

УДК [911.43:528.8.041-335.7:502.17](477.83-25)

МІСЬКИЙ ОСТРІВ ТЕПЛА ЛЬВОВА У ЛІТНІЙ ПЕРІОД: ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ

Ірина Койнова , Іван Кухар 

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. П. Дорошенка, 41, м. Львів, Україна, 79007
e-mail: koynova_i@ukr.net, ivankukhar04@gmail.com*

Проаналізовано літні температурні аномалії Львова для виявлення меж та інтенсивності островів тепла. Для дослідження застосовано метод дистанційного зондування Землі. Створено карту температур поверхонь міста Львова на основі супутникового знімка з порталу геологічної служби США *Earth Explorer* супутника *Landsat 8*, зробленого 14 серпня 2023 р. о 9 год 13 хв. Виявлено велику температурну диференціацію в межах самого міста, що свідчить про наявність кількох локальних островів тепла. Основними осередками підвищених температур є території великих промислових підприємств, житлових масивів, великоплощинних гаражних кооперативів, стоянок, складів та торгових центрів. Середня температура поверхні в місті, базуючись на численних обрахунках за даними космознімків, була +25,5 °C, максимальна +38 °C, мінімальна +20 °C. За межами міста середня температура поверхні становила +23,6 °C, максимальна +37,7 °C, а мінімальна +19,9 °C. Інтенсивність прояву міського острова тепла становить 1,9 °C. Протиположними островам тепла в місті є прохолодні зелені зони, такі як: РЛП “Знесіння”, Стрийський парк, Кортумова гора, парк Погулянка тощо. Найбільше терморегульовальне значення для міста має РЛП “Знесіння”, особливо для центральної частини. Температура поверхні в межах РЛП “Знесіння” становила +21,5 °C, тоді як на площі Ринок +30 °C, хоча відстань між обома точками не перевищує 1 км. Міський острів тепла з найвищою ранковою температурою +38 °C улітку та найбільшим перепадом температур (17 °C) формується у Залізничному районі міста. Але завдяки великій площі зеленої зони в цьому та Шевченківському районах середня температура поверхонь найменша в місті (+25,2 °C). Найменша мінімальна температура поверхонь у Шевченківському районі міста +20 °C. Найтеплішим у ранковий час був не Галицький, центральний район, а Франківський з середньою температурою +26,2 °C. Діапазон температури в різних частинах Львова в один і той самий час становить 10,4–17,5 °C. Для зменшення проявів островів тепла та адаптації міста до глобальних кліматичних змін слід прагнути кліматичної нейтральності міста. Досягнення цілей можливе за умови зменшення викидів (завдяки збільшенню енерго- та теплоефективності, впровадженню відновлюваних джерел енергії, покращенню транспортної логістики тощо) та збільшення площі та ефективності зеленої зони міста.

Ключові слова: глобальні кліматичні зміни, дистанційне зондування Землі, кліматична нейтральність, температурні аномалії, міський острів тепла.

Вступ. Кліматичні зміни глобального масштабу проявляються на регіональному та локальному рівнях і мають відчутний вплив і на геосистеми та їхні компоненти, і на людей. Найінтенсивніші прояви змін клімату зафіксовані в соціоекосистемах міст, території яких найбільш антропогенно трансформовані, з великою часткою водонепроникних

поверхонь, розвинутою інфраструктурою, працюючими промисловими підприємствами, високою концентрацією населення. Одним із видів проявів кліматичних змін – є міські острови тепла. Місто Львів ще у 2015 р. було визнаним вразливим до змін клімату, згідно з ґрунтовним дослідженням науковців О. Шевченко і О. Власюк [9]. Зумовлює цю вразливість специфіка міста – історична щільна забудова в центральній частині, а підсилює сучасний розвиток – побудова нових житлових масивів на місці колишніх промислових підприємств, часто завдяки зеленій зоні. Під час війни відбувається релокація бізнесу з південної та східної частин України у Львів та збільшення населення за рахунок ВПО, що збільшує викиди парникових газів та антропогенну трансформацію, посилюючи вразливість міста до кліматичних змін. Тому, дослідження локалізації міського острова тепла та його специфіки в літній період – тема актуальна, особливо з позицій обґрунтування заходів зменшення проявів температурних аномалій у Львові.

Метою публікації є аналіз літніх температур поверхонь міста Львова для виявлення просторового поширення островів тепла, їх інтенсивності та обґрунтування заходів з адаптації до глобальних кліматичних змін і попередження виникнення проблем.

Огляд досвіду. Дослідження проявів островів тепла в містах проводяться і українськими, і закордонними авторами. Перші результати дослідження островів тепла в місті методами дистанційного зондування Землі були опубліковані у 1972 р. Р. К. Rao [13]. Дослідження міських островів тепла проводили у всьому світі: L. Liu, Y. Zhang (2011), H. Shen, L. Huang et al. (2016), J. Tsou, J. Zhuang et al. (2017) [12, 14, 15]. Детальний опис історії розвитку досліджень островів тепла методом дистанційного зондування описаний у публікації В. Зацерковного, Н. Оберемок, П. Березіна (2018 р.) [1]. Методику виявлення міських островів тепла апробовано групою науковців при дослідженні температур земної поверхні міста Віхари в Пакистані [11]. Аналіз геопросторового поширення та часової динаміки островів тепла у Києві зроблений у публікаціях різних років: О. Шевченко, С. Сніжко, Є. Самчук (2011), В. Лялько, Г. Крилова, В. Філіпович (2016), В. Зацерковний, Н. Оберемок, П. Березіна (2018) [1, 2, 10]. Проблеми формування острова тепла досліджували також в інших містах України: Харкові [4], Одесі [3], Луцьку [5, 8], Нововолинську [7]. Результати геопросторового дослідження островів тепла у Львові та динаміки температур поверхонь у місті та за його межами публікуються вперше.

Результати дослідження. Згідно з даними Львівської метеорологічної станції (аеропорт), за період 1961–2020 рр. простежувалася чітка тенденція підвищення значень середньорічної та середньомісячних температур у місті Львові. Порівняно з кліматичним періодом (1961–1990), середньорічна температура періоду 1991–2020 рр. зросла на 1,1 °C [6], переважно, через значне потепління в літній та зимовий місяці. Майже у п'ять разів збільшилася повторюваність днів з температурою повітря +30 °C і вище. Частота та інтенсивність хвиль тепла збільшилася: з п'яти випадків упродовж 1961–1990 до 24 випадків – у 1991–2020 рр. [6]. Під час аномально спекотної, сухої погоди, що зберігається протягом певного періоду, якість атмосферного повітря погіршується і виникають загрози для здоров'я містян.

Острів тепла – це температурна аномалія, яка виникає на територіях, зазвичай, зайнятих штучними поверхнями з малою кількістю природних територій. Таке явище простежується, переважно, в містах з великою концентрацією споруд та інфраструктурних об'єктів, будинків, стоянок, доріг тощо. Явище характеризується підвищеними температурами поверхні та/чи атмосферного повітря, порівняно з навколишніми територіями чи територіями за межами міста. Тепловий острів визначається за різницею температур у місті та за його межами. Існують також острови в межах міста, в районах, де площі

штучних поверхонь переважають над природними. Ясна, суха та безвітряна погода сприяє утворенню теплових островів на противагу хмарній та вологій погоді зі сильним вітром.

Збільшує ймовірність утворення островів тепла міст постійна розбудова та зменшення площ природних геосистем. Зелена та блакитна міська інфраструктура забезпечують терморегуляцію завдяки затіненню та транспірації, тоді як штучні поверхні (дахи будівель, паркувальні майданчики, тротуари та дороги) інтенсивно поглинають та повторно випромінюють сонячне тепло, підвищуючи температуру приземного атмосферного повітря. Влітку, після заходу сонця, такі поверхні виділяють тепло, тому ефект теплового острова не зникає навіть уночі.

Підвищенню температур у місті сприяє також антропогенний рельєф. Форма та висота будівель суттєво впливають на циркуляцію повітря в місті: чим вужчі та вищі будинки, тим циркуляція повітря менша і вітер, який може мати охолоджувальний ефект, блокується будівлями. Регіональна специфіка рельєфу Львова в тому, що центральна частина міста розташована в улоговині річки Полтва, яка тепер закрита в каналізаційний колектор. Це суттєво ускладнює рух повітряних мас у центрі міста та, як наслідок, його охолодження.

Джерелами додаткового тепла в місті є викиди від автомобілів, кондиціонерів та промислових підприємств. Різниця температур урбанізованих територій та прилеглих районів може досягати 5–7 °С, іноді 11–17 °С. Острів тепла впливає на здоров'я та працездатність людей різних вікових груп, найбільш вразливими є діти та літні люди. За даними Агенції з захисту довкілля США, таке явище викликає збільшення випадків смертей та захворювань, пов'язаних зі спекою: загальний дискомфорт, ускладнене дихання, теплові судоми, теплове виснаження, тепловий удар.

Острови тепла поділяють на два типи: поверхні землі та атмосферного повітря. Вони відрізняються за способами формування, методами вивчення та характером прояву. Донедавна дослідження островів тепла поверхні в усьому місті потребувало великих ресурсів, а їх результати не можна було б вважати достовірними, оскільки провести одномоментні вимірювання в десятках точок спостереження складно. Проте зараз, завдяки розвитку космічних апаратів та методів дистанційного зондування Землі, такі дослідження стали реальними. Сьогодні існує доволі велика кількість різних супутників, обладнаних сенсорами, які проводять знімання у різних спектральних діапазонах. Значною мірою доступ до результатів знімань є у вільному доступі. Це дозволяє отримати велику кількість матеріалу для аналізу.

Для виявлення островів тепла в межах Львова ми скористалися супутниковим знімком з порталу геологічної служби США *Earth Explorer* [16] супутника *Landsat 8*, зробленого 14 серпня 2023 р. о 9 год 13 хв. Використано четвертий (червоний, довжина хвилі/мікрометри, 0,64–0,67), п'ятий (ближній інфрачервоний (NIR), довжина хвилі/мікрометри, 0,85–0,88) і десятий (довжина хвилі теплового інфрачервоного датчика (TIRS)/мікрометри, 10,60–11,19) спектральні канали. Опрацювання супутникового знімка проходило в шість етапів:

1. Перетворення величин, виміряних сенсором супутника, в спектральну радіансу *Top of Atmosphere* (TOA). TOA – величина, що вимірюється на вершині атмосфери і відображає кількість світла або радіансу, яку реєструє сенсор або супутник.

2. Переведення радіанси в температуру яскравості *Brightness Temperature* (BT), яка характеризує інтенсивність випромінювання та вимірюється термальним інфрачервоним сенсором.

3. Обчислення нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI), який є кількісним показником фотосинтетичної активної біомаси рослин.

4. На підставі значень NDVI, визначення частки рослинного покриття на досліджуваній території (Pv).

5. Визначення емісії поверхні Землі (ϵ) – здатності поверхні випромінювати тепло.

6. Обчислення температури поверхні землі (LST) за формулою [11]:

$$LST = (BT / (1 + (w * BT / p) * \ln(\epsilon))).$$

Для виявлення геопросторової локалізації островів тепла міста Львова нами створено карту температур поверхні *Land surface temperature* (LST) станом на 14 серпня 2023 року о 9 год. 13 хв. (рис. 1).

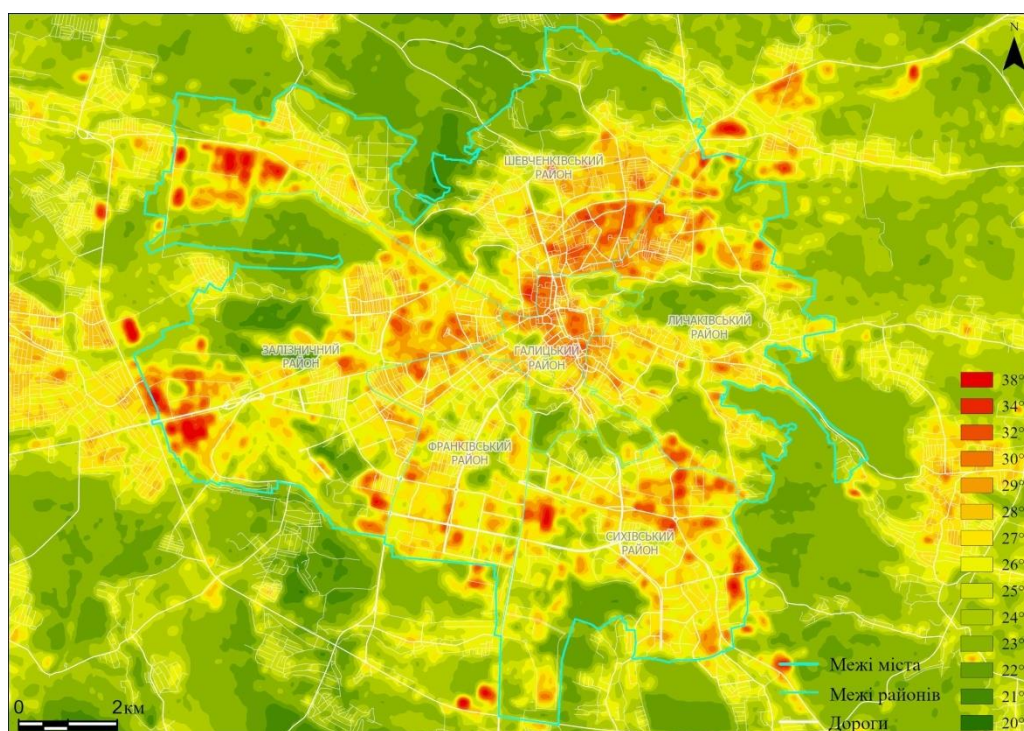


Рис. 1. Температури земної поверхні в місті Львові станом на 14 серпня 2023 р. о 9 год 13 хв.

Fig. 1. Land surface temperature as of August 14, 2023 at 9:13 a.m.

Результати аналізу отриманих даних свідчать, що середня температура поверхні в місті, базуючись на даних космознімка, була +25,5 °C, максимальна +38 °C, мінімальна +20 °C. За межами міста середня температура поверхні становила +23,6 °C, максимальна +37,7 °C, а мінімальна +19,9 °C.

Отже, інтенсивність прояву міського острова тепла становить 1,9 °C. Проте потрібно врахувати декілька важливих факторів:

➤ обрахунки температур за межами міста проводилися включно з населеними пунктами, великими підприємствами та іншими інфраструктурними об'єктами, поверхні яких також є перегріті. Ці території формують локальні острови тепла за межами міста;

➤ знімок для створення карти зроблений уранці, через те, що супутники даного типу проводять знімання цієї території лише в ранковий час. Тому, на нашу думку, в обідній/вечірній час, коли штучні поверхні більше нагріваються – інтенсивність міського острова тепла буде вищою;

➤ просторова роздільна здатність вихідного матеріалу – 100 м. Методом інтерполяції були знайдені проміжні дані та для покращення візуального сприйняття матеріалу, карту генералізовано. Тому, враховуючи можливі спотворення при інтерполяції, фактичні дані на місці можуть незначно відрізнятися від даних, що зображені на карті.

На рис. 1 чітко простежується температурна диференціація в межах самого міста, що свідчить про наявність кількох локальних островів тепла. Основними осередками підвищених температур є території великих промислових підприємств, житлових масивів, велико-площинних гаражних кооперативів, стоянок, складів та торгових центрів.

У західній частині міста сформувався острів тепла над територією ТЦ “Метро” та “Епіцентр”, що прилягають до вул. Городоцька. Температура цього острова +35–37 °С, тоді як температура територій обабіч дороги, які вкриті не густою рослинністю, становить +28,5 °С.

У північно-західній частині міста значно перегріта територія, яка входить до індустриального парку в межах промислової зони “Рясне-2” площею 25 га. На цій ділянці розташовані ПАТ Концерн Електрон, ПАТ “Львівський завод автонавантажувачів”, ВАТ “Завод “Львівсільмаш”, склади компанії “Стелла Фудз” тощо. Температура поверхні тут досягає +37 °С, саме тоді коли температура сусідніх присадибних ділянок приватної забудови становить +24 °С.

У південно-східній частині міста виражений тепловий острів сформований вздовж вул. Зеленої, де на територіях колишніх промислових підприємств щільно звели житлові масиви. Найвищі температури спостерігаються над Львівським домобудівним комбінатом: температура даху цього підприємства становить +33,8 °С, температура поверхні на автомобільній розв'язці +28 °С, а на прилеглих територіях з садибною забудовою +24 °С. Південніше, у Сихівському районі, значний перегрів поверхні спостерігається на території підприємства “Іскра”: температура даху становить +34,8 °С, на околицях +28 °С, на захід від підприємства концентрація зелених насаджень збільшується і температура поверхні становить +25 °С.

На півдні міста виділяється острів тепла сформований над територією колишнього “Львівського автобусного заводу”: температура даху +35 °С, дорога на вул. Стрийській +29–30 °С, навпроти заводу в парку Боднарівка +22,4 °С. Значно перегріта також ділянка над ТЦ “Вікторія Гарденс”: температура даху +35 °С, на парковці – близько +31 °С, у Скрипівському парку +21 °С.

Найбільший та найбільш однорідний острів тепла через щільну забудову та малу площу зелених насаджень формується у центральній частині міста та мікрорайоні Підзамче-Замарстинів.

Противагу островам тепла в місті становлять прохолодні зелені зони: РЛП “Знесіння”, Стрийський парк, Кортумова гора, парк Івана Франка тощо. Найбільше терморегульовальне значення для міста має РЛП “Знесіння”. За картою температур земної поверхні чітко можна провести межі парку, він має великий вплив на формування мікроклімату міста, а

особливо його центральної частини. Температура земної поверхні в межах РЛП “Знесіння” становить $+21,5^{\circ}\text{C}$, тоді як на площі Ринок $+30^{\circ}\text{C}$, хоча відстань між обома точками не перевищує 1 км. У межах парку Івана Франка $+22,6^{\circ}\text{C}$, а на прилеглих вулицях $+27^{\circ}\text{C}$.

За допомогою зональної статистики були обраховані основні статистичні показники для усіх районів міста, представлені на діаграмі (рис. 2). Найбільшою максимальною температурою поверхні характеризується Залізничний район, через перегрів у західній частині району на території промислових складів та ТЦ “Епіцентр” і “Метро”. Найменше максимальне значення температури в Галицькому і Франківському районах міста.

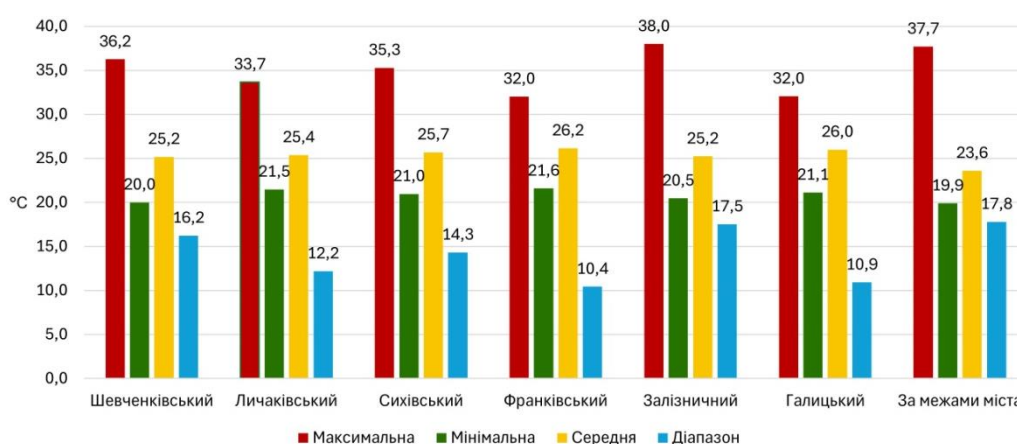


Рис. 2. Усереднені показники температур поверхні в межах міських районів Львова та за межами міста.

Fig. 2. Average values of LST within the urban areas of Lviv and outside the city.

Мінімальна температура поверхні найвища у Франківському районі, на $0,1^{\circ}\text{C}$ менша в Личаківському; найменша мінімальна температура простежується у Шевченківському районі $+20,0^{\circ}\text{C}$. Середня температура у Франківському районі є найвищою $+26,2^{\circ}\text{C}$, менша в Галицькому $+26,0^{\circ}\text{C}$, найменша у Шевченківському та Залізничному районах міста $+25,2^{\circ}\text{C}$. У Залізничному районі найбільша різниця температур – $17,5^{\circ}\text{C}$, найменший діапазон температур у Франківському районі – $10,4^{\circ}\text{C}$. Це значні різниці температур у межах одного району міста.

Найвищі максимальні температури фіксуються у Залізничному і Шевченківському районах на обмежених ділянках навколо торгово-промислових приміщень, але середні температури поверхонь у цих районах нижчі, ніж в інших. Найбільший вплив ефекту міського острова тепла простежується у Франківському і Галицькому районах, де на 9 год ранку, коли нагрів поверхонь ще не досяг свого піку, різниця температур, порівняно із замиськими територіями, становить $2,6^{\circ}\text{C}$ та $2,4^{\circ}\text{C}$ відповідно.

Для зменшення інтенсивності та площ островів тепла в місті Львові слід реалізувати політику кліматично-нейтрального міста та запроваджувати заходи адаптації до глобальних кліматичних змін. Мета концепції кліматичної нейтральності міста полягає у досягненні нульового балансу між емісією парникових газів у місті та їх депонуванням природними геосистемами. У Львові реалізовується така концепція в рамках Європейської угоди мерів щодо клімату та енергії, а також міжнародного проекту SPARCS. Досягнення

цілей можливе за умови зменшення викидів (шляхом збільшення енерго- та тепло-ефективності, впровадження відновлюваних джерел енергії, покращення транспортної логістики тощо) і збільшення площі та ефективності зеленої зони міста.

Заходи з енергоефективності реалізовано в місті Львові через покращення теплоізоляції будівель, заміни вікон у під'їздах, заміни ламп розжарювання на енергоефективні LED-лампи тощо. Перехід на відновлювані джерела енергії можливий за кількома напрямками: встановлення сонячних панелей на дахах великої площі, виробництво енергії з побутових чи рідких комунальних відходів. Покращення логістики автотранспорту – це налагодження роботи громадського транспорту за чітким графіком, продовження розвитку інфраструктури для велосипедів та самокатів, обмеження в'їзду автомобілів у центральну частину, побудова перехоплюючих парковок на в'їздах у місто тощо.

Збільшення площ зеленої зони у Львові, а надто в центрі – буде проблематичним, через нестачу вільних ділянок для озеленення. Тому, рекомендуємо розвивати наявну інфраструктуру шляхом створення кишенькових парків, зелених колій, зелених стоянок та зупинок громадського транспорту, запровадження вертикального та дахового озеленення тощо. Важливо також підтримання у належному стані наявних зелених зон – контроль за інвазійними видами, фаховий догляд за віковими деревами та дотримання правил обрізання дерев, поновлення породного складу парків та скверів видами, стійкими до теплового стресу, створення багаторуслих насаджень, зменшення частоти косіння газонів, формування клумб з лучною рослинністю тощо.

Реалізація таких заходів допоможе знизити ефект теплового острова, зменшить вразливість міста до інших загроз від глобальних кліматичних змін таких як підтоплення чи пилові бурі, сприятиме підвищенню екологічної стабільності соціоекосистем міста та збільшенню біорізноманіття.

Подальших досліджень потребує добова динаміка львівських островів тепла. Але знімки супутників *Landsat 8/9* можна отримати лише в ранковий час. Тому, можна було б у майбутньому скористатися даними з інших супутників з різним часом проходження над Україною. Важливо також проаналізувати сезонну динаміку островів тепла у Львові для формування ефективних заходів досягнення кліматичної нейтральності міста.

Висновки. Мікроклімат великого міста залежить від природних умов, інтенсивності урбанізації, економічного розвитку та специфіки проявів глобальних кліматичних змін на регіональному рівні.

Забруднення атмосферного повітря Львова автотранспортом, комунальними та промисловими підприємствами, особливості рельєфу міста, а також трансформація великих площ природних поверхонь на асфальтові та бетонні є причиною зміни поглинання поверхнею сонячної радіації, здатності акумуляції тепла, інтенсивності випаровування і, таким чином, призводить до значних відмінностей мікроклімату міста від приміських територій, а також формування внутрішньоміських островів тепла.

Створена нами карта температури земної поверхні міста Львова (станом на 14 серпня 2023 р., 9 год 13 хв) із використанням методів дистанційного зондування Землі дозволила виявити геопросторові особливості формування островів тепла в межах міста та порівняти температурні показники міста та заміських територій.

Загальна тенденція збільшення температур поверхні від околиць до центру міста порушена у Львові кількома островами тепла, що сформувались у кожному адміністративному районі. Остів тепла з найвищою ранковою температурою +38 °C улітку та найбільшим перепадом температур – 17 °C формується у Залізничному районі міста. Але

завдяки великій площі зеленої зони середня температура поверхонь найменша в місті (+25,2 °C) у цьому районі та у Шевченківському. Найменша мінімальна температура поверхонь у Шевченківському районі міста +20 °C. Найтеплішим у ранковий час був не Галицький, центральний район, а Франківський з середньою температурою +26,2 °C. Діапазон температури у різних частинах Львова в один і той самий час становить 10,4–17,5 °C. Різниця середніх температур в найтеплішому Франківському районі міста та за його межами на 9:13 ранку становить 2,6 °C.

Великі підприємства, торгові центри, склади з інфраструктурою, які займають великі площі покриті штучними матеріалами, виступають епіцентрами високих температур та формування локальних островів тепла в місті. Зелена інфраструктура навпаки виконує роль охолодження та зменшення інтенсивності островів тепла.

Для зменшення проявів островів тепла та адаптації міста до глобальних кліматичних змін слід прагнути кліматичної нейтральності міста. Досягнення цілей можливе за умови зменшення викидів (шляхом збільшення енерго- та теплосективності, впровадження відновлюваних джерел енергії, покращення транспортної логістики тощо) та збільшення площі та ефективності зеленої зони міста.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зацерковний В. І., Оберемок Н. В., Березіна П. О. Просторово-часовий аналіз “островів тепла” мегаполіса за супутниковими знімками LANDSAT. *Наукові технології*. 2018. 1(37). С. 106–113. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nt_2018_1_17.
2. Лялько В. І., Крилова Г. Б., Філіпович В. Є. Вивчення розподілу поверхневих температур в історичній частині м. Києва. *Світ геотехніки*. 2016. № 2. С. 27–29.
3. Маринін І. Л., Дранічер О. Р. Деякі оцінки характеристик острову тепла м. Одеса. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2013. № 12. С. 54–61.
4. Матвієнко М. О. Особливості міського острова тепла в Харкові. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 3. С. 131–133.
5. Нетробчук І., Вдовичук І. Мікрокліматичні особливості міста Луцька. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету ім. Лесі Українки. Серія : Географічні науки*. 2017. № 9 (358). С. 15–22.
6. План дій сталого енергетичного розвитку та клімату Львівської міської територіальної громади 2030. Інститут міста / Угода мерів щодо клімату та енергії в Україні. 172 с.
7. Стельмах В. Ю., Нетробчук І. М. Особливості формування «острову тепла» над містом Нововолинськ та шляхи оптимізації мікрокліматичних змін. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: географія*. 2023. № 1 (Вип. 54). С. 23–32. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.3>.
8. Федонюк М. А., Прохоренко А. Ю., Федонюк В. В. Дослідження формування та просторового розподілу “острова тепла” над Луцьком. *Екологічні нотатки*. 2018. № 6. С. 45–53. URL: <https://lib.lntu.edu.ua/147258369/6588>.
9. Шевченко О. Г., Сніжко С. І. Хвилі тепла та основні методологічні проблеми, що виникають при їх дослідженні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. № 11. С. 101–108.
10. Шевченко О. Г., Сніжко С. І., Самчук Є. В. Температурні аномалії великого міста. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2011. № 8. С. 67–73.

11. Analytical Study of Land Surface Temperature with NDVI, NDBI, and NDBaI of Vehari District and Detect the UHI in Vehari City, Pakistan / Ahmed Yaseen Ghouri, Aleeza Khan, Deeba Iftikhar and other. *Journal of Remote Sensing GIS & Technology*. 2022. Vol. 8. Iss. 3. P. 12–25.
12. Liu L., Zhang Y. Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*. 2011. Vol. 3(7). P. 1535–1552.
13. Rao P. K. Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1972. Vol. 53. P. 647–648.
14. Shen H., Huang L., Zhang L., Penghai W., and Zeng C. Long-term and fine-scale satellite monitoring of the urban heat island effect by the fusion of multi-temporal and multi-sensor remote sensed data: A 26-year case study of the city of Wuhan in Chin. *Remote Sensing of Environment*. 2016. Vol. 172. P. 109–125.
15. Tsou J., Zhuang J., Li Y., Zhang Y. Urban Heat Island Assessment Using the Landsat 8 Data: A Case Study in Shenzhen and Hong Kong. *Urban Sci*. 2017. Vol. 1(10).
16. U.S. Geological Survey. Landsat 8. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>.

REFERENCES

1. Zatserkovnyi, V., Oberemok, N., & Berezina, P. (2018). Spatial and temporal analysis of the “heat islands” of the metropolis based on LANDSAT satellite images. *Science-intensive technologies*, 1(37), 106–113. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nt_2018_1_17 [in Ukrainian].
2. Lyal’ko, V., Krylova, G., & Filipovych, V. (2016). Study of the distribution of surface temperatures in the historical part of Kyiv. *World of Geotechnics*, 2, 27–29 [in Ukrainian].
3. Marinin, I., & Dranicher, O. (2013). Some estimates of the characteristics of the heat island in Odesa. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 12, 54–61 [in Ukrainian].
4. Matvienko, M. (2019). Features of the urban heat island in Kharkiv. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 3, 131–133 [in Ukrainian].
5. Netrobchuk, I., & Vdovychuk, I. (2017). Microclimatic specifics of the city of Lutsk. *Scientific Bulletin of Lesya Ukrainka Eastern European National University. Series: Geographical science*, 9(358), 15–22 [in Ukrainian].
6. Sustainable Energy and Climate Action Plan for Lviv City Territorial Community 2030. (2023). Lviv City Institute. Covenant of Mayors for Climate and Energy in Ukraine [in Ukrainian].
7. Stelmakh, V., & Netrobchuk, I. (2023). Peculiarities of the formation of the “heat island” over the city of Novovolynsk and ways to optimize microclimatic changes. *Scientific Notes Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University of Ternopil. Series: Geography*, 1(54), 23–32. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.3> [in Ukrainian].
8. Fedoniuk, M., Prokhorenko, A., & Fedoniuk, V. (2018). Study of the formation and spatial distribution of the “heat island” over Lutsk. *Ecological notes*, 6, 45–53. URL: <https://lib.lntu.edu.ua/147258369/6588> [in Ukrainian].
9. Shevchenko, O., & Vlasiuk, O. (2015). Vulnerability assessment and adaptation measures for urban climate change: Lviv, Odesa, Khmelnytsky and Uzhhorod. URL: <http://climategroup.org.ua/?p=3201> [in Ukrainian].
10. Shevchenko, O., Snizhko, S., & Samchuk, E. (2011). Temperature anomalies of a large city. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 8, 67–73 [in Ukrainian].

11. Ghouri, A., Khan, A., Iftikhar D., et al. (2022). Analytical Study of Land Surface Temperature with NDVI, NDBI, and NDBaI of Vehari District and Detect the UHI in Vehari City, Pakistan. *Journal of Remote Sensing GIS & Technology*, 8, Iss. 3, 12–25.
12. Liu, L., & Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(7), 1535–1552.
13. Rao, P. (1972). Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 53, 647–648.
14. Shen, H., Huang, L., Zhang, L., Penghai, W., & Zeng, C. (2016). Long-term and fine-scale satellite monitoring of the urban heat island effect by the fusion of multi-temporal and multi-sensor remote sensed data: A 26-year case study of the city of Wuhan in China. *Remote Sensing of Environment*, 172, 109–125.
15. Tsou, J., Zhuang, J., Li, Y., & Zhang, Y. (2017). Urban Heat Island Assessment Using the Landsat 8 Data: A Case Study in Shenzhen and Hong Kong. *Urban Sci*, 1(10).
16. U. S. Geological Survey. Landsat 8. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>.

Стаття: надійшла до редакції 20.05.2024

доопрацьована 28.06.2024

прийнята до друку 02.08.2024

URBAN HEAT ISLAND OF LVIV IN SUMMER: GEOSPATIAL ANALYSIS

Iryna Koynova, Ivan Kukhar

Ivan Franko National University of Lviv,
41, P. Doroshenko Str., Lviv, Ukraine, 79007
e-mail: koynova_i@ukr.net, ivankukhar04@gmail.com

The publication analyzes the summer temperature anomalies of Lviv to identify the boundaries and intensity of urban heat islands. The remote sensing method was used to conduct research. A land surface temperature (LST) map of the city of Lviv was created based on a satellite image provided by US Geological Service Earth Explorer of the Landsat 8 satellite, taken on August 14, 2023 at 9:13 a.m. A large temperature differentiation was found within the city itself, which indicates the presence of several local urban heat islands. The main centers of high temperatures are the territories of large industrial enterprises, residential areas, large-area garage cooperatives, parking lots, warehouses, and shopping malls. The average LST in the city, according to the calculated LST, was +25.5 °C, maximum +38 °C, minimum +20 °C. Outside the city, the average LST was +23.6 °C, the maximum +37.7 °C, and the minimum +19.9 °C. The intensity of the urban heat island is 1.9 °C. The counterbalance to the urban heat islands in the city are cool green zones, such as: Znesinnia Regional Landscape Park (RLP), Stryi Park, Kortumova Hora, Pohulyanka Park, etc. The most significant thermoregulatory role for the city is the RLP “Znesinnia”, especially for the central part. The surface temperature within the “Znesinnia” RLP was +21.5 °C, while at Rynok Square it was +30 °C, although the distance between the two points does not exceed 1 km. The urban heat island with the highest morning temperature of +38 °C in summer and the biggest temperature drop (17 °C) is formed in the Zaliznychnyi district of the city. But thanks to the large area of the green zone in this and Shevchenkivsky districts, the average LST is the lowest in the city (+25.2 °C). The lowest minimum LST in the Shevchenkiv district of the city is +20 °C. The warmest in the morning was not Halytskyi, the central district, but Frankivskyi with an average temperature of +26.2 °C. The temperature

range in different parts of Lviv at the same time is 10.4-17.5 °C. In order to reduce the affect of urban heat islands and adapt the city to global climate changes, the climate neutrality of the city should be strived for. Achieving the goals is possible under the condition of reducing emissions (by increasing energy and heat efficiency, introducing renewable energy sources, improving transport logistics, etc.) and increasing the area and efficiency of the city's green zone.

Keywords: global climate changes, remote sensing, climate neutrality, temperature anomalies, urban heat island.