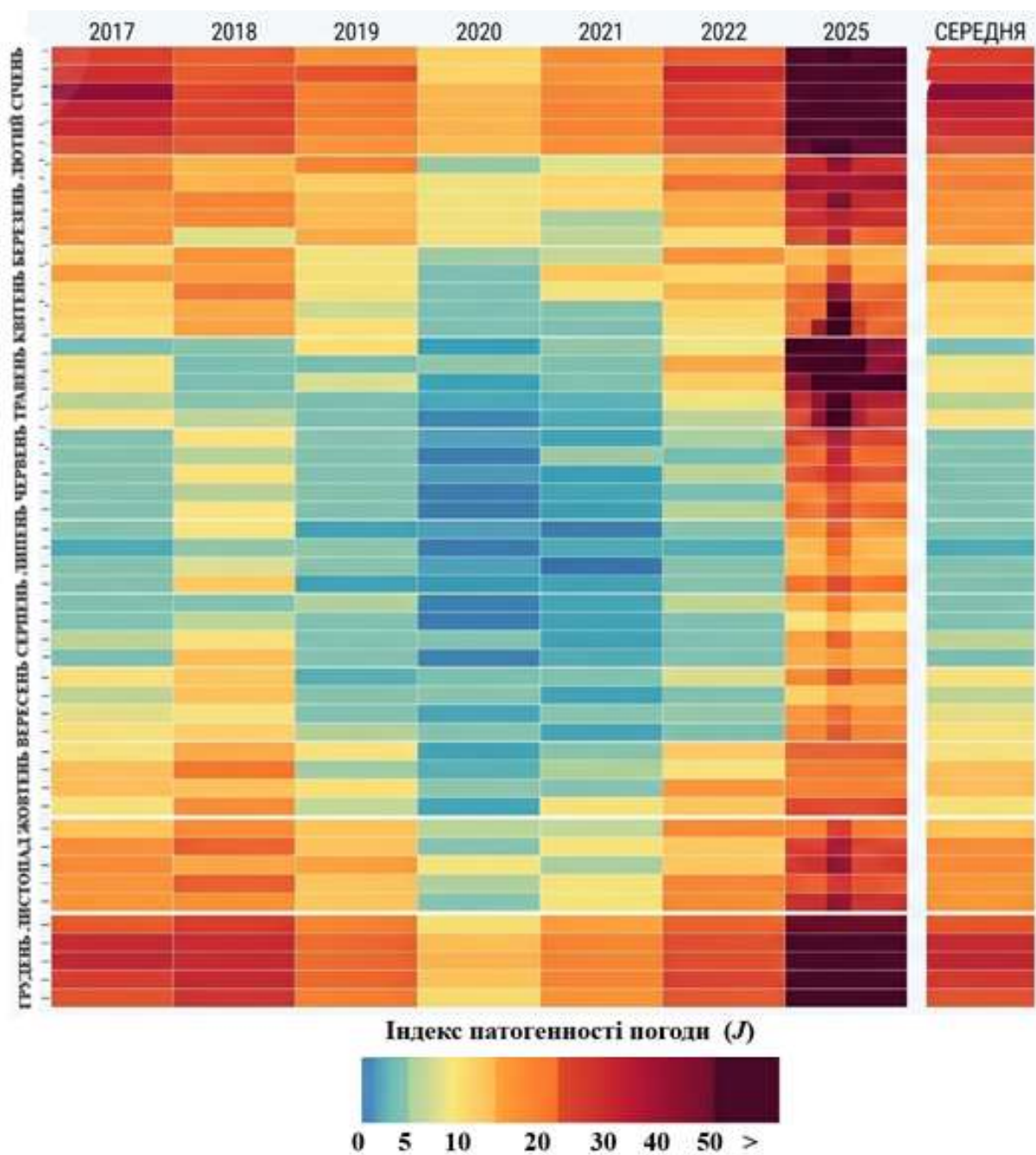


Рис. 3 – Матриця патогенності погоди у м. Харків (2017-2025 р.р.)

Fig. 3 – Weather pathogenicity matrix in Kharkiv (2017-2025)

на погода. В цей період у деякі роки спостерігається тенденція до «стиснення» подразнювального періоду (наприклад, 2022 та 2025), коли перехід від зимового дискомфорту до літнього спокою відбувається більш різко, що створює додаткове навантаження на адаптаційні системи людини.

Окремо на теплову карту розміщено стовпчик «Середня», що розрахований як усереднені значення за період спостережень. Він

підтверджує, що найбільш стабільним та безпечним для здоров'я є період з травня по вересень, тоді як зимовий період вимагає посиленої уваги до метеозалежних верств населення через високу імовірність гострої патогенної дії атмосфери. Ця теплова карта беззаперечно доводить, що так звана погана погода – це не випадкові дні, а системні сезонні блоки.

Проведене дослідження є підґрунтям для оцінки можливості розвитку кліматичного

туризму та бальнеології, оскільки є категорії метеозалежних людей, для яких такі кліматичні умови є комфортними з медичної точки зору, але не протягом всього року.

Розглянемо особливості регіону для розвитку бальнеологічних курортів. З точки зору комфортності погоди, можна виділити "золоте вікно" - травень, червень, липень та серпень. Цей період є ідеальними для аеротерапії та геліотерапії. Низька вологість (в межах 50-60%) та мінімальна патогенність дозволяють проводити тривалі екскурсії та активний відпочинок. Серпень виділяється як місяць із найнижчою середньою вологістю (до 43.3% у 2018 році),

що робить його найкращим часом для людей із захворюваннями дихальних шляхів.

При комфортних літніх погодах курорти матимуть сезонну спеціалізацію, оскільки в зимовий період (листопад-лютий) погодні умови є "гостро патогенними". В цей період розвиток бальнеології в Харкові має орієнтуватися на закриті приміщення (криті басейни, SPA-центри). Відкриті процедури в цей час протипоказані через високий ризик метеопатичних реакцій.

У той же час, розвиток інфраструктури, орієнтованої виключно на відкрите повітря, взимку є економічно недоцільним через вкрай несприятливий кліматичний фон ($J > 25$).

Висновки

Встановлено, що патогенний вплив погоди на стан здоров'я населення м. Харків не є хаотичним – він жорстко підпорядкований сезонному ритму. Агрегація 17 528 щоденних вимірювань у середньомісячні показники викристалізувала таку тенденцію:

- зима є об'єктивно найнебезпечнішим періодом для метеозалежних людей, що зумовлено високою варіативністю індексу J та регулярною появою екстремальних значень (>20);
- літні місяці підтвержені дослідженням як найсприятливіший час, оскільки спостерігається повна відсутність днів з гострою

патогенністю, а днів з подразнювальною дією (>9) критично мало. Тобто низькі середні значення J роблять цей сезон оптимальним для відновлення здоров'я та кліматичного туризму.

Чітка U-подібна крива сезонності дозволяє інтегрувати індекс J у системи медичного планування та урбаністичного управління, готуючи інфраструктуру охорони здоров'я до неминучих зимових піків. У той же час, м. Харків має високий потенціал для літо-орієнтованих бальнеологічних курортів та кліматичного туризму.

Конфлікт інтересів

Автори засвідчують, що, незважаючи на те, що один із авторів статті є членом редакційної колегії цього журналу, процес рецензування, прийняття рішення щодо публікації та редагування проводилися незалежно, без його участі чи впливу. Будь-які потенційні конфлікти інтересів були повністю усунені шляхом зовнішнього контролю процесу. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Декларація про використання ШІ

Автори використовували *NotebookLM* для створення візуального контенту. Весь науковий контент та висновки були створені авторами. Остаточний текст був переглянутий та перевірений авторами.

Список використаної літератури

1. Shutty M. S., Cundiff G., DeGood D. E. Pain complaint and the weather: weather sensitivity and symptom complaints in chronic pain patients. *Pain*. 1992. Vol. 49, No. 2. P. 199–204. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(92\)90143-y](https://doi.org/10.1016/0304-3959(92)90143-y)
2. Boychenko S. G., Zabarna O. G. Оцінювання комфортності погодних умов і тенденції їх змін на Київщині в умовах змін клімату. *Геофізичний журнал*. 2019. Vol. 41. No. 6. P. 128–143. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190071>
3. Максименко Н. В., Міщенко В. Ю. Оцінка потенціалу екологічного туризму в Полтавській області за розрахунком патогенності погоди. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної*

- безпеки: зб. наук. пр. / УКРНДЦЕП; ХНУ імені В. Н. Каразіна Х.: ПП «Стиль-Іздат», 2023. Вип.45. С. 112-126. URL: http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/sbornik_2023.pdf
4. Баскакова Л. В., Максименко Н. В., Добронос П. А., Лидіна В. І. Моделювання і прогнозування зміни рівня патогенності погоди півдня Донецької області. *Охорона довкілля: збірник наукових статей XVI Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. С. 6–10. URL: <http://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2020/11/taliev-2020.pdf>
 5. Максименко Н. В., Протасова О. С. Порівняльна оцінка кліматичної комфортності областей України для розвитку рекреації і туризму. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2024. № 30. С. 6-25. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-01>
 6. Li J., Sun R., Chen L. A review of thermal perception and adaptation strategies across global climate zones. *Urban climate*. 2023. Vol. 49. P. 101559. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101559>
 7. Matzarakis A., Mayer H., Iziomon M. G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International journal of biometeorology*. 1999. Vol. 43, no. 2. P. 76–84. <https://doi.org/10.1007/s004840050119>
 8. Daysarih T.-R., Ana S., Pablo F.-A. The meteorological contrast index in the context of climate change and public health. *MethodsX*. 2023. Vol. 11. P. 102331. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102331>
 9. Budd G. M. Wet-bulb globe temperature (WBGT)—its history and its limitations. *Journal of science and medicine in sport*. 2008. Vol. 11, no. 1. P. 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.07.003>
 10. Bandiera D. et al. Heat-related risk at Paris 2024: a proposal for classification and review of International Federations policies. *British journal of sports medicine*. 2024. P. bjsports–2024–108310. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2024-108310>
 11. Fiala D., Havenith G., Bröde P., Kampmann B., Jendritzky G. UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. *International Journal of Biometeorology*. 2012. Vol. 56. No 3. P. 429–41. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0424-7>
 12. Bröde P., Fiala D., Błażejczyk K., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Tinz B., Havenith G. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*. 2012. Vol. 56. P. 481–494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>
 13. Błażejczyk, K., Twardosz, R. Long-term changes of bioclimatic conditions in Cracow (Poland). In R. Przybylak, R. Majorowicz, J. Brázdil, M. Kejna (Eds.), *The Polish climate in the European context: An historical overview* (pp. 235–246). 2010. Springer, Science+Business Media B.V. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3167-9_10
 14. Romaszko J. et al. Universal Climate Thermal Index as a prognostic tool in medical science in the context of climate change: a systematic review. *Science of the total environment*. 2022. Vol. 828. P. 154492. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154492>
 15. Błażejczyk, A., Błażejczyk, K., Baranowski, J., Kuchcik, M. Heat stress mortality and desired responses of healthcare system in Poland. *International Journal of Biometeorology*. 2018. Vol. 62. No 3. P. 307–318. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1423-0>
 16. Błażejczyk, K., Kuchcik, M., Błażejczyk, A., Milewski, P., Szmyd, J. Assessment of urban thermal stress by UTCI – experimental and modeling studies: an example from Poland. *Die Erde*, 2014. Vol. 144. No 1-2. P.105–116. <https://doi.org/10.12854/erde-145-3>
 17. Pavliuk M. et al. Distribution of V.Boksha's Bioclimatic Index in Ukraine and the Development of an Automated Application for Its Determination. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2025»*. 2025. Vol. 2025. P. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202552084>
 18. Бокша, В. Г. та Богуцький, Б. В. (1980). *Медицина кліматологія та кліматотерапія*. Київ, Здоров'я. 261 с.
 19. Ukraine Weather History. Local Weather Forecast, News and Conditions. Weather Underground. URL: <https://www.wunderground.com/history/monthly/UKHH/date/2017-1> (дата звернення: 25.03.2026)
 20. УкрГМЦ – Погода в Україні, гідрологічна та радіаційна ситуація. УкрГМЦ. URL: <https://www.meteo.gov.ua/> (дата звернення: 25.03.2026).
 21. Air quality in Kharkiv. IQAir. URL: <https://www.iqair.com/eu/ukraine/kharkiv> (дата звернення: 25.03.2026)

Стаття надійшла до редакції 19.04.2026
Стаття рекомендована до друку 22.05.2026

Переглянуто 20.05.2026
Опубліковано 30.05.2026

N. V. MAKSYMENKO¹, DSc (Geography), Prof.,
Head of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management
e-mail: maksymenko@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>

D. S. DOLIA¹,
Student
e-mail: dmytro.dolia@student.karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-0283-4116>

¹V. N. Karazin Kharkiv National University,
4, Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine

LONG-TERM DYNAMICS OF WEATHER PATHOGENICITY AND BIOCLIMATIC COMFORT IN THE CITY OF KHARKIV

Purpose. To determine the main trends of long-term changes in weather pathogenicity indicators in Kharkiv based on the methodology for determining weather pathogenicity indices adapted by the authors.

Methods. The assessment was carried out on the basis of the weather pathogenicity index (J), which takes into account the complex impact of the main meteorological parameters on the human body.

Results. The investigation examines the long-term dynamics of weather pathogenicity and bioclimatic comfort in the city of Kharkiv. The assessment was carried out using the weather pathogenicity index (J), which considers the combined influence of major meteorological parameters on the human body. Seasonal and interannual variability of the indicators during 2017–2025 was analyzed. Based on the analysis of the main meteorological indicators (air temperature and humidity, wind speed, atmospheric pressure and their daily fluctuations), it was established that the highest values of weather pathogenicity are characteristic of the cold period of the year. The highest pathogenicity values were found during the cold period of the year, whereas relatively comfortable weather conditions prevailed in summer. At this time, increased values of the J index are observed (>20), which is due to a combination of low temperatures, significant wind speed and sharp inter-daily fluctuations in meteorological indicators. In the summer season, the most comfortable bioclimatic conditions generally prevail. The average values of the J index during this period are the lowest for the year ($J < 9$), which is associated with the relative stability of atmospheric processes and lower contrast of meteorological parameters. The spring and autumn periods are characterized by significant instability of weather conditions and increased variability of the pathogenicity index. Interannual analysis demonstrated a tendency to increase the variability of the pathogenicity index values during the studied period.

Conclusions. The obtained results confirm the feasibility of using the weather pathogenicity index as an integral indicator for assessing the bioclimatic state of urbanized areas. The practical significance of the study lies in the possibility of applying the results for medical and meteorological forecasting, assessing the recreational potential of the territory, as well as developing measures for the adaptation of the population to adverse weather conditions in the context of climate change.

KEYWORDS: *climate change, weather pathogenicity, bioclimatic comfort, pathogenicity index, medical meteorology, urban climate*

Conflict of Interest

The authors certify that, although one of the authors of the article is a member of the editorial board of this journal, the peer review, publication decision, and editorial processes were conducted independently, without their participation or influence. Any potential conflicts of interest were fully mitigated through external oversight of the process. Furthermore, the authors have fully adhered to ethical norms, including avoiding plagiarism, data falsification, and duplicate publication.

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work.

AI Statement

The authors used NotebookLM to create visual content. All scientific content and conclusions were created by the authors. The final text was reviewed and verified by the authors.

References

1. Shetty M. S., Cundiff G., DeGood D. E. (1992). Pain complaint and the weather: weather sensitivity and symptom complaints in chronic pain patients. *Pain*. 49(2). 199–204. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(92\)90143-y](https://doi.org/10.1016/0304-3959(92)90143-y)
2. Boychenko S. G., Zabarna O. G. (2019). Estimation of comfort of weather conditions and trends of their changes for the Kyiv region in the conditions of climate change. *Geofizicheskiy zhurnal*. 41(6). 128–143. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190071>

3. Maksymenko, N. V., Mishchenko, V. Yu. (2023). Assessment of the potential of ecological tourism in the Poltava region based on the calculation of weather pathogenicity. *Problems of environmental protection and ecological safety: Collection of Scientific Papers*. Kharkiv : PP «Styl-Izdat», 45. 112-126. Retrieved from http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/sbornik_2023.pdf (in Ukrainian)
4. Baskakova, L.V., Maksymenko, N. V., Dobronos, P. A., Lydina, V. I. (2022). Modeling and forecasting changes in the level of the weather pathogenicity in the south of Donetsk region. In: *Environmental Protection: Collection of Scientific Papers from the 20th All-Ukrainian Taliev Readings*. Kharkiv: V. N. Karazin National University. 6–10. Retrieved from <http://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2020/11/taliev-2020.pdf> (in Ukrainian)
5. Maksymenko, N. V., & Protasova, O. S. (2024). Comparative assessment of the climatic comfort of Ukrainian regions for the development of recreation and tourism. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (30), 6-25. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-01>
6. Li, J., Sun, R., Chen, L. (2023). A review of thermal perception and adaptation strategies across global climate zones. *Urban climate*. 49. 101559. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101559>
7. 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>
8. Daysarih, T.-R., Ana, S., Pablo, F.-A. (2023). The meteorological contrast index in the context of climate change and public health. *MethodsX*. 11, 102331. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102331>
9. Budd, G. M. (2008). Wet-bulb globe temperature (WBGT)—its history and its limitations. *Journal of science and medicine in sport*. 11(1), 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.07.003>
10. Bandiera D. Racinais, S., Garrandes, F., Adami, P.E., Bermon, S., Pitsiladis, Y.P., Tessitore, A. (2024). Heat-related risk at Paris 2024: a proposal for classification and review of International Federations policies. *British journal of sports medicine*. 58(15), 108310. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2024-108310>
11. Fiala, D., Havenith, G., Bröde, P., Kampmann, B., Jendritzky G. (2012). UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 429-41. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0424-7>
12. Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., Havenith, G. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56, 481-494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>
13. Błażejczyk, K., Twardosz, R. (2010). Long-term changes of bioclimatic conditions in Cracow (Poland). In R. Przybylak, R. Majorowicz, J. Brázdil, M. Kejna (Eds.), *The Polish climate in the European context: An historical overview* (pp. 235-246). Springer, Science+Business Media B.V. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3167-9_10
14. Romaszko J., Dragańska E., Jalali R., Cymes I., Glińska-Lewczuk K. (2022). Universal Climate Thermal Index as a prognostic tool in medical science in the context of climate change: a systematic review. *Science of the Total Environment*, 828, 154492. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154492>
15. Błażejczyk, A., Błażejczyk, K., Baranowski, J., Kuchcik, M. (2018). Heat stress mortality and desired responses of healthcare system in Poland. *International Journal of Biometeorology*, 62(3), 307-318. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1423-0>
16. Błażejczyk, K., Kuchcik, M., Błażejczyk, A., Milewski, P., Szmyd, J. (2014). Assessment of urban thermal-stress by UTCI – experimental and modeling studies: an example from Poland. *Die Erde*, 144(1-2), 105-116. <https://doi.org/10.12854/erde-145-3>
17. Pavliuk M., Fedoniuk, V., Vavdiuk N., Fedoniuk Yu. (2025). Distribution of V. Boksha's Bioclimatic Index in Ukraine and the Development of an Automated Application for Its Determination. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2025»*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202552084>
18. Boksha, V. G. and Bogutsky, B. V. (1980). *Medical Climatology and Climatotherapy*. Kyiv, Zdorovya. 261. (in Ukrainian)
19. Ukraine Weather History. Local Weather Forecast, News and Conditions. Weather Underground. Retrieved from <https://www.wunderground.com/history/monthly/UKHH/date/2017-1>
20. UkrGMC – Weather in Ukraine, hydrological and radiation situation. UkrGMC. Retrieved from <https://www.meteo.gov.ua/> (in Ukrainian)
21. Air quality in Kharkiv. IQAir. Retrieved from <https://www.iqair.com/eu/ukraine/kharkiv>

The article was received by the editors 19.04.2026
The article is recommended for printing 22.05.2026

The article was revised 20.05.2026
This article published 30.05.2026