

ВРАЗЛИВІСТЬ ЛЮДИНИ ДО ТЕПЛОВОГО СТРЕСУ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН: ФІЗІОЛОГІЧНІ МЕЖІ ТА ІНДИВІДУАЛЬНІ РИЗИКИ

Панчук О.І.¹, Тригуба О.В.¹, Погорелова О.М.²

¹Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка
вул. Лицейна, 1, 47003, м. Кременець

²Західноукраїнський національний університет
вул. Майдан Перемоги, 3, 46009, м. Тернопіль

olja_dykh@ukr.net, boratun1@ukr.net, GurskaOksana24@gmail.com, yaremakpog@gmail.com

У статті досліджено вразливість людини до теплового стресу в умовах сучасних кліматичних змін із урахуванням фізіологічних меж адаптації та індивідуальних факторів ризику. Метою дослідження є узагальнення фізіологічних механізмів теплового стресу та аналіз індивідуальної вразливості в контексті кліматичних змін. Тепловий стрес розглянуто як багатофакторне явище, що формується внаслідок взаємодії кліматичних, урбаністичних і біофізичних чинників. Обґрунтовано, що зростання частоти, інтенсивності та тривалості теплових хвиль формує нові виклики для системи громадського здоров'я та підвищує рівень екологічної небезпеки для населення.

Узагальнено основні фізіологічні механізми підтримання температурного гомеостазу, зокрема роль метаболічного теплоутворення, шкірного кровотоку та потовиділення у процесах тепловіддачі. Показано, що ефективність терморегуляції залежить від умов довкілля (температури та вологості повітря) і морфологічних характеристик організму. Перевищення фізіологічних меж теплової стійкості супроводжується зниженням працездатності та підвищенням ризику теплових уражень.

Систематизовано між- та внутрішньоіндивідуальні фактори вразливості, які охоплюють біологічні (вік, стан здоров'я, антропометричні та гормональні особливості) і функціонально-поведінкові характеристики (рівень фізичної активності, гідратаційний статус, якість сну та умови життєдіяльності). Показано, що урбанізоване середовище, зокрема ефект «міського теплового острова», підсилює теплове навантаження на організм людини.

Обґрунтовано доцільність інтеграційного підходу до оцінки теплового стресу, що поєднує фізіологічні, екологічні та біофізичні аспекти. Визначено, що ефективність зниження теплового навантаження залежить від впровадження профілактичних заходів на індивідуальному, організаційному та на рівні громад і систем громадського здоров'я. *Ключові слова:* тепловий стрес, кліматичні зміни, терморегуляція, фізіологічна адаптація, вразливість населення, екологічна безпека, громадське здоров'я, теплові хвилі.

Human vulnerability to heat stress under climate change: physiological limits and individual risks. Panchuk O., Tryhuba O., Pohorielova O.

This article examines human vulnerability to heat stress in the context of contemporary climate change, taking into account physiological limits of adaptation and individual risk factors. The aim of the study is to summarise the physiological mechanisms of heat stress and to analyse individual vulnerability in the context of climate change. Heat stress is considered a multifactorial phenomenon resulting from the interaction of climatic, urban and biophysical factors. It is argued that the increase in the frequency, intensity and duration of heatwaves poses new challenges for the public health system and raises the level of environmental risk to the population.

The main physiological mechanisms for maintaining thermal homeostasis are summarised, in particular the role of metabolic heat production, cutaneous blood flow and sweating in heat transfer processes. It is shown that the effectiveness of thermoregulation depends on environmental conditions (air temperature and humidity) and the organism's morphofunctional characteristics. Exceeding the physiological limits of heat tolerance is accompanied by a reduction in work capacity and an increased risk of heat-related injuries.

Inter- and intra-individual vulnerability factors have been systematised, covering biological (age, health status, anthropometric and hormonal characteristics) and functional-behavioural characteristics (level of physical activity, hydration status, sleep quality and living conditions). It has been shown that the urban environment, in particular the 'urban heat island' effect, intensifies the heat load on the human body.

The rationale for an integrated approach to assessing heat stress, combining physiological, environmental and biophysical aspects, has been substantiated. It has been determined that the effectiveness of reducing heat stress depends on the implementation of preventive measures at the individual, organisational, community and public health system levels. *Key words:* heat stress, climate change, thermoregulation, physiological adaptation, population vulnerability, environmental safety, public health, heatwaves.

Постановка проблеми. Глобальні кліматичні зміни супроводжуються зростанням частоти, інтенсивності та тривалості теплових хвиль, що призводить до підвищення теплового навантаження на організм людини [1; 2]. У цих умовах фізіологічна

стійкість до перегрівання набуває не лише медико-біологічного, а й екологічного значення, оскільки пов'язана з ризиками для здоров'я населення, зниженням працездатності та зростанням вразливості соціальних груп.



У контексті екологічної безпеки тепловий стрес доцільно розглядати як результат взаємодії кліматичних, урбаністичних і біофізичних чинників. Урбанізоване середовище, зокрема ефект «міського теплового острова», підсилює вплив високих температур і обмежує можливості природного охолодження [3; 4].

Водночас сучасні підходи до оцінки теплового навантаження переважно базуються на узагальнених кліматичних показниках і недостатньо враховують індивідуальні фізіологічні особливості організму, що ускладнює об'єктивну оцінку вразливості населення та знижує ефективність адаптаційних заходів. Це зумовлює необхідність комплексного аналізу теплового стресу як багатофакторного явища, що формується на перетині фізіологічних механізмів терморегуляції, біофізичних процесів теплообміну та умов довкілля.

Актуальність дослідження зумовлена зростанням екологічних ризиків для населення внаслідок посилення теплового навантаження в умовах кліматичних змін та підвищенням навантаження на системи громадського здоров'я. Недостатній облік індивідуальних фізіологічних особливостей в існуючих підходах до оцінки теплового стресу обмежує ефективність заходів адаптації та оцінки вразливості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасному науковому дискурсі вплив кліматичних змін на людину розглядається в межах екології людини, громадського здоров'я, біокліматології та екологічної безпеки. Вітчизняні дослідження охоплюють медико-екологічні аспекти, зокрема вплив кліматичних змін і урбанізованого середовища на стан здоров'я населення [5; 6], питання кліматичної освіти та формування екологічної компетентності [7; 8] і роль екосистемних послуг у формуванні сприятливого мікроклімату міських територій [9]. Водночас фізіологічні механізми теплового стресу та їх значення для оцінки екологічної безпеки населення залишаються недостатньо систематизованими. У міжнародній літературі тепловий стрес розглядається як результат взаємодії кліматичних і фізіологічних чинників. У роботі узагальнено підходи до визначення критичних меж теплового навантаження, пов'язані з поєднанням температури та вологості повітря [1], а також обґрунтовано роль механізмів терморегуляції: метаболічного теплоутворення, шкірного кровотоку і потовиділення [10; 11]. Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що вразливість до теплового стресу є варіабельною та визначається поєднанням віку, стану здоров'я, рівня фізичної підготовки та умов довкілля, а урбанізоване середовище додатково підсилює теплове навантаження [2-3; 12-13]. Попри значний обсяг досліджень, фізіологічні, біофізичні та екологічні аспекти теплового стресу часто розглядаються відокремлено, що ускладнює комплексну оцінку вразливості людини. Це зумовлює необхідність інтеграційного підходу до аналізу теплового

стресу в контексті екології людини та екологічної безпеки.

Зв'язок авторського доробку з науковими і практичними завданнями. Дослідження виконано в межах сучасних підходів до вивчення взаємодії організму людини з чинниками довкілля та пов'язане з проблематикою екології людини, фізіології адаптації й екологічної безпеки. Дослідження спрямоване на узагальнення фізіологічних механізмів терморегуляції в умовах підвищеного теплового навантаження та аналіз їх зв'язку з екологічними ризиками, зумовленими кліматичними змінами. Практичний аспект роботи полягає у можливості застосування отриманих результатів для оцінки вразливості населення до теплового стресу з урахуванням фізіологічних особливостей організму. Викладені положення можуть бути застосовані для обґрунтування профілактичних заходів, оптимізації режимів праці та відпочинку в умовах підвищених температур, а також розроблення адаптаційних рішень у сфері громадського здоров'я та міського планування.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри значний обсяг досліджень, присвячених тепловому стресу, низка аспектів цієї проблеми залишається недостатньо розробленою. Зокрема, оцінка теплового навантаження переважно ґрунтується на узагальнених кліматичних показниках без урахування індивідуальних фізіологічних особливостей організму, що знижує точність оцінки вразливості населення. Недостатньо дослідженою є інтеграція біофізичних механізмів терморегуляції з індивідуальними чинниками ризику в умовах кліматичних змін, а також вплив поєднання кліматичних і урбаністичних чинників на фізіологічні реакції людини. Крім того, потребує подальшого опрацювання питання практичного застосування фізіологічних знань у сфері екологічної безпеки, зокрема для розроблення диференційованих адаптаційних стратегій для різних груп населення.

Наукова новизна. У статті узагальнено та систематизовано між- та внутрішньоіндивідуальні фактори вразливості до теплового стресу та обґрунтовано їх інтеграцію з кліматичними й урбаністичними чинниками в межах підходу до оцінки екологічної небезпеки для населення. Удосконалено підхід до розуміння теплового стресу як багатофакторного явища, що визначається взаємодією фізіологічних і середовищних чинників.

Методологічне значення дослідження полягає у формуванні міждисциплінарного підходу до оцінки теплового стресу, який інтегрує положення фізіології людини, екології, біофізики та кліматології. Запропонований підхід розширює уявлення про механізми терморегуляції в умовах кліматичних змін і створює теоретичне підґрунтя для подальших досліджень у сфері екології людини та екологічної безпеки.

Викладення основного матеріалу. Кліматичні зміни супроводжуються зростанням частоти та інтенсивності теплових хвиль, що зумовлює необхідність поглибленого аналізу реакцій організму людини на теплове навантаження. У цьому дослідженні тепловий стрес розглядається як функціональний прояв перевищення фізіологічних меж теплової стійкості організму, що забезпечує інтеграцію фізіологічних та екологічних аспектів аналізу.

У дослідженні тепловий стрес аналізується на двох взаємопов'язаних рівнях: фізіологічному, як сукупності механізмів терморегуляції організму, та екологічному, як результат впливу кліматичних і урбаністичних чинників на умови теплообміну. Поєднання цих рівнів дозволяє комплексно оцінити вразливість людини до теплового навантаження в умовах кліматичних змін.

Біофізичні механізми терморегуляції.

Підтримання температурного гомеостазу організму ґрунтується на балансі між виробленням і віддачею тепла. Основним джерелом тепла є метаболічні процеси, інтенсивність яких зростає під час фізичної активності [14; 11].

Тепловіддача здійснюється шляхом конвекції, теплопровідності, випромінювання та, передусім, випаровування. В умовах високої температури навколишнього середовища провідним механізмом охолодження стає потовиділення. Ефективність цього процесу значною мірою залежить від вологості повітря: за високої вологості випаровування поту ускладнюється, що знижує ефективність тепловіддачі [10].

З біофізичної точки зору, зміна температури тіла визначається співвідношенням між тепловою продукцією та теплоємністю організму. Наявні дані свідчать, що зміну температури тіла доцільно розглядати як обернено пропорційну масі тіла, яка визначає здатність акумулювати тепло. Важливими чинниками є також ступінь розвитку підшкірної жирової тканини, інтенсивність шкірного кровотоку та ефективність потовиділення [11].

Важливою складовою терморегуляції є підтримання водно-електролітного балансу організму. У спекотних умовах основні втрати води та електролітів відбуваються з потом, інтенсивність якого залежить від кліматичних умов, рівня фізичної активності та характеристик одягу. Добова потреба у рідині може варіювати від 2-4 л у помірному кліматі до 8-16 л у спекотних умовах. Порушення гідратації призводить до зменшення об'єму плазми, підвищення осмолярності крові та зниження ефективності тепловіддачі, що ускладнює підтримання температурного гомеостазу організму [14].

Таким чином, терморегуляція є складним багаторівневим процесом, що поєднує фізіологічні та біофізичні механізми і визначає межі адаптації організму до теплового навантаження.

Фізіологічні межі теплової стійкості. Краще розуміння фізіологічних процесів, що лежать

в основі формування теплового стресу, є необхідним для обґрунтування профілактичних заходів, розроблення цілеспрямованих втручань і формування ефективних політик у сфері громадського здоров'я. З позицій еволюційної та біологічної антропології фізіологічні реакції людини на теплове навантаження мають адаптивний характер і були сформовані в процесі еволюції. Такі механізми, як вазодилатація шкірних судин і потовиділення є прикладами функціональних адаптацій до кліматичних стресорів, що забезпечують підтримання теплового гомеостазу в умовах підвищених температур [15].

Узагальнення сучасних досліджень дає підстави стверджувати, що традиційні уявлення про межі теплової стійкості людини є спрощеними та не враховують індивідуальної варіабельності. Аналіз сучасних моделей фізичної працездатності показує, що за екстремального поєднання температури та вологості її зниження може досягати 70-80%, що свідчить про критичне перевищення адаптаційних можливостей організму [16].

На регіональному рівні спостерігається тенденція до зростання частоти теплових хвиль та пов'язаного з ними теплового дискомфорту, що супроводжується посиленням фізіологічного навантаження на організм навіть за умов, які раніше вважалися відносно безпечними. Додатковим чинником ризику є урбанізоване середовище, де ефект «теплового острова» підсилює тепловий стрес і обмежує можливості природного охолодження.

У контексті оцінки фізіологічних меж теплової стійкості особливого значення набуває узгодженість процесів теплоутворення та тепловіддачі, ефективність яких зумовлюється індивідуальними морфофункціональними характеристиками організму. Метаболічне вироблення тепла визначає температуру глибоких тканин, тоді як ефективність тепловіддачі залежить від маси тіла, його складу та теплоємності. За даними досліджень [11], зміна температури тіла обернено пропорційна масі тіла, що відображає здатність організму акумулювати тепло. Важливу роль відіграють також шкірний кровотік і потовиділення, які забезпечують віддачу тепла в умовах підвищених температур.

Ефективність тепловіддачі залежить від морфологічних особливостей організму, зокрема характеристик шкірно-жирового шару, які впливають на теплопровідність і перенесення тепла від внутрішніх тканин до поверхні тіла [10; 11].

Важливим аспектом є індивідуальна вразливість до теплового стресу. Особи з надмірною масою тіла, метаболічними порушеннями (зокрема цукровим діабетом 2 типу), а також люди похилого віку мають знижену здатність до тепловіддачі, що підвищує ризик перегрівання. Соціально-економічні фактори, зокрема обмежений доступ до засобів охолодження, додатково посилюють ці ризики [12; 13].

Суттєву роль у терморегуляції відіграє гормональний статус. У жінок механізми тепловіддачі змінюються залежно від фаз менструального циклу, прийому гормональних препаратів і вікових змін. Під час вагітності відбуваються адаптаційні зміни, що дозволяють підтримувати тепловий баланс навіть за підвищених температур, за умов індивідуалізації фізичних навантажень [17 – 20].

Таким чином, тепловий стрес є багатофакторним явищем, що формується внаслідок взаємодії кліматичних, біофізичних і фізіологічних чинників, а також характеризується значною індивідуальною варіабельністю реакцій організму.

Вплив кліматичних та урбаністичних факторів. Перевищення фізіологічних меж теплової стійкості значною мірою зумовлюється умовами довкілля. Зростання глобальної температури та частоти теплових хвиль призводить до суттєвого посилення теплового навантаження на організм людини [1; 2]. Особливу роль у цьому процесі відіграють урбанізовані території, де формування ефекту «міського теплового острова» зумовлює підвищення температури повітря, зниження інтенсивності нічного охолодження та обмеження природної вентиляції [4].

У таких умовах навіть помірні температурні показники можуть супроводжуватися вираженим фізіологічним дискомфортом. Підвищення вологості повітря та інтенсивності сонячного випромінювання додатково ускладнює процеси тепловіддачі, насамперед через зниження ефективності випаровування поту як провідного механізму охолодження організму.

Дослідження біокліматичних умов свідчать про зростання не лише частоти, але й інтенсивності теплових хвиль, що супроводжується підвищенням рівня теплового стресу навіть у регіонах із помірним кліматом [3]. У результаті формується тенденція до перевищення адаптаційних можливостей організму, зокрема людей похилого віку та осіб із хронічними захворюваннями [2; 13; 21].

Важливим чинником пом'якшення теплового навантаження в урбанізованому середовищі є наявність зелених насаджень, які завдяки затіненню та процесам випаровування вологи сприяють зниженню температури повітря і формуванню більш сприятливого мікроклімату. Це підтверджується дослідженнями екосистемних послуг міських територій [9].

Водночас зміни організації соціальних процесів можуть опосередковано впливати на рівень теплового навантаження. Зокрема, в умовах воєнного стану та енергетичної нестабільності в Україні застосовується гнучкий підхід до організації освітнього процесу, що передбачає варіювання термінів навчального року. Подібні рішення можуть призводити до збільшення тривалості перебування учасників освітнього процесу у періоди підвищених температур. За умов недостатньої адаптованості освітньої

інфраструктури це створює додаткові ризики розвитку теплового стресу.

Індивідуальні фактори вразливості. Індивідуальна вразливість до теплового стресу формується під впливом комплексу чинників, що охоплюють як відносно стабільні характеристики організму, так і змінні параметри функціонального стану та умов діяльності. До перших належать вік, антропометричні особливості, стан здоров'я, гормональний статус та інші біологічно зумовлені характеристики, тоді як до других – рівень фізичної активності, гідратаційний статус, тривалість перебування у спекотних умовах, особливості одягу та поведінкові чинники.

Важливим внутрішньоіндивідуальним чинником, що впливає на терморегуляторні реакції, є якість і тривалість сну. На основі аналізу даних обґрунтовано, що депривація сну знижує ефективність тепловіддачі організму, зокрема внаслідок порушення механізмів випаровування та шкірного кровотоку, що призводить до підвищеного накопичення тепла під час фізичного навантаження в умовах спеки. Особливо виражений цей ефект у осіб старшого віку, для яких поєднання недосипання та теплового навантаження суттєво підвищує ризик розвитку теплових уражень [22-23].

З огляду на різну природу цих впливів, доцільною є їх систематизація з поділом на міжіндивідуальні та внутрішньоіндивідуальні фактори, що дає змогу точніше оцінювати ризики теплового перевантаження та інтерпретувати фізіологічні реакції організму в умовах підвищених температур (таблиця 1).

Узагальнення представлених у таблиці даних свідчить, що вразливість до теплового стресу визначається комплексом між- та внутрішньоіндивідуальних факторів, які охоплюють біологічні і функціонально-поведінкові характеристики.

Практичні стратегії адаптації. З огляду на зростання частоти та інтенсивності теплових хвиль, а також індивідуальну варіабельність терморегуляторних можливостей людини, особливого значення набувають заходи профілактики теплового стресу на різних рівнях. На *індивідуальному рівні* ключовими є підтримання адекватної гідратації, уникнення інтенсивної фізичної активності у періоди пікових температур, використання легкого та повітропроникного одягу, а також забезпечення доступу до прохолодного середовища. Важливим є також урахування індивідуальних факторів ризику, зокрема віку, стану здоров'я, рівня фізичної підготовки та гормонального статусу [12; 13].

На *рівні робочого середовища* ефективними є організаційні заходи, спрямовані на зменшення теплового навантаження, зокрема оптимізація режимів праці та відпочинку, обмеження тривалості перебування у спекотних умовах, забезпечення доступу до питної води та створення умов для охолодження. Важливу роль відіграє адаптація робочих процесів

Між- та внутрішньоіндивідуальні фактори, що впливають на тепловий стрес людини

Категорія факторів	Фактор	Вплив на тепловий стрес
Міжіндивідуальні відмінності	Вік	З віком знижується ефективність терморегуляції (потовиділення, шкірний кровотік), що підвищує ризик теплового стресу та перегрівання [12-13]
	Антропометричні показники	Високий індекс маси тіла та особливості будови тіла знижують ефективність тепловіддачі [12]
	Культурні звички	Обмеження прийому їжі та рідини (наприклад, під час релігійного посту) підвищує ризик дегідратації та теплового стресу [24]
	Шкідливі звички (алкоголь)	Алкоголь підвищує ЧСС і шкірний кровотік, знижує артеріальний тиск, посилює діурез і дегідратацію, що підвищує ризик теплового стресу [25; 26]
	Етнічні відмінності	Впливають на термальний комфорт і поведінкові адаптації до спеки [27]
	Захворювання	Ожиріння, артеріальна гіпертензія та цукровий діабет асоціюються з порушенням механізмів терморегуляції, зокрема зниженням шкірного кровотоку, потовиділення та ефективності тепловіддачі, що підвищує ризик теплового стресу та перегрівання [21; 13]
	Гендерні відмінності	Відмінності у механізмах терморегуляції (потовиділення, кровообіг) впливають на сприйняття та переносимість спеки [17]
	Гормональний статус (менструальний цикл, вагітність, менопауза)	Гормональні коливання (зокрема рівень прогестерону) змінюють порогові активації потовиділення, шкірного кровотоку та базальну температуру тіла [17; 18; 19]
Внутрішньоіндивідуальні відмінності	Одяг	Теплоізоляційні властивості одягу обмежують теплообмін із довкіллям [28]
	Метаболічні потреби	Висока фізична активність підвищує метаболічне теплоутворення та збільшує навантаження на серцево-судинну і терморегуляторну системи [14]
	Недосипання	Погіршує фізіологічні реакції на теплове навантаження [22; 29]
	Тривалість роботи	Повторювані цикли роботи навіть за наявності відпочинку призводять до поступового зниження працездатності внаслідок накопичення теплового навантаження та неповного відновлення терморегуляторних механізмів [30]
	Харчова дієта	Рівень гідратації та склад раціону впливають на ефективність терморегуляції [14]

до кліматичних умов, включаючи зміну графіків роботи та впровадження систем моніторингу теплового стресу [16; 31].

На *рівні громад і систем громадського здоров'я* необхідними є заходи з інформування населення про ризики теплового впливу, впровадження систем раннього попередження про теплові хвилі, забезпечення доступу до охолоджених приміщень та підтримка вразливих груп населення. Водночас важливою складовою адаптації є розвиток і збереження зелених зон, які сприяють зниженню температури повітря завдяки затіненню та процесам випаровування вологи, формуючи більш сприятливий мікроклімат і послаблюючи ефект «міського теплового острова». Наявність зелених насаджень пов'язана зі зменшенням теплового навантаження на організм людини, покращенням теплового комфорту та зниженням ризиків для здоров'я під час теплових хвиль, особливо серед вразливих груп населення. Інтеграція кліматичних ризиків у політики громадського здо-

ров'я та міського планування, з урахуванням екосистемних рішень, є ключовою умовою зниження негативного впливу екстремальних температур на здоров'я населення [3; 4].

Важливою складовою адаптації є інтеграція кліматичних ризиків у систему освіти та формування екологічно відповідальної поведінки населення, що розглядається як один із ключових напрямів підвищення стійкості до змін клімату [7; 8].

Поглиблене розуміння фізіологічних механізмів терморегуляції та факторів індивідуальної вразливості створює підґрунтя для спрямування подальших досліджень у сфері профілактики теплового стресу, розроблення цілеспрямованих адаптаційних заходів, а також формування ефективних управлінських і політичних рішень у сфері громадського здоров'я та екологічної безпеки.

Висновки. Результати дослідження свідчать, що тепловий стрес у контексті кліматичних змін доцільно розглядати не лише як фізіологічну реак-

цію організму, а як комплексний чинник екологічної небезпеки. Зростання частоти та інтенсивності теплових хвиль, особливо в урбанізованому середовищі, призводить до перевищення адаптаційних можливостей організму людини та формує нові екологічні ризики, які безпосередньо впливають на стан громадського здоров'я.

У роботі обґрунтовано, що реальні межі теплової стійкості людини є варіабельними та значною мірою залежать від поєднання кліматичних, біофізичних і індивідуальних чинників. Це зумовлює необхідність переходу від узагальнених оцінок теплового навантаження до диференційованих підходів оцінювання вразливості населення, які враховують фізіологічні особливості організму, стан здоров'я, умови життєдіяльності та соціальні фактори.

Тепловий стрес виступає інтегральним показником взаємодії довкілля та організму людини і може

розглядатися як індикатор екологічної безпеки територій. Його посилення в умовах кліматичних змін та урбанізації підвищує навантаження на системи громадського здоров'я, знижує працездатність населення та загострює нерівність у доступі до адаптаційних ресурсів.

Отримані результати обґрунтовують доцільність впровадження комплексного міждисциплінарного підходу до оцінки теплового навантаження та управління відповідними ризиками. Ефективне зниження рівня екологічної небезпеки можливе за умови інтеграції фізіологічних знань у практику екологічного планування та розвитку адаптаційних стратегій на рівні громад. Важливим є також удосконалення систем моніторингу теплового стресу та врахування вразливості різних груп населення при формуванні політик у сфері екологічної безпеки.

Література

1. Sherwood S. C., Huber M. An adaptability limit to climate change due to heat stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2010. Vol. 107 (21). P. 9552–9555. <https://doi.org/10.1073/pnas.0913352107>
2. Vanos J., Guzman-Echavarría G., Baldwin J. W. et al. A physiological approach for assessing human survivability. *Nature Communications*. 2023. Vol. 14. Article 7653. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43121-5>
3. Shevchenko O., Snizhko S., Matzarakis A. et al. Long-term analysis of thermal comfort conditions during heat waves in Ukraine. *Geographia Polonica*. 2022. Vol. 95. P. 53–70. <https://doi.org/10.7163/GPol.0226>
4. Святогорів І. Посилення теплового стресу для населення урбанізованих територій на фоні глобальних кліматичних змін. *Екологічна безпека та природокористування*. 2024. № 1 (49). С. 49–59. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.49-59>
5. Негода Н. Вплив урбанізованого середовища на стан здоров'я населення. *Техніка будівництва*. 2024. № 40. С. 87–92. <https://doi.org/10.32347/tb.2024-40.0309>
6. Поручинська І. В., Поручинський В. І., Слащук А. М., Слащук А. А. Здоров'я населення в контексті глобальних змін клімату. *Природнична освіта та наука*. 2024. № 1. С. 60–67. <https://doi.org/10.32782/NSER/2024-1.09>
7. Дух О. І., Цицюра Н. І., Галаган О. К. Особливості формування у студентської молоді знань про зміни клімату. *Екологічні науки*. 2021. Вип. 6 (39). С. 214–217. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.37>
8. Дух О. І. Сучасні європейські практики розвитку кліматичної освіти. *Педагогічна академія: наукові записки*. 2025. № 14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14847214>
9. Бондар О. Б., Мельник Є., Бицюра Л., Дух О. І., Ярема О., Файфура В. Оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень Парку культури й відпочинку імені Тараса Шевченка (м. Кременець) з використанням інструменту i-Tree Eco. *Український журнал природничих наук*. 2023. № 5. С. 109–116. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.12>
10. Havenith G., Fiala D. Thermal indices and thermophysiological modeling for heat stress. *Comprehensive Physiology*. 2016. Vol. 6. P. 255–302. <https://doi.org/10.1002/j.2040-4603.2016.tb00668.x>
11. Cramer M. N., Gagnon D., Laitano O., Crandall C. G. Human temperature regulation under heat stress in health, disease, and injury. *Physiological Reviews*. 2022. Vol. 102 (4). P. 1907–1989. <https://doi.org/10.1152/physrev.00047.2021>
12. Flouris A. D., McGinn R., Poirier M. P. et al. Screening criteria for increased susceptibility to heat stress during work or leisure in hot environments in healthy individuals aged 31–70 years. *Temperature*. 2017. Vol. 5 (1). P. 86–99. <https://doi.org/10.1080/23328940.2017.1381800>
13. Gildner T. E., Levy S. B. Intersecting vulnerabilities in human biology: synergistic interactions between climate change and increasing obesity rates. *American Journal of Human Biology*. 2021. Vol. 33. e23460. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23460>
14. Sawka M. N., Montain S. J., Latzka W. A. Hydration effects on thermoregulation and performance in the heat. *Comparative Biochemistry and Physiology A*. 2001. Vol. 128 (4). P. 679–690. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(01\)00274-4](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(01)00274-4)
15. Pisor A. C., Jones J. H. Human adaptation to climate change. *American Journal of Human Biology*. 2021. Vol. 33 (4). e23530. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23530>
16. Foster J., Smallcombe J., Hodder S. et al. An advanced empirical model for quantifying the impact of heat and climate change on human physical work capacity. *International Journal of Biometeorology*. 2021. Vol. 65. P. 1–15. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02105-0>
17. Kaciuba-Uscilko H., Grucza R. Gender differences in thermoregulation. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 2001. Vol. 4 (6). P. 533–536. <https://doi.org/10.1097/00075197-200111000-00012>
18. Filipec M., Durin M. J. Thermoregulation and endocrine response during exercise in pregnancy. *Physiologia*. 2025. Vol. 5. Article 2. <https://doi.org/10.3390/physiologia5010002>
19. O'Rourke N., Dervis S., da Silva D. F. et al. Heat production during exercise in pregnancy. *Pflügers Archiv – European Journal of Physiology*. 2024. Vol. 476. P. 769–778. <https://doi.org/10.1007/s00424-024-02929-w>

20. Smallcombe J. W., Puhenthirar A., Casasola W. et al. Thermoregulation during pregnancy. *Sports Medicine*. 2021. Vol. 51. P. 2655–2664. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01504-y>
21. Kenny G. P., Yardley J., Brown C. et al. Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal*. 2009. Vol. 182. P. 1053–1060. <https://doi.org/10.1503/cmaj.081050>
22. Koetje N. J., Kirby N. V., O'Connor F. K. et al. Effect of 24-h sleep deprivation on whole-body heat loss in older males during exercise in the heat. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2025. Vol. 57 (12). P. 2715–2723. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003812>
23. Koetje N. J., Kirby N. V., O'Connor F. K. et al. Effects of 24-h sleep deprivation on whole-body heat exchange in young men during exercise in the heat. *European Journal of Applied Physiology*. 2025. Vol. 125 (6). P. 1565–1576. <https://doi.org/10.1007/s00421-025-05705-5>
24. Manjunath G., Aravindhakshan R., Varghese S. Effect of fasting during Ramadan on thermal stress parameters. *Eastern Mediterranean Health Journal*. 2019. Vol. 25 (1). P. 34–39. <https://doi.org/10.26719/emhj.18.013>
25. Lefebvre K., Brough A., Chaseling G. et al. The sex-dependent effect of alcohol consumption on physiological responses to acute heat stress. *Physiology*. 2025. Vol. 40 (S1). <https://doi.org/10.1152/physiol.2025.40.S1.1641>
26. Brough A., Lefebvre K., Mihalcin E., Ravanelli N. The physiological and perceptual responses during acute heat stress following alcohol consumption. *Physiology*. 2024. Vol. 39. <https://doi.org/10.1152/physiol.2024.39.S1.2560>
27. Havenith G., Griggs K., Qiu Y. et al. Higher comfort temperature preferences for anthropometrically matched Chinese and Japanese versus white-western-middle-European individuals. *Building and Environment*. 2020. Vol. 183. Article 107162. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107162>
28. Havenith G. Interaction of clothing and thermoregulation. *Exogenous Dermatology*. 2002. Vol. 1 (5). P. 221–230. <https://doi.org/10.1159/000068802>
29. Romeijn N., Verweij I. M., Koeleman A. et al. Cold hands, warm feet: sleep deprivation disrupts thermoregulation and its association with vigilance. *Sleep*. 2012. Vol. 35 (12). P. 1673–1683. <https://doi.org/10.5665/sleep.2242>
30. Smallcombe J. W., Foster J., Hodder S. G. et al. Quantifying the impact of heat on human physical work capacity. *International Journal of Biometeorology*. 2022. Vol. 66 (12). P. 2463–2476. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02370-7>
31. Ioannou L. G., Foster J., Morris N. B. et al. Occupational heat strain in outdoor workers: a comprehensive review and meta-analysis. *Temperature*. 2022. Vol. 9 (1). P. 67–102. <https://doi.org/10.1080/23328940.2022.2030634>

Дата першого надходження статті до видання: 29.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026