

**ПРИЧИНИ ТА ПРОТИДІЯ ЕФЕКТУ МІСЬКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА
АРХІТЕКТУРНО-ЛАНДШАФТНИМИ ЗАСОБАМИ**

**CAUSES AND COUNTERACTION OF THE URBAN HEAT ISLAND
EFFECT BY ARCHITECTURAL AND LANDSCAPE MEANS**

Keywords: urban heat island, building density, urban transport, air conditioning, cooling, heat emissions.

Ключові слова: міський острів тепла, щільність забудови, міський автотранспорт, охолодження, емісія тепла.

Senior Lecturer of the Department of Architectural Design and Engineering, Lviv Polytechnic National University, Lviv

Старший викладач кафедри архітектурного проектування та інженерії, Національний університет «Львівська політехніка», Львів

<https://doi.org/10.23939/sa2025.02.121>

Abstract

Today's climate changes caused by anthropogenic factors are occurring according to a dramatic scenario. One of the consequences is the urban heat island effect (UHI). It is caused by the accumulation of heat by urban development. Living in the central part of the city has a number of advantages and is more environmentally friendly comparing with suburbs living. However, city centers are gradually becoming less appropriate for human living. One of the main reasons is the UHI effect. It intensify unfavourable environmental conditions, especially during the hot season. The air temperature in city centers is 2–4 °C higher than in the suburbs, in some places on +5–7 °C higher than annual average. This difference corresponds to shifting to south on 1000–1200 km in mid-latitudes. The location of cities in deep valleys or canyons significantly enhances UHI the effect. At certain hours difference can be even +10–12 °C.

During the summer heat ($T_{\max} > 30\text{ °C}$), city temperature indicators can become a threat to the life and health of city inhabitants, especially for the elderly. Daytime ventilation during this period contributes to active pollution with 5, 10, 15 microns particles. They can cause various lung diseases. Lung diseases ranks 2–3 place among the causes of mortality in the world. In view of this, computer modelling of the city's climate parameters should be used in the development of urban development strategies. It is also worthwhile to restrict the use of private cars, which can be achieved through parking tariffs, fines and banning their use in certain places; to propose improvements to the urban environment, which should be adapted for pedestrians, bicycles and electric scooters. One of the best tools to counteract the UHI effect is the active use of green spaces on all possible surfaces – facades, roofs, ground level. The most effective means of counteracting the UHI effect is the creation of ventilation corridors. This tool should be provided for both at the level of the master plan and at the level of detailed plans.

Анотація

Зміни клімату відбувались постійно протягом всієї геологічної історії Землі. Однак сьогодні вони зумовлені насамперед антропогенним фактором і відбуваються за драматичним сценарієм. Наслідками кліматичних змін є деградація екосистем, збільшення частоти та сили руйнівних погодних явищ, посилення негативних кліматичних ефектів, зокрема, міського острова тепла (МОТ). Він зумовлюється накопиченням маси тепла міською забудовою та слабкістю провітрюваності території міста. Додатковим чинником посилення ефекту МОТ є недостатність озеленення та водойм, активне використання міського автотранспорту тощо. Розташування міст у глибоких долинах та улоговинах може суттєво посилювати ефект МОТ. Наслідки – не лише зменшення комфортності перебування зовні, але загроза життю та здоров'ю містян у періоди спеки.

У період літньої спеки ($T_{\max} > 30\text{ °C}$) температурні показники міста можуть стати загрозою для життя і здоров'я мешканців міста, особливо для людей похилого віку. Денне провітрювання в цей період сприяє активному забрудненню повітря частинками розміром 5, 10, 15 мікрон. Вони можуть спричиняти різні захворювання легень. Захворювання легень посідають 2–3-тє місце серед причин смертності у світі. З огляду на це, при розробці стратегій розвитку міст слід використовувати комп'ютерне моделювання кліматичних параметрів міста. Також варто ввести обмеження використання приватних автомобілів, що може бути досягнуто через тарифи на паркування, штрафи та заборону їх використання в деяких місцях; запропонувати покращення міського середовища, яке має бути пристосоване для пішоходів, велосипедів та електросамокатів. Одним з найкращих інструментів протидії ефекту МОТ є активне використання зелених насаджень на всіх можливих поверхнях – фасадах, дахах, рівні землі. Найефективнішим засобом протидії ефекту МОТ є формування вентиляційних коридорів. Цей інструмент має бути передбачений як на рівні генерального плану, так і на рівні детальних планів.

Постановка проблеми

Комфортність проживання є одним із ключових показників якості життя. Вважають, що проживання в центральній частині міста має низку переваг і є більш екологічним порівняно із життям в передмісті чи приміській зоні. Однак центри міст поступово стають менш придатними для проживання громадян. Причинами цього є велика кількість автотранспорту, що створює вкрай несприятливі екологічні умови, надмірна комерціалізація, орієнтація бізнесів та туристів, особливо в туристичних центрах, та міський острів тепла. Ефект міського острова тепла полягає у суттєво вищих температурах у щільно забудованих центральних частин міста порівняно з околицями та передмістями. Ця різниця може становити від +1,5–2 °C (Edward Ng, Chao Ren, 2015) для міст на відносно плоскому рельєфі до +5–6 °C (Edward Ng, Chao Ren, 2015) у середньорічному вимірі. Ця різниця відповідає зміщенню на 1000–1200 км до півдня у середніх широтах (45–60° пн. ш.) У певні години різниця температур повітря може становити навіть +10–12 °C (Edward Ng, Chao Ren, 2015).

Зважаючи на це, в період літньої спеки ($T_{\max} > 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) у центральній частині міста температура повітря буде не просто вищою чи некомфортною, а може становити загрозу життю та здоров'ю містян, особливо для осіб літнього віку. Зважаючи, що люди є теплокровними істотами і завжди випромінюють тепло свого тіла у зовнішнє середовище, за умови, коли зовнішня ефективна температура вища, ніж температура тіла понад 37 °C, почнеться зворотний процес, наслідком чого може бути навіть смерть (<https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heat-related-deaths>).

Крім того, в періоди спеки, що часто збігаються із безвітряною погодою, відбувається інтенсивне денне провітрювання, як наслідок цього – потрапляння забрудненого повітря із дрібнодисперсними частинками у 5, 10, 15 мікрон. Вони є небезпечними для здоров'я і можуть стати причинами різноманітних легеневих захворювань. Легеневі хвороби посідають 2–3-тє місце серед причин смертності у світі (https://www.youtube.com/watch?v=LKN_V3jIH4&ab_channel=YuriyRomanenko). Зважаючи на все вищезазначене, постає гостра необхідність у з'ясуванні не лише причин МОТ, але і засобів протидії та послаблення цього ефекту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Тематика змін клімату в містах є дуже актуальною у різноманітних джерелах екологічного, географічного чи просто публіцистичної тематики. Налічується сотні та тисячі публікацій, що присвячені детальному температурному аналізу і картографуванню ефекту МОТ для багатьох міст. Зокрема, у статті Хаєр Хелог «Міські острови тепла: огляд факторів, ефектів і даних» (Hajer Khaled Jabbar, Mustafa N Hamoodi, Amjed N Al-Nameedaw, 2023), книжці Едвара Енга «Міська кліматична карта» (Edward Ng, Chao Ren, 2015), книжці М. Сантамуріса «Енергія та клімат у міському середовищі та декількох інших» (Santamouris, 2020) тощо.

Також опубліковано чимало статей, у яких зазначено про певні причини МОТ і навіть запропоновано певні заходи щодо обмеження цього ефекту. Проте існує невелика кількість фундаментальних праць, які в деталях досліджували б міський клімат. Як, наприклад, у зазначених джерелах (Edward Ng, Chao Ren, 2015) та статті М. Рендана «Зв'язки між типами землекористування та інтенсивністю міського теплового острова в районі Хулу Лангат, Селангор, Малайзія». У більшості випадків вказують на ймовірні причини відмінностей клімату центральних частин міст, але не пропонують інструментарій для його корегування.

У значній кількості праць цей ефект згадується побіжно, а основна увага приділяється забрудненню, вуглецевому сліду або іншим аспектах глобальних кліматичних змін, навіть у працях фахівців поважних інституцій, зокрема, інституту стратегічних досліджень під керівництвом П. Іванюта («Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації») (Іванюта, 2020). В значній кількості джерел бракує системного підходу та встановлення причинно-наслідкових зв'язків. Варто також зазначити, що ця тема є мало дослідженою в архітектурно-містопланувальному вимірі і представлена незначною кількістю наукових публікацій, відповідно потребує популяризації та подальшого опрацювання.

Мета статті

Визначити основні причини ефекту міського острова тепла (MOT) за вагомістю, сформулювати інструментарій з архітектурно-містопланувальних засобів протидії цьому явищу.

Виклад основного матеріалу

Зростання щільності міської забудови. Сьогодні відбувається активна забудова вільних ділянок центральних частин великих та середніх міст, а також добудова чи перебудова існуючих будівель, метою якої є збільшення корисних площ. Нові будівлі та реконструйовані існуючі, як правило, суттєво перевищують оточуючу забудову як за розмірами, так і за поверховістю.

Це є наслідком більш інтенсивного використання цінної міської землі, що розташована в міських середмістях і має високу ринкову вартість. Цей процес є логічним історично зумовленим від початку промислової революції у західному світі. Всі найбільші міста світу зростали таким чином – Лондон, Париж, Нью-Йорк, а нині – Шанхай, Нью-Делі, Каїр (https://www.youtube.com/watch?v=dG19LftWuIA&ab_channel=BestDocumentary). Підґрунтям є закон економічної ефективності – кожен ресурс повинен працювати якомога прибутковіше з точки зору бізнесу, а земля є економічним ресурсом.

Центральне розташування має важливу екологічно-ресурсну перевагу – така локалізація є суттєво більш сприятлива для використання будь-якого виду громадського транспорту і дає змогу зменшити кількість поїздок приватним автотранспортом. Крім того, не потрібно розширювати міську територію. І з точки зору дохідності бізнесу майже завжди вища дохідність відповідає більшій концентрації.

Таке раціональне використання землі має також і зворотну сторону медалі. Вона полягає в тому, що при більшій щільності забудови створюється інший тип клімату (мікроклімату). Зменшується швидкість вітру, температурний фон є вищим, зменшується вологість повітря та ін. Зменшення провітрюваності території додатково сприяє зростанню температур. Також слід зазначити, що в гарячі чи спекотні дні майже всі сучасні будівлі використовують засоби охолодження, абсолютна більшість це кондиціонери. Для того, щоб забезпечити найбільш комфортні умови для перебування людей всередині певної будівлі, тепло із середини переноситься назовні та додатково нагріває зовнішнє повітря.

Однак головною причиною міського острова тепла є велика концентрація будівельної маси, що може акумулювати велику кількість тепла, що відображено на рис. 1 (Hajer Khaled Jabbar, Mustafa N Hamoodi, Amjed N Al-Nameedaw, 2023). Це тепло накопичується швидше, ніж випромінюється назад у зовнішнє середовище. Внаслідок чого відбувається нагрівання як будівлі, так і повітря довкола неї.

Зрозуміло, що ця тенденція є довготривалою і її дуже складно змінити. Проте зміни клімату вносять свої корективи, котрі є все більш відчутні з кожним наступним десятиліттям. У гарячий період року, коли температура повітря часто перевищує 30 °C і навіть 35 °C, центральні міські терени стають найменш комфортними місцями для перебування людей на відкритому повітрі. Такий температурний режим є не лише некомфортним, але становить загрозу для здоров'я, а також негативно впливає на різноманітний сервісний бізнес і роздрібну торгівлю, ефективність яких визначальним чином залежить від кількості людей.

Для того, аби зменшити цей ефект, слід не лише більш детально прописувати максимальні показники щільності забудови, але й враховувати ефект накопичення тепла будівлями, тип покрівельних та огорожувальних поверхонь, наявність активного озеленення – проводити детальне моделювання температурного режиму.

Обмеження використання кондиціонерів і систем охолодження з емісією тепла в повітря.

Для того, щоб забезпечити комфортні умови у приміщеннях протягом спеки ($T_{\max} > 30\text{ }^{\circ}\text{C}$), використовують системи охолодження. Найбільш розповсюджена система охолодження базується на використанні кондиціонерів. Незважаючи на сповільнення зростання світового населення (https://www.youtube.com/watch?v=qUFttD9AEil&t=1s&ab_channel=GoodTimesBadTimesУкраїна), зростання холодильних потужностей кондиціонерів збільшується в 3–5 разів швидше, ніж приріст

глобального населення. Зокрема, ринок побутових кондиціонерів у світі зріз майже на 10 % у 2023 році (<https://gree.com.ua/press-tsentr/mirovye-novosti/oglyad-svitovogo-rynku-kondytsiyuvannya-povitrya-u-2023-rotsi.html>). Це зумовлено як економічними чинниками? так і зростанням глобальних температур.

Однак кондиціонери мають суттєвий недолік: вони сприяють посиленню ефекту міського острова тепла, оскільки транспортують тепло зсередини назовні, збільшуючи зовнішню температуру. Це додатково збільшує холодину потужність, оскільки згідно із законом термодинаміки тепло передається в середовище від більш гарячого тіла до менш гарячого тіла, а швидкість теплопередачі зумовлена різницею потенціалів (Сиротюк, 2021).

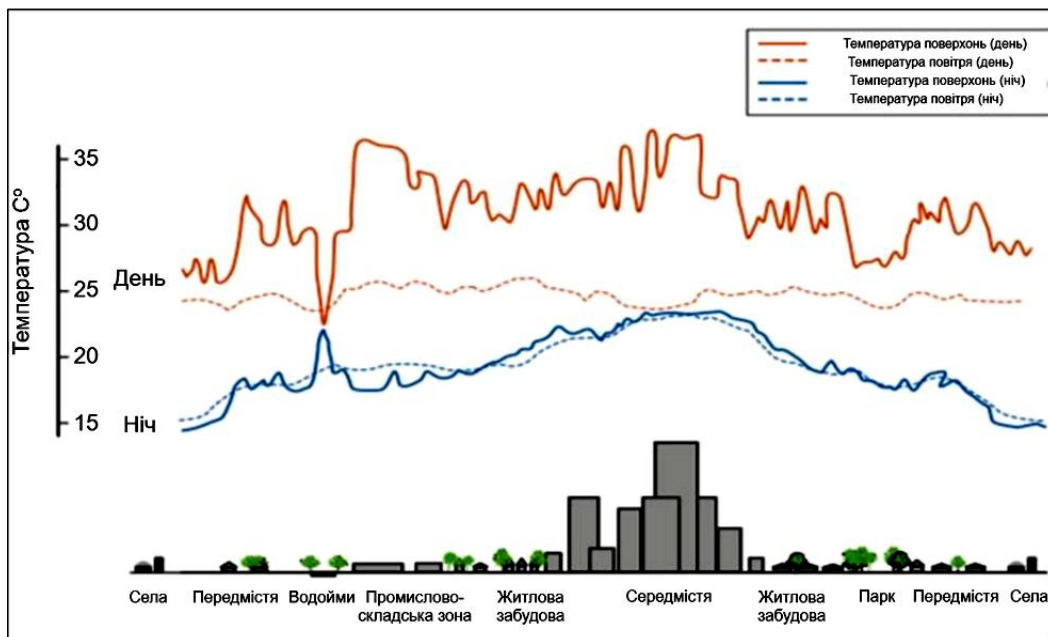


Рис. 1. Температурний профіль міста [4]

Очевидно, що наслідком цього є посилення ефекту міського острова тепла. В найбільш гарячий період кондиціонери локально можуть збільшити температуру повітря на декілька градусів. В окремих випадках ця різниця може становити навіть 10 °C (Gerhard Hausladen, Petra Liedl, 2012). Варто зазначити, що для кондиціонування використовується електроенергія, джерелом якої у 80 % випадків є викопне паливо (Global direct primary energy consumption Statistical Review of World Energy, 2024), що додатково підсилює зростання глобальної температури.

Варто зазначити, що кондиціонери не є єдиною можливим ефективним засобом зменшення температури повітря. В деяких містах Європи зокрема, в Гамбурзі [Сахара], заборонено використання кондиціонерів (<https://сахара.ua/kompaniya-statti>). Це обґрунтовується не лише енергетичними факторами, але й естетичними, оскільки майже в 100 % випадків кондиціонери псують естетику будівель. Окрім того, сьогодні є велика кількість альтернатив кондиціонерам – тепловий насос, центральне охолодження, геотермальне тепло/холод.

Обмеження використання приватного автотранспорту. Невід’ємною частиною будь-якого сучасного міста є використання автотранспорту (як громадського, так і приватного). Його використовують для перевезення пасажирів, вантажів, різноманітних сервісних служб тощо. Звісно, що концентрація автомобілів є найбільшою в центральних частинах міст через те, що вулиці зазвичай є вузькими, ніж в серединному поясі міста або околицях. Крім того, багато міст мають радіальну структуру, що зумовлює великий потік транспорту в центрі.

Абсолютна більшість автомобілів мають двигуни внутрішнього згорання, в яких енергія палива перетворюється в механічну енергію руху автомобіля. Найбільш сучасні двигуни внутрішнього згорання мають ККД близько 40 % (Сиротюк, 2021) а в умовах повільного міського руху

(заторів) цей показник ефективності часто коливається в межах 10–15 %. Це означає, що лівова частка енергії просто перетворюється в тепло і віддається в міське середовище, нагріваючи зовнішнє повітря.

Потужність двигунів сучасних автомобілів становить 100–150 кВт (<https://www.autocentre.ua/news/razbiraemysya-v-otlichii-moshhnosti-motora-kilovatty-i-loshadinye-sily-610552.html>), в умовах міського циклу – близько 50 кВт. Враховуючи ефективність, автомобіль в міському режимі руху виділяє 40 кВт тепла, що співставно з емісією тепла великим однородним будинком.

Якщо автомобілів десятки тисяч, то вони можуть суттєво підвищити температурний фон міста. Зрозуміло, що, крім тепла, автомобілі викидають шкідливі вихлопні гази, що також підвищує температуру і вкрай негативно позначається на міській екології. Для того, щоб покращити міський мікроклімат і санітарно-гігієнічні параметри центральних частин міст, слід обмежити кількість автотранспорту із ДВЗ, насамперед приватних автомобілів, які становлять лівову частку транспортних засобів у будь-якому місті.

Це можна зробити через ускладнення паркування, зростання тарифів обмеження в'їзду за номерними знаками і багатьма іншими способами. Зменшення кількості автотранспорту негативно не вплине на економічну активність, а, навпаки, покращить, притягуючи більшу кількість пішоходів або людей, котрі користуються малими засобами мобільності – велосипедами, електросамокатами тощо.

Покращення якості пішохідної інфраструктури позитивно впливає на міську економіку та міський мікроклімат, тому слід переймати досвід міст, які це впровадили, і перетворювати на невід'ємну складову міської політики (Jan Gehl, 2009). Міста, що не обмежують кількість автотранспорту, погіршують як міську економіку та екологію, так і понижують якість людського капіталу, що є найважливішою цінністю в XXI столітті.

Недостатня кількість зелених насаджень і поверхонь. Зелені насадження є найкращим теплорегулятором і, відповідно, повинні все більш активно впроваджуватися в міську практику. Озеленення є найбільш екологічним засобом боротьби із ефектом глобального потепління, а особливо з ефектом міського острова тепла (James L, 2016).

Дуже часто в центральних частинах міста практично відсутні площі для розташування нових зелених насаджень – дерев, кущів, квітників, травників, оскільки щільність забудови є найвищою, а вільні ділянки майже відсутні. Крім того, розміщення зелених насаджень може суперечити пам'яткоохоронній практиці, статуту ЮНЕСКО та іншим законодавчим актам, що регулюють поводження з архітектурними об'єктами історичної спадщини або особливо цінної міської забудови.

Незважаючи на законодавчі обмеження, комфортні умови перебування мешканців на території міста повинні бути в пріоритеті порівняно з будь-якими матеріальними цінностями (Jan Gehl, 2009). Відповідно слід шукати варіанти збільшення кількості зелених поверхонь у центральних частинах міст (Проект Intertational № 22). Це може бути як озеленення фасадів, дахів, мікрозелень, заміна існуючого покриття поверхні вулиць на більш зелене.

Варто зазначити, що центри багатьох міст включають об'єкти нової забудови, до яких можуть застосовувати практику максимальної кількості зелених поверхонь аби скомпенсувати неможливість її розміщення на будівлях історичної спадщини, і зростання температур над зеленими поверхнями буде суттєво меншим, що зображено на рис. 2 (Edward Ng and Chao Ren, 2015) Ще одним ефективним інструментом є розташування невеликих міських водойм потічків та інших водних об'єктів, які завдяки ефекту випаровування з водної поверхні можуть сприяти пониженню температур і покращувати якість повітря.

Відсутність центральних чи локальних систем охолодження без емісії тепла в повітря. Очевидно, що в помірному кліматі не проєктувалися системи охолодження, оскільки в пріоритеті було забезпечення обігріву в холодний період року. Цей період є в рази тривалішим і становить 5–7 місяців на рік на території України. У період, що прийнятий за кліматичну норму 1951–1980 років, періоди спеки були відносно нетривалі – 2–3 спекотні дні чи тиждень протягом року. За рахунок

температурної інерції будівель температура в приміщеннях могла перевищувати оптимум у 24–25 °С не більше ніж на 1,5–2,0 °С, а випадки некомфортно високих температур у приміщеннях (> 30 °С) були нечастими.

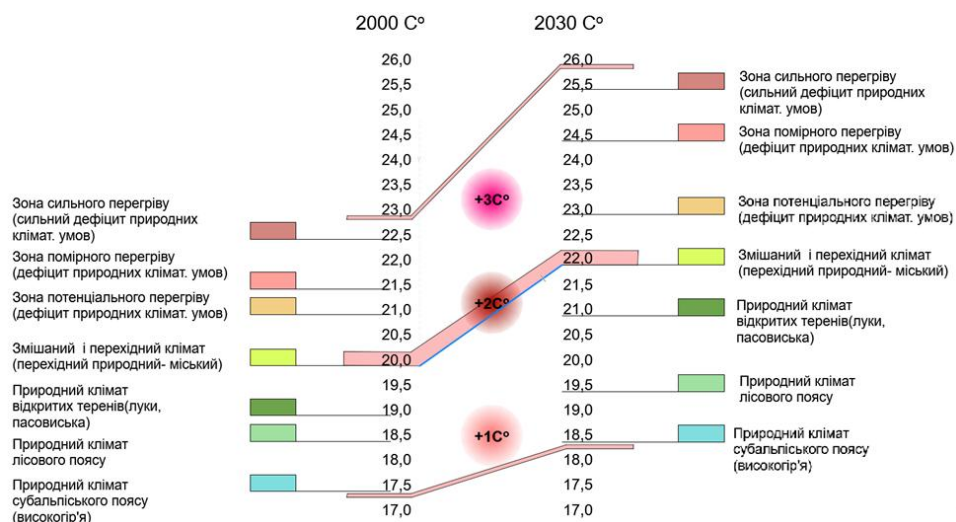


Рис. 2. Прогнозований характер зміни температур залежно від підсилюючої поверхні

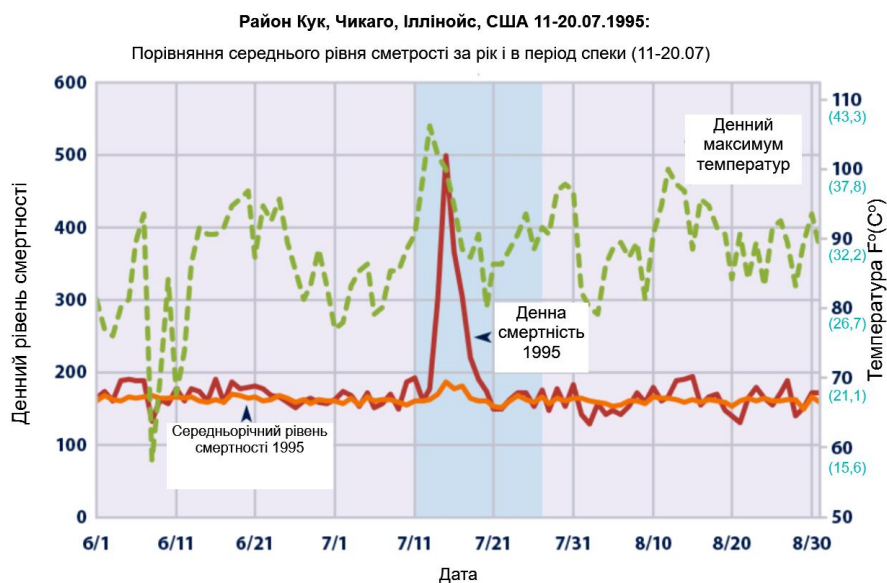


Рис. 3. Понаднормова смертність під час хвилі тепла в Чикаго 1995 року
(<https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heat-related-deaths>)

Проте клімат змінюється і доволі швидко. За останні 10–15 років потепління пришвидшилось. На території України впродовж останнього десятиліття (2015–2024 роки) воно становить +6–7 °С /100 років (<https://meteopost.com/>), а загальне зростання температур від періоду 1961–1990 років за 30 років становить +1,2 °С (Іванюта, Коломієць, Малиновська, Якушенко, 2020). Зважаючи на це, потреби в охолодженні суттєво зростають. Найбільше зростання температур припадає на найтепліші та найхолодніші місяці року (липень, серпень та січень, лютий) і становить +1,6–1,8 °С/30 років або +5,3–6 °С/100 років. Якщо середньорічне зростання температур становить +1°, то для холодного і теплого періоду цей показник буде на 25–40 % більший. Враховуючи те, що не завжди можна застосувати вище передбачені засоби (активне озеленення, обмеження кількості

автотранспорту), то одним із вирішень ситуації є використання центральної системи охолодження. Очевидно, що в будівлях, де відсутня центральна система обігріву, буде значно складніше і дорожче це реалізувати.

Проте варто пам'ятати, що умови перебування людей в періоду спеки, особливо хвиль тепла, можуть коштувати величезну кількість понаднормових смертей. Першим таким підтвердженням у ХХІ столітті на теренах ЄС була хвиля тепла в Європі 2003 року, однак статистику почали вести ще від 1990-х, що зображено на рис. 3 (<https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heat-related-deaths>).

Для охолодження необхідно використовувати теплові насоси, сонячне охолодження або інші варіанти беземісійного викиду тепла в повітря. Робочим середовищем таких систем є ґрунт або вода. Такі рішення дадуть змогу знизити температуру повітря всередині будинків без зростання зовнішньої температури повітря.

Забезпечення умов для провітрюваності території та контролю за якістю повітря. Міський вітровий режим суттєво може впливати на температурні показники міського повітря, особливо в нічний період. Провітрювання в найбільш спекотний період року дасть змогу забезпечувати зменшення температури повітря в помешканнях на 2–3° протягом літньої ночі. Це суттєво покращує комфортність проживання без використання жодної кВт·год. При різких добових перепадах температур цей показник може становити навіть 3–4 °С, що відповідатиме різниці між оптимальною температурою (24–26 °С) і незадовільною (27–30 °С).

Умови провітрюваності впливають не лише на температурні показники, але на якісний склад повітря. В абсолютній більшості випадків у центрах сучасних великих міст велика кількість приватного автотранспорту, що є основним забруднювачем повітря. За умови слабкої або відсутності провітрюваності збільшується концентрація шкідливих речовин у повітрі – насамперед дрібнодисперсних частинок розміром кілька мікрон, сірки, свинцю та інших шкідливих компонентів автомобільного палива.

Насправді погана якість повітря є причиною десятків тисяч передчасних смертей щороку (<https://croweac.com.ua/uk/6-golovnyh-ekologichnyh-problem-u-yevropi-u-2023-roczii/>) в масштабі країни середнього розміру. В центральних щільно забудованих частинах міст, особливо при розташуванні в улоговинах чи долинах, створюються вкрай незадовільні умови для провітрювання (Edward Ng and Chao Ren, 2015). Для уникнення погіршення здоров'я мешканців слід вживати заходи з обмеження автотранспорту із ДВЗ, встановити датчики для вимірювання забруднення та контролю гігієнічних показників повітря.

Однак більш простим і правильним вирішенням є забезпечення природного провітрювання. Щоб це забезпечити, слід правильно проєктувати місто – передбачати коридори для прохолодного повітря та зелені масиви, звідки це повітря буде надходити. Звісно, що такі коридори практично неможливо передбачити за умови щільної міської тканини. Насадження дерев та кущів на таких вулицях, а також вертикальне озеленення може частково компенсувати це.

Систематичний моніторинг якості повітря необхідно проводити на постійній основі із збором масиву цифрових даних для побудови складних параметричних моделей планів розвитку, детальних планів території, зонування та інших містобудівних нормативів та документів.

Висновки

1. При складанні різноманітних планів розвитку міст, генеральних планів, стратегій, зонування слід проводити комп'ютерне моделювання кліматичних параметрів міського середовища. Цей інструмент є не лише бажаним, але і необхідним, оскільки дасть змогу більш коректно оцінити всі можливі ризики, пов'язані зі зміною клімату, насамперед загрози здоров'ю людей протягом хвиль тепла, коли температура повітря становить 30–42 °С.

2. Одним із найкращих інструментів протидії ефекту МОТ є активне використання озеленення на всіх можливих поверхнях – фасади, дахи, рівень землі. Варто зазначити, що більш важливим є гігієнічно-кліматичні властивості зеленої маси рослин, ніж показник площі.

3. За відсутності можливостей використання архітектурно-планувальних засобів варто проводити реконструкцію будівель для встановлення центральної системи охолодження із скиданням зайвого тепла в ґрунт або у воду. Будь-яка емісія тепла в повітря призведе до зростання температур.

4. Найбільш дієвим засоби протидії ефекту міського острова тепла є формування коридорів для провітрювання територій. Цей інструмент можна передбачати лише на рівні генерального плану міста.

5. Одним із можливих засобів послаблення міського острова тепла є зменшення кількості приватного автотранспорту, що є єдиним із найбільших емітентів тепла в містах. Цей крок можна реалізувати шляхом обмеження його використання та зростанням вартості паркування.

Бібліографія

Basics U. H. (2011). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, US EPA <http://www.epa.gov/heatisland/resources/compendium.htm>. Viewed, vol. 14.

Climate Change Indicators: Heat-Related Deaths (Електронний ресурс), режим доступу: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heat-related-deaths>

Edward Ng and Chao Ren (2015). The Urban Climate Map for Sustainable Urban Planing. «Routledge» 2 Gerhard Hausladen, Petra Liedl (2012) Building to Suit the Climate. Birkhäuser, 175 p.

Global direct primary energy consumption Statistical Review of World Energy (2024). Island Press, Washington, DC, 183 p.

Hajer Khaled Jabbar, Mustafa N Hamoodi, Amjed N Al-Hameedaw (2023). Urban heat islands: a review of contributing factors, effects and data. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1129 (2023) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1129/1/012038>

Jan Gehl (2009). Cities for people. Island Press, Washington, DC, 269 p.

James L. (2016) Sweeney Energy Efficiency: Building a Clean, Secure Economy. «Hover Institution press» Stanford CA. 189 p.

Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN 543 p.

https://www.youtube.com/watch?v=LKN_V3jIHY4&ab_channel=YuriyRomanenko

Santamouris M. (2020). Energy and Climate in the Urban Built Environment. Oxon OX14 4RN 410 p., ISBN 9780367578824

Muhammad Rendana.(2023). Relationships between land use types and urban heat island intensity in Hulu Langat district, Selangor, Malaysia *Ecological Processes* volume 12, Article number: 33. <https://doi.org/10.1186/s13717-023-00446-9>

Звіт про науково- дослідну роботу. Розроблення сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні на середньо та довгострокову перспективу з використанням даних глобальних та регіональних моделей. ЛНУ кафедра фізичної географії 2013.

Іванюта С. П., Коломієць О. О., Малиновська О. А., Якушенко Л. М. (2020). Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / за ред. С. П. Іванюти. Київ: НІСД, 110 с. ISBN 966-554-344-2

Людство в епоху змін: шанс вижити чи шлях до зникнення? [Електронний ресурс]. Режим доступу:

https://www.youtube.com/watch?v=qUFttD9AEil&t=1s&ab_channel=GoodTimesBadTimesУкраїна

Мапа прогнозу погоди в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://meteorpost.com/>

Найбільший у світі перетворювач теплової енергії від Vantaa Energy [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://сахара.ua/kompaniya-statti>

Огляд світового ринку кондиціонування повітря у 2023 році [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://gree.com.ua/press-tsentr/mirovye-novosti/oglyad-svitovogo-rynku-kondytsiyuvannya-povitrya-u-2023-rotsi.html>

Прогноз погоди (Електронний ресурс). Режим доступу: <https://www.rp5.ua>

Проект Intertational № 22. Киев Проет-медиа (2009). 265 с.

Сиротюк В. (2021). Фізика: підручник для 8-го класу закладів середньої освіти. Київ: Генеса, 192 с.

Чудова трійка: міста, що сформували історію. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=dG19LftWuIA&ab_channel=BestDocumentary

6 головних екологічних проблем у Європі у 2023 році. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://croweac.com.ua/uk/6-golovnyh-ekologichnyh-problem-u-yevropi-u-2023-roczii/>

Reference

Basics U. H. (2011). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, US EPA <http://www.epa.gov/heatisland/resources/compendium.htm>. Viewed, vol. 14.

Climate Change Indicators: Heat-Related Deaths (Електронний ресурс). Режим доступу: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heat-related-deaths>

Edward Ng and Chao Ren (2015). The Urban Climate Map for Sustainable Urban Planing. «Routledge» 2 Gerhard Hausladen, Petra Liedl (2012) Building to Suit the Climate. Birkhäuser. 175 p.

Global direct primary energy consumption Statistical Review of World Energy (2024). Island Press, Washington, DC. 183 p.

Hajer Khaled Jabbar, Mustafa N Hamoodi, Amjed N Al-Hameedaw (2023). Urban heat islands: a review of contributing factors, effects and data. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1129 (2023) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1129/1/012038>

Jan Gehl (2009). Cities for people. Island Press, Washington, DC. 269 p.

James L. (2016). Sweeney Energy Efficiency: Building a Clean, Secure Economy. «Hover Institution press» Stanford CA. 189 p.

Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN. 543 p.

https://www.youtube.com/watch?v=LKN_V3jIHY4&ab_channel=YuriyRomanenko

Santamouris M. (2020). Energy and Climate in the Urban Built Environment. Oxon OX14 4RN. 410 p. ISBN 9780367578824

Muhammad Rendana.(2023). Relationships between land use types and urban heat island intensity in Hulu Langat district, Selangor, Malaysia *Ecological Processes* volume 12, Article number: 33. <https://doi.org/10.1186/s13717-023-00446-9>

Report on research work. Development of scenarios of climate change in Ukraine for the medium and long term using data from global and regional models. LNU Department of Physical Geography 2013.

Ivaniuta S. P., Kolomiets O. O., Malynovska O. A., Yakushenko L. M. (2020). Climate Change: Impacts and Adaptation Measures: Analytical Report / edited by S.P. Ivaniuta. Kyiv: NISS. 110 p. ISBN 966-554-344-2

Humanity in the Age of Change: a Chance to Survive or a Path to Extinction? [Access mode: https://www.youtube.com/watch?v=qUFttD9AEiI&t=1s&ab_channel=GoodTimesBadTimesУкраїна

Weather forecast map in Ukraine [Electronic resource], accessed at: <https://meteopost.com/>

The world's largest thermal energy converter from Vantaa Energy [Electronic resource], accessed at: <https://caxapa.ua/kompaniya-statti>

Overview of the global air conditioning market in 2023 [Electronic resource], accessed at: <https://gree.com.ua/press-tsentr/mirovye-novosti/oglyad-svitovogo-rynku-kondytsiyuvannya-povitrya-u-2023-rotsi.html>

Weather forecast (Electronic resource), access mode: <https://www.rp5.ua>

Project Intertational No. 22. Kyiv Proet-Media (2009). 265 с.

Sirotyuk V. (2021) Physics: a textbook for the 8th grade of secondary education. Kyiv: Genesa, 192 p.

The Magnificent Three: Cities that Shaped History [Electronic resource]: https://www.youtube.com/watch?v=dG19LftWuIA&ab_channel=BestDocumentary.

6 main environmental problems in Europe in 2023 [Electronic resource].