

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет імені Івана Франка  
Географічний факультет  
Кафедра раціонального використання природних ресурсів і охорони природи

Завідувач кафедри  
к.г.н., доцент Рожко І. М.

\_\_\_\_\_ (підпис)  
„ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЕФЕКТ ТЕПЛОВОГО ОСТРОВА ЛЬВІВСЬКОЇ МІСЬКОЇ  
ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ ТА МОЖЛИВОСТІ ЙОГО ЗМЕНШЕННЯ**

Бакалаврська робота

Виконав студент  
ГРФ – 42 Кухар Іван

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник  
к.г.н., доцент Койнова І.Б.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Львів 2025

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
РОЗДІЛ 1. Теоретичні аспекти дослідження ефекту міського теплового острова .....	5
1.1 Поняття міського теплового острова .....	5
1.2 Вплив теплового ефекту на мешканців та інфраструктуру міста .....	9
1.3 Кліматичні зміни як чинник посилення ефекту міського теплового острова .....	10
1.4. Чинники температурної диференціації в умовах міста .....	12
1.4.1. Антропогенні чинники формування міського теплового острова .....	12
1.4.2. Терморегуляційна функція зеленої зони у міському просторі .....	15
РОЗДІЛ 2. Методика геопросторового аналізу температури підстилаючої поверхні та приземного шару повітря .....	19
2.1. Методика створення карти температури підстилаючої поверхні з використанням методів дистанційного зондування Землі .....	19
2.2. Методика проведення польових досліджень .....	21
РОЗДІЛ 3. Вплив структури міського середовища на мікроклімат Львова ...	25
3.1 Просторово-морфологічна структура Львова та громади .....	24
3.2 Структура зеленої зони у Львові та громаді .....	28
3.3 Додаткові чинники посилення ефекту міського теплового острова .....	34
РОЗДІЛ 4. Геопросторовий аналіз ефекту міського теплового острова міста Львова та громади .....	39
4.1. Аналіз міського теплового острова підстилаючої поверхні та зв'язок з типом поверхонь .....	38
4.2. Результати польових досліджень .....	43
РОЗДІЛ 5 Рекомендації щодо зменшення інтенсивності прояву ефекту МТО	52
ВИСНОВКИ .....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	61
ДОДАТКИ .....	51

## ВСТУП

У контексті глобальних кліматичних змін та стрімкої урбанізації проблема зростаючих температур у містах набуває все більшого значення. Одним із найбільш помітних наслідків таких процесів є ефект міського теплового острова (МТО), що полягає у вищій температурі в межах міських територій порівняно з заміською територією. Це явище не лише впливає на комфорт та здоров'я мешканців, а й підвищує навантаження на енергетичну інфраструктуру та сприяє погіршенню якості повітря. Незважаючи на те, що ефект вперше був виявлений більш ніж 200 років тому, він досі залишається недостатньо вивченим, особливо в Україні.

Об'єктом дослідження – є міський тепловий острів Львівської міської територіальної громади.

Предмет: геопросторове поширення та інтенсивність прояву ефекту міського теплового острова.

Завдання: створити карту температури підстилаючої поверхні, створити карти вегетаційного індексу та індексу забудови, обчислити кореляцію між типом поверхні та її температурою, провести геопросторовий аналіз розподілу температури підстилаючої поверхні, ідентифікувати міські острови тепла та осередки підвищеної температури, провести польові дослідження для вивчення ефекту МТО в приземному шарі повітря, розробити рекомендації для зниження інтенсивності прояву ефекту міського теплового острова

Мета – здійснити комплексне дослідження ефекту міського теплового острова Львівської міської територіальної громади (МТГ).

Основними методами у проведенні даного дослідження були: літературний, математичний, статистичний, дистанційного зондування Землі, картографічний та методи польових досліджень.

У цьому дослідженні представлено комплексний аналіз ефекту МТО у межах Львівської МТГ, висвітлено геопросторове поширення та інтенсивність цього ефекту. Вперше створено карти міського теплового острова підстилаючої поверхні для території Львівської міської територіальної громади (МТГ), які

дозволяють ідентифікувати теплові острови та вогнища тепла, оцінити їх геопросторову структуру та інтенсивність, а також дослідити кореляцію між температурою поверхні та характеристиками ґрунтового покриву. Окрім цього, вперше було визначено інтенсивність та добову динаміку ефекту МТО приземного шару атмосфери у Львові.

Отримані результати можуть стати основою для ефективнішого просторового планування та управління міським середовищем. Зокрема, дані про просторове поширення МТО дозволяють визначити ділянки, найбільш вразливі до перегріву, і сформувати пріоритетні зони для розвитку зелених насаджень. Це сприятиме зниженню локальних температур та стабілізації теплового режиму у межах Львівської МТГ. Застосування таких підходів є важливим кроком до підвищення кліматичної стійкості міста в умовах зміни клімату.

У результаті роботи над цією темою було опубліковано у співавторстві дві наукові статті у журналах «Вісник Львівського університету» (Львів) та «Економічна та соціальна географія» (Київ, англomовна). Результати досліджень оприлюднені на наукових конференціях та опубліковані тези у збірнику XXV-а Всеукраїнської студентсько-аспірантської наукової конференція “Реалії, проблеми та перспективи розвитку географії, географічної освіти, екології, туризму та сфери гостинності в Україні” (Львів) та «Geography social ways of training specialists in the social sphere and inclusive education» (Прага ) [3,4,5,30].

## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ МІСЬКОГО ТЕПЛОВОГО ОСТРОВА

#### 1.1 Поняття міського теплового острова

Останніми роками актуальність проблеми глобальних кліматичних змін лише зростає через збільшення частоти та інтенсивності теплових хвиль та екстремальна спекотних днів. Такі негативні зміни особливо помітні у міському середовищі, де вони посилюють прояв ефекту міського теплового острова (далі – МТО). Хоча даний ефект не спричинений глобальними кліматичними змінами, проте підвищення температури повітря та зміна енергетичного балансу пов'язані з ними посилюють вплив ефекту МТО.

Ефект міського теплового острова проявляється у підвищенні температури повітря та/або підстилаючої поверхні в містах порівняно з їхніми околицями. Вперше цей ефект дослідив англійський вчений Люк Говард описавши свої дослідження міського клімату Лондона в книзі «Клімат Лондона» (1818-1820). Він виявив, що нічні температури в Лондоні на  $2,1^{\circ}\text{C}$  вищі, ніж у сільській місцевості, хоча денні температури були нижчими. Враховуючи те що така доволі відчутна різниця була зафіксована ще більше ніж 200 років тому, коли міста ще не були настільки розвиненими як зараз, то можна припустити, що з прискоренням темпів урбанізації та зростанням міст інтенсивність МТО також зросла.

Сучасні дослідження свідчать про те, що середньорічна температура повітря в місті-мільйоннику може бути на  $1-3^{\circ}\text{C}$  вищою за температуру за межами міста, а різниця вночі може досягати  $12^{\circ}\text{C}$  [22, 23]. МТО попри свою назву проявляється не лише у містах, а й у селищах, хоча інтенсивність його прояву буде меншим.

Міський тепловий острів буває трьох основних типів. Перший –це МТО підстилаючої поверхні, який характеризується різницею температури між поверхнями в межах міста та за його межами. Другий тип – МТО приземного шару повітря (*urban canopy layer*), що охоплює атмосферний шар від поверхні

землі до вершин будівель і дерев. У цьому шарі температура повітря найбільше піддається нагріванню через прямий контакт з перегрітими поверхнями, вплив антропогенного тепла та обмежену циркуляцію повітря, а його прояв на пряму відчують жителі міста.

Третій тип – МТО граничного шару атмосфери (*urban boundary layer*), який охоплює шар повітря від дахів будівель та верхівок дерев до висоти, на якій вплив міста на температуру повітря стає незначним. Ця висота може варіюватися від 100 м до 1,5 км залежно від метеорологічних умов. У межовому шарі температура також підвищена, проте меншою мірою, ніж у приземному, оскільки тут відбувається інтенсивніше перемішування повітряних мас.

У межах даного дослідження розглядаються два типи МТО: підстилаючої поверхні, що позначається як П-МТО, та приземного шару атмосфери – А-МТО (А – атмосферне повітря).

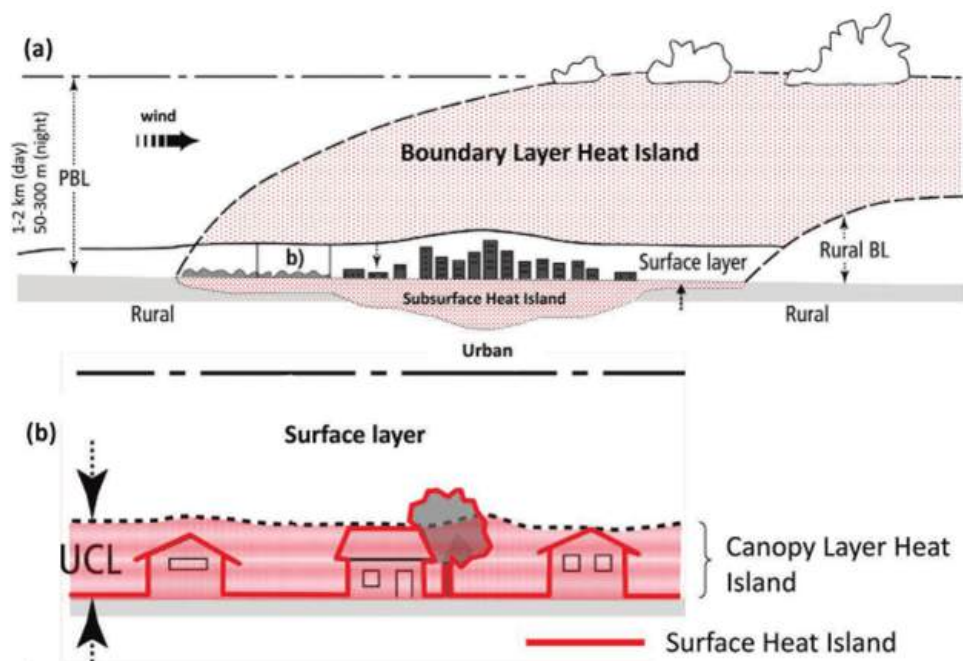


Рис. 1.1 Схематичне зображення основних складових МТО [26]

Прояв ефекту МТО вимірюється різницею температур у місті та територіях за межами нього, проте температура може змінюватися і в межах міста. У деяких районах, де більш концентровані будівлі та інші штучні поверхні температура вища, ніж у районах, де зелених насаджень більше. Такі

райони формують внутрішньо-міські острови тепла, або локальні вогнища тепла.

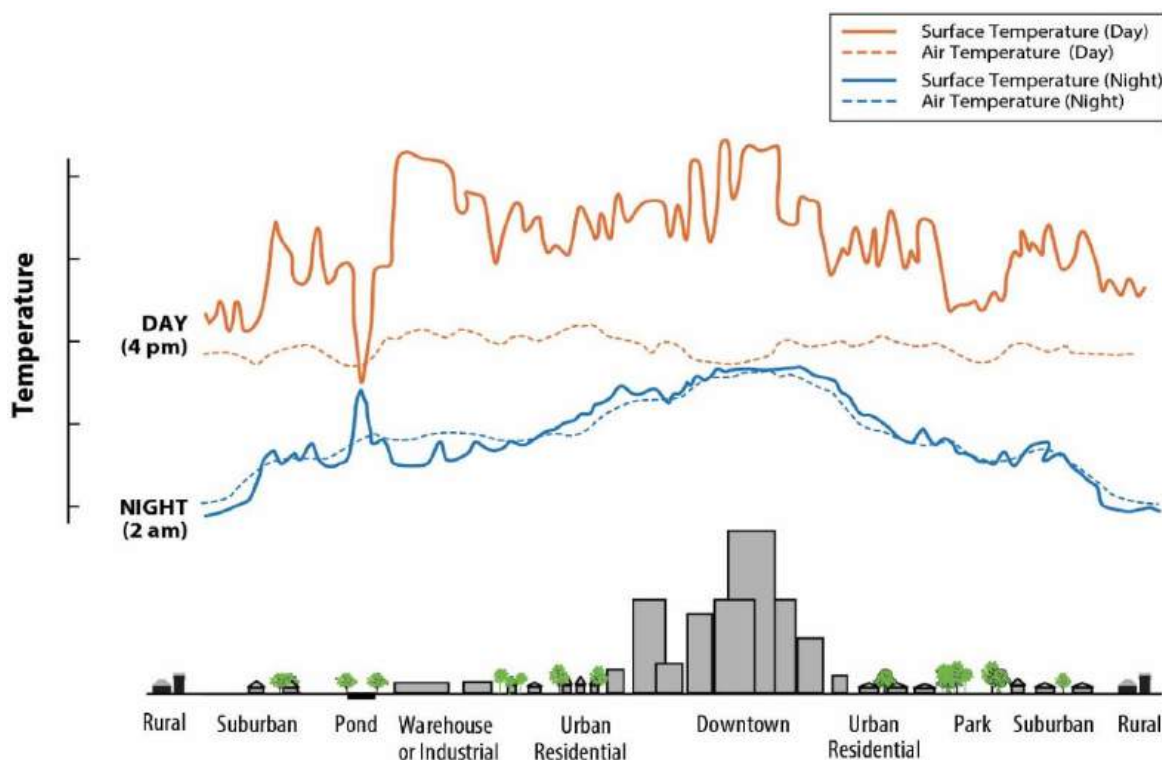


Рис. 1.2 Схематична візуалізація теплового острова [1]

На рисунку 1.2 схематично зображено різницю температур в залежності від місцевості та часу доби. Острів тепла зберігається цілодобово, а інтенсивність його прояву змінюється від сільської місцевості та передмістя до центру міста. В парках, у сільській місцевості та у передмісті нічні температури значно нижчі за температуру повітря у центрі міста через більші площі зайняті зеленню та активну циркуляцію повітря. Тоді як удень можна помітити дещо зворотню картину, коли температура повітря в центрі міста нижча – це спричинено затіненням високими будівлями та уповільненою циркуляцією повітря, внаслідок чого нічне, холодне, повітря утримується місті довше, ніж на відкритій місцевості.

Температура поверхні змінюються більше, ніж температури атмосферного повітря протягом дня, але в цілому вони однакові вночі. Провали та стрибки поверхневих температур над водоймою показують, що вода підтримує майже

постійну температуру вдень і вночі, оскільки вона не поглинає енергію сонця так інтенсивно, як будівлі та асфальтовані поверхні.

МТО приземного шару повітря та поверхонь відрізняються за своїми характеристиками. П-МТО найбільш виражений вдень за сонячної погоди, коли штучні поверхні міста значно нагріваються. Температура поверхонь є дуже динамічною та сильно відрізняється залежно від умов місцевості, наприклад, затінення. Різниця температур поверхонь між містом та заміською місцевістю може досягати 10-15 °С влітку та 5-10 °С взимку. Вночі температура стрімко знижується та зрівнюється до температури повітря. Відповідно пік П-МТО припадає на приблизно 15:00, коли міські поверхні найбільш нагріті [37].

А-МТО менш інтенсивний за П-МТО, середньорічна різниця температури повітря у великому місті та за його межами може становити від 1 до 3 °С [23]. Влітку відповідно це явище є найактивніше і його інтенсивність є вищою. Максимальна різниця температур між містом та навколишньою місцевістю, характерна для А-МТО, спостерігається, як правило, близько опівночі, інтенсивність прояву зростає після заходу сонця. Це пов'язано з тим, що протягом дня тепло, накопичене міськими поверхнями, слабше розсіюється через закритість території будівлями. Внаслідок цього, повітря в місті залишається нагрітим навіть після заходу сонця, тоді як у заміській місцевості цей процес набагато швидший, а температура повітря після заходу сонця швидко опускається.

Незважаючи на різноманітність типів міських теплових островів (МТО) та відмінності у динаміці їх прояву, вони формуються під впливом схожого комплексу чинників. Завдяки численним дослідженням, що ведуться з середини ХХ століття, сьогодні механізми виникнення цього явища вивчені досить ґрунтовно.

Науковці виділяють дві основні групи чинників, що впливають на клімат урбанізованих територій.. Перша охоплює чинники, пов'язані із трансформацією природного середовища: заміна природних поверхонь штучними, зміна теплофізичних характеристик підстилаючої поверхні,

формування міської геометрії (морфологія, висотність, щільність забудови), що впливає на циркуляцію повітря і радіаційний баланс, саме ця група чинників мають найбільший вплив на формування МТО. Друга група стосується чинників пов'язаних із викидами. До неї належать теплове забруднення від транспорту, промисловості, систем опалення й кондиціонування, а також хімічне забруднення атмосферного повітря, що призводить до парникового ефекту. Іншими словами такий вплив називають продуктами «міського метаболізму» [28].

На формування ефекту МТО найбільший вплив має саме перша група чинників, тоді як прямий вплив другої є менший. Природні чинники формують фонові умови формування цього ефекту. До них належать кліматичні умови регіону, рельєф місцевості, наявність водних об'єктів і зелених насаджень [29].

## 1.2 Вплив теплового ефекту на мешканців та інфраструктуру міста

Явище міського теплового острова становить серйозну загрозу для життя та здоров'я міських мешканців. Підвищена температура повітря та зменшення нічного охолодження створюють несприятливі умови, що можуть призводити до погіршення самопочуття, утрудненого дихання, теплових судом, виснаження, теплових ударів та навіть смертельних випадків у періоди екстремальної спеки.

Найбільше від впливу МТО страждають вразливі категорії населення – люди похилого віку, особи з хронічними захворюваннями, безпритульні, а також ті, хто через соціально-економічні причини не має доступу до належних засобів охолодження, зокрема кондиціонерів. У поєднанні з глобальними змінами клімату й частішими хвилями спеки, ефект міського теплового острова лише підсилює навантаження на здоров'я населення та систему охорони здоров'я. [31,34].

Через зростання температури у місті жителі частіше використовують кондиціонери, а підприємства в процесі виробничого процесу яких важливо підтримувати сталу температуру, енергоємні охолоджувальні прилади. Це сприяє підвищенню пікових навантажень на мережу. Дослідження показують,

що навантаження на мережу починають стрімко зростати, коли температура повітря підіймається вище 18 °С, тоді на кожен градус температури споживання електроенергії в місті зростає приблизно на 0,5% - 8,5% в залежності від ряду факторів, пік споживання збільшується на 0,45-12,5%, а середнє збільшення потреби в охолодженні, спричинене МТО, в місті становить в середньому на 12% більше у порівнянні з такою ж потребою у заміській місцевості [32].

Екстремальна спека та перегрів поверхонь впливають на збільшення видатків для обслуговування міської інфраструктури, зокрема через підвищення зношення матеріалів. Через перепади температур швидше зношується дорожнє покриття, дахи будівель, виходить з ладу техніка тощо. Таким чином екстремальна спека змушує частіше проводити ремонт та технічне обслуговування, що збільшує навантаження на міський бюджет. З іншої сторони мешканці міста також змушені частіше проводити ремонт покрівель та стін, а їхня платіжка за електроенергію, через активне використання кондиціонерів зростає.

### 1.3 Кліматичні зміни як чинник посилення ефекту міського теплового острова у Львові

Останні десятиліття характеризуються зростаючим впливом глобальних кліматичних змін, які по-різному проявляються в окремих регіонах світу. Україна не є винятком, а міста, зокрема Львів, відчують ці зміни особливо гостро. Глобальне потепління не є безпосередньою причиною утворення міських теплових островів, однак воно значно підсилює їх прояв, зокрема під час хвиль спеки.

Протягом останніх десятиліть вчені і академічні спільноти вклали значні зусилля у дослідження кліматичних змін, використовуючи різноманітні методи аналізу, моделювання та спостережень. Постійно аналізуються явища глобального потепління, викиди парникових газів, зміни в розподілі опадів, температурні рекорди та інші параметри клімату.

Згідно з Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату (ІРСС), для прогнозування майбутніх кліматичних змін використовують п'ять

соціоекономічних сценаріїв розвитку (SSPs), що враховують різний темп та характер розвитку економіки, зміни демографічних показників та вплив на довкілля. Найоптимістичніший сценарій SSP1-1.9 передбачає глобальну співпрацю, сталий розвиток і зменшення викидів, що обмежить потепління до  $\sim 1,4$  °C. SSP1-2.6 передбачає досягнення вуглецевої нейтральності до 2075 року, з прогнозованим потеплінням  $\sim 1,8$  °C.

У сценарії SSP2-4.5, що описує «серединний шлях» із повільним прогресом, температура може зрости на  $\sim 3,1$  °C. SSP3-7.0 передбачає регіональні конфлікти та слабкий технологічний розвиток, що може призвести до потепління на 3–4 °C. Найпесимістичніший сценарій SSP5-8.5 ґрунтується на активному використанні викопного палива, при якому температура може зрости на 4–5 °C до кінця XXI століття.

При аналізі усіх сценаріїв можна зробити висновки, що потепління неминуче, проте ми можемо зменшити його масштаби. Отже, зважаючи на світові тенденції найімовірнішим сценарієм з усіх є SSP2-4.5, який передбачає зростання температури на кінець століття на 3,1°С.

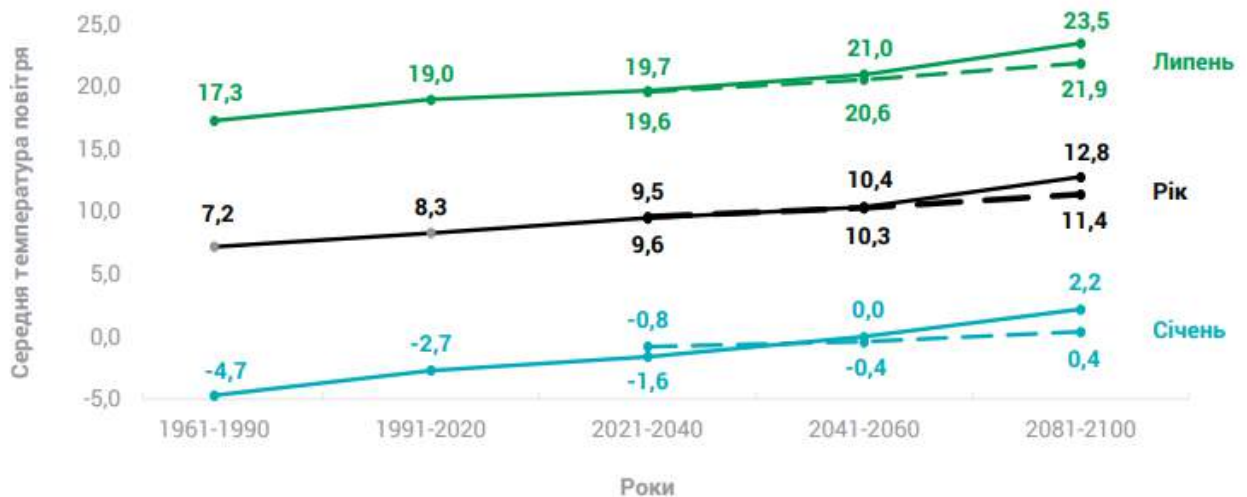


Рис 1.3 Проєкції зміни середньої температури повітря: сценарій SSP2-4.5 (пунктирна лінія) та сценарій SSP3-7.0 (суцільна лінія) [11]

У ближчому майбутньому середньорічна температура, у порівнянні з кліматичним періодом 1991-2020 рр., може зрости на 1,2 – 1,3°С, а у середньостроковій перспективі – на 1,9 – 2,0°С. На кінець століття за SSP2-4.5

середньорічна температура зросте на 3,1°C, а за SSP3-7.0 – на катастрофічні 4,5°C. Це доволі вагомі значення, навіть якщо підвищення температури відбудеться на 2°C і якщо повністю загрозу відвернути не можливо – потрібно її зменшувати та адаптувати наше життя до таких умов включно з місцями проживання.

Кліматичні зміни проявляють глобальний характер та мають відчутний вплив на різноманітні аспекти природного середовища та суспільства по усій Землі. Зокрема найбільші прояви зміни клімату проявляються у місцях, які є найбільш антропогенно трансформованими, одними з них є міста. Окрім прямої трансформації ландшафтів та повної зміни підстильної поверхні для забудови, міста є найбільшою концентрацією населення, яке є основним джерелом забруднення безпосередньо чи опосередковано. Адже люди в процесі своєї життєдіяльності постійно здійснюють вплив на довкілля, продукують відходи, користуються каналізацією часто змиваючи миючі засоби туди, що є прикладом безпосереднього забруднення довкілля, опосередкований вплив полягає в тому що людині для проживання потрібні гроші, а значить і робота, тоді людина іде на роботу, припустімо, на ТЕС тим самим сприяючи роботі електростанції, яка в свою чергу викидає парникові гази, які є головною причиною парникового ефекту та кліматичних змін. Тому міста, як найбільші концентрації населення та інфраструктури, виявляються особливо вразливими до наслідків кліматичних змін.

#### 1.4 Чинники температурної диференціації в умовах міста

##### 1.4.1. Антропогенні чинники формування МТО

Основною причиною формування ефекту міського теплового острова є порушення енергетичного балансу міського середовища внаслідок заміщення природних поверхонь штучними, непроникними матеріалами. Рослинність, особливо дерева, відіграє важливу терморегуляційну роль, створюючи затінення та забезпечуючи охолодження за рахунок випаровування, що сприяє зниженню температури поверхні й повітря. Натомість штучні поверхні – асфальтовані дороги, бетонні споруди, хідники, руберойд на покрівлі – інтенсивно

поглинають сонячне випромінювання й, через низький вміст вологи, практично не охолоджуються шляхом випаровування. Як наслідок, вони повторно випромінюють накопичене тепло в середовище, перетворюючись після заходу сонця на великі випромінювачі тепла спричиняючи локальне зростання температур [17].

Тип матеріалів також впливає на зростання температур. Кожен матеріал характеризується різними фізичними властивостями, зокрема теплоємністю, тепловіддачею, альбедо, такі характеристики визначають в якій мірі матеріал поглинає, випромінює та відбиває сонячну енергію. На альбедо впливає й колір матеріалу, світлі поверхні здатні набагато ефективніше відбивати сонячні промені, ніж темні. У місті поширені поверхні темного кольору, що поглинають більше тепла (асфальт, покриті смолою дахи, тощо), ніж відбивають, що в свою чергу спричиняє зростання температури. важливими характеристиками поверхонь, що впливають на формування міського теплового острова, є теплоємність та здатність до тепловіддачі. Теплоємність – це властивість матеріалу накопичувати тепло: чим вона вища, тим повільніше нагрівається і охолоджується матеріал. Більшість будівельних матеріалів (наприклад, бетон чи асфальт) мають вищу теплоємність, ніж природні покриття за межами міста (грунт, рослинність), тому вони довше зберігають тепло після заходу сонця. Тепловіддача (точніше, випромінювальна здатність, або емісивність) – це здатність матеріалу випромінювати накопичене тепло у вигляді інфрачервоного (довгохвильового) випромінювання. Матеріали з низькою емісивністю гірше охолоджуються, що також сприяє накопиченню тепла в міському середовищі.

Окрім властивостей самих поверхонь, важливу роль у формуванні ефекту міського теплового острова відіграє геометрія міста та його планувальна структура. Архітектурні особливості, такі як висота та форма будівель, ширина вулиць і щільність забудови, істотно впливають на циркуляцію повітря та розподіл тепла у міському середовищі. Вузькі вулиці, оточені високими будівлями стають бар'єром для вітру, що має охолоджуючий ефект та загалом для переміщення повітряних мас. Сонячне випромінювання, яке потрапляє до

таких районів, багаторазово відбивається між поверхнями, поглинається стінами будинків, а нагріте повітря через ускладнену циркуляцію повітря розсіюється дуже повільно, тим самим зберігаючи тепло довго після заходу сонця.

Описані вище причини відносяться до першої групи, пов'язаної з міськими поверхнями та геометрією міста, яка несе найбільший вплив на формування міського клімату. Друга група чинників, що впливають на формування міського теплового острова, пов'язана з тепловими та хімічними викидами внаслідок антропогенної діяльності. До них належать як прямі джерела тепла – автотранспорт, промислові підприємства, системи опалення та кондиціонування – так і забруднення повітря, зокрема аерозолями, оксидами азоту, сірки, метаном та іншими парниковими газами.

Особливо помітний вплив має транспорт, зокрема автомобілі з двигунами внутрішнього згорання, які не лише викидають тепло, а й продукують шкідливі гази, що сприяють утворенню смогу. Подібний ефект спостерігається й у випадку промисловості, де тепло вивільняється в процесі виробництва.

Ще один важливий аспект – хімічне забруднення атмосфери, яке може змінювати радіаційний баланс. Дрібнодисперсні частинки ( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ) та інші аерозолі поглинають і розсіюють сонячне випромінювання. Внаслідок цього зменшується кількість сонячної енергії, яка досягає поверхні землі, водночас температура у приземному шарі повітря зростає. Це особливо помітно в умовах слабкої вентиляції, характерної для щільної міської забудови, де формується локальний парниковий ефект, що додатково знижує здатність повітря до охолодження [21].

Крім того, підвищення температури внаслідок МТО може посилювати хімічні реакції в атмосфері, зокрема фотохімічне утворення озону, що погіршує якість повітря. Таким чином, виникає взаємозалежність між тепловими аномаліями та хімічним забрудненням, що створює додаткові ризики для здоров'я населення [38].

#### 1.4.2. Терморегуляційна функція зеленої зони у міському просторі

Враховуючи, що основною причиною формування ефекту міського теплового острова є заміна природних поверхонь штучними матеріалами, важливою складовою дослідження є аналіз впливу зелених зон на зменшення цього ефекту. Рослинність виконує функцію природного терморегулятора в міському середовищі, пом'якшуючи локальне підвищення температури, покращуючи мікроклімат і сприяючи тепловому комфорту мешканців.

Зелені насадження відіграють важливу роль у зменшенні температурної диференціації між урбанізованими та природними територіями, знижуючи інтенсивність акумуляції тепла в міських районах. Зелена зона міста виступає ключовим елементом соціоекосистеми, що слугує не лише рекреаційній та естетичній функції, а й виконує низку кліматорегулюючих завдань, серед яких – терморегуляція. Згідно з визначенням професора В. Кучерявого, зелена зона міста – це система природних та природно-антропогенних елементів урболандшафтів, яка є своєрідним екологічним каркасом планувальної структури міста та виконує рекреаційну, природоохоронну, санітарно-гігієнічну, естетичну та соціальну функції для створення здорового довкілля, підтримки й збереження біорізноманіття та рекреаційної діяльності населення.

Кліматорегулюючу функцію зеленої зони можна розділити на декілька складових компонентів: терморегулюючу, забезпечення випаровування та затримання вологи, створення тіні.

У сучасних умовах інтенсивного міського розвитку, коли антропогенна діяльність призводить до збільшення температур та перегріву поверхонь, а штучне покриття займає більшу частину площі міста зелена зона стає ефективним інструментом для стримування цього ефекту.

Терморегуляційна функція полягає у особливостях теплового обміну рослин з середовищем, ця здатність полягає у тому, що рослинність ефективно поглинає тепло, проте не випромінює його в такій мірі як у випадку зі штучними поверхнями. Зелені насадження довше нагріваються та швидше охолоджуються, що веде до більш стабільного та близького до природного

температурного режиму у місті на протигагу штучним поверхням, таким як асфальт, які швидко нагріваються і залишаються гарячими навіть після заходу сонця. Це дозволяє зеленим насадженням тривалий час залишатися прохолодними під час спеки і утримувати більш стабільний температурний режим порівняно нагрітими штучними поверхнями. У зв'язку з цим, рослини сприяють зниженню температурного ефекту острівців спеки в міських середовищах, де штучні поверхні, такі як асфальт, нагріваються швидко та утримують тепло, навіть після заходу сонця.

Здатність рослин поглинати вологу під час опадів або танення снігу є ключовим аспектом, що сприяє затриманню води в екосистемі та підтримує її кругообіг у міському середовищі. Під час опадів рослини вбирають вологу через коріння та випаровують через поверхневі структури, такі як листя та стебла цей процес зветься транспірацією. Збереження вологи в екосистемі має важливе значення для підтримки рівноваги водних ресурсів та забезпечення життєдіяльності рослин та інших організмів. Крім того, це зменшує ризик потрапляння води в каналізаційну систему тим самим перевантажуючи її, що часто під час сильних злив призводить до підтоплення вулиць у місті. Також утримання води у природних структурах сприяє випаровуванню тим самим знижуючи температуру повітря.

Одним із ключових механізмів охолодження в міському середовищі є формування тіні від рослин, яка справляє значний вплив на температурний режим як поверхні, так і повітря. Цей ефект базується на фізичних процесах взаємодії сонячної радіації з рослинними структурами, які, на відміну від штучних поверхонь, мають складну неоднорідну будову.

Коли сонячні промені потрапляють на листя, частина енергії поглинається, інша – розсіюється або проходить крізь листову пластинку. Завдяки цьому тінь, утворена рослинністю, не є суцільною чи статичною – вона має змінну інтенсивність, що сприяє формуванню динамічного охолоджувального мікроклімату.

Основні позитивні ефекти тіні від рослин у міських умовах полягають у такому:

- Зменшення інтенсивності сонячної радіації: рослинна тінь блокує або розсіює пряме сонячне опромінення, запобігаючи нагріванню твердих поверхонь (асфальту, бруківки тощо), що в результаті знижує температуру поверхні та приземного шару повітря.
- Підвищення вологості повітря: рослини, затінюючи ґрунт та інші поверхні, сповільнюють випаровування вологи, утримуючи її як у ґрунтовому покриві, так і на листках, що створює більш вологе середовище.
- Стабілізація температурного режиму: тінь зменшує добові амплітуди температур, сприяє зниженню теплового випромінювання і підтримує стабільніші умови як удень, так і вночі.

Загалом, формування тіні внаслідок наявності рослин є одним із найефективніших природних засобів пом'якшення ефекту міського теплового острова, зменшення локального перегріву й забезпечення теплового комфорту для мешканців. У поєднанні з іншими властивостями рослинного покриву, цей фактор значною мірою визначає якість мікроклімату у щільно забудованих міських просторах.

Кліматорегулююча функція зеленої зони тісно переплітається з соціальними та екологічними аспектами міського життя. Забезпечуючи зниження температури та покращення мікроклімату, зелені простори водночас створюють умови для оздоровлення населення. Наявність парків і скверів сприяє покращенню фізичного стану людей – зокрема завдяки фітонцидам, що виділяються певними видами дерев, – та позитивно впливає на ментальне здоров'я: споглядання природи й перебування в прохолодному, затіненому середовищі зменшує рівень стресу, підвищує загальне самопочуття й термальний комфорт. Таким чином, терморегуляційна здатність зеленої зони виконує не лише екологічну, а й виражену соціальну функцію, роблячи міське середовище більш сприятливим для життя.

Зелені насадження також виконують функцію шумопоглинання, знижуючи негативний вплив транспортного шуму. Дослідження, проведене в Сідней, показало, що мешканці районів із більшим покриттям дерев менше страждають від недосипання, що свідчить про комплексний вплив зеленої зони на якість життя [35].

Окрім цього, зелені зони є середовищем проживання для міської фауни – особливо птахів та комах, що перебувають у тісній екологічній взаємодії. Птахи не лише є важливим елементом міського біорізноманіття, а й виконують екосистемні функції, як-от контроль популяцій шкідливих комах. Їх присутність підсилює естетичну привабливість зеленого простору, сприяючи додатковому психологічному комфорту мешканців.

Таким чином, зелена зона відіграє ключову роль у підтриманні екологічної стабільності міського простору, забезпечуючи мікрокліматичну, біотичну та соціальну рівновагу. Її терморегулююча здатність, зокрема зниження пікових температур і запобігання перегріву міських поверхонь, є надзвичайно важливою в умовах сучасного клімату, що характеризується зростанням екстремальної спеки. У цьому контексті зелена зона стає одним із найефективніших інструментів адаптації міст до кліматичних змін.

## РОЗДІЛ 2

### Методика геопросторового аналізу температури підстилаючої поверхні та приземного шару повітря

#### 2.1. Методика створення карти температури підстилаючої поверхні з використанням методів дистанційного зондування Землі

Для визначення островів тепла приземного шару повітря у межах Львівської МТГ було використано супутникові знімки, отримані з порталу геологічної служби США Earth Explorer супутників Landsat 8 та 9 (параметри сенсорів ідентичні), зроблені 21 червня 2024 року о 9 год. 13 хв та 31 липня о 9 год. 13 хв. Через технічні причини (погодні умови, інтервал знімання супутником) вибірка даних сильно обмежена, тому аналіз проведений базуючись на двох знімках. Важливо пам'ятати, що знімання відбувалися в ранковий час, коли поверхні ще не нагрілися до свого денного максимуму, тому температура в обідній час ймовірно була вищою.

Для визначення температури поверхонь було використано четвертий (червоний (RED), 0,64–0,67 мкм), п'ятий (ближній інфрачервоний (NIR), 0,85–0,88 мкм) і десятий (тепловий інфрачервоний сенсор (TIRS) 10,60–11,19 мкм) спектральні канали. Просторова роздільна здатність 4 та 5 каналів – 30 м, а 10 – 100 м. Опрацювання супутникових знімків проходило у 6 етапів [24,36]:

1. перетворення величин, виміряних сенсором супутника, в спектральну радіансу;

$$L = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

*ML і AL - це константи, які використовуються для перетворення виміряних величин у спектральну радіансу,  $Q_{cal}$  – дані космознімка*

2. переведення радіанси в яскравісну температуру Brightness Temperature (BT), яка характеризує інтенсивність випромінювання та вимірюється термальним інфрачервоним сенсором;

$$BT = \frac{K2}{\ln \frac{K1}{L} + 1} - 273.15 \quad (2)$$

$K1$  і  $K2$  - це термальні константи для перетворення значень радіанси на яскравісну температуру.  $L$  – спектральна радіанса

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

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3)$$

$NIR$  – 5 спектральний канал,  $RED$  – 4 спектральний канал

4. на підставі значень NDVI визначення частки рослинного покриву на досліджуваній території ( $Pv$ );

$$Pv = Square \frac{NDVI - NDVimin}{NDVimax - NDVimin} \quad (4)$$

5. визначення емісії поверхні Землі ( $\epsilon$ ) – здатності поверхні випромінювати тепло;

$$\epsilon = 0.004 * Pv + 0.986 \quad (5)$$

6. обчислення температури поверхні землі (LST);

$$LST = \frac{BT}{1 + \frac{w * BT}{p} * Ln(\epsilon)} \quad (6)$$

$BT$  – яскравісна температура,  $w$  – середня довжина хвилі,  $p = h * c / j$  ( $h$  – константа Планка,  $c$  – швидкість світла,  $j$  – константа Больцмана),  $\epsilon$  – емісія поверхні

У результаті проведення таких обчислень було отримано растровий шар зі значеннями температури в градусах Цельсія.

Також для подальшого аналізу, що стосується визначення ступеня кореляції між типом підстилаючої поверхні та її температурою було визначено коефіцієнт забудови – NDBI. Для цього використано ті самі космознімки. Ближній інфрачервоний діапазон (NIR) 0,85–0,88 мкм та короткохвильове інфрачервоне світло (SWIR) 1,566-1,651 мкм, що відповідають 5 та 6 каналу.

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} (7)$$

*NIR – 5 спектральний канал, SWIR – 6 спектральний канал*

## 2.2. Методика проведення польових досліджень

Визначення інтенсивності прояву міського теплового острова полягає у порівнянні температури в межах міста та в заміській території. Метою польових досліджень було проведення вимірювань метеорологічних показників у межах міста для їх порівняння з показниками виміряними на Розтоцькому ландшафтно-геофізичному стаціонарі (РЛГС) Львівського національного університету ім. Івана Франка, що розташований в Брюховичах за межею інтенсивної забудови, та визначення інтенсивності А-МТО та ефективності різних адаптаційних заходів у місті на зниження температури, а також добової динаміки А-МТО.

Знімання в польових умовах велось з використанням портативної метеостанції фірми Kestrel, модель 3500, що сертифікована Національним інститутом стандартизації та технологій («NIST»).

Також під час проведення метеорологічних вимірювань, проводилися вимірювання температури поверхонь для вивчення їхнього впливу на нагрівання повітря, а також визначення які поверхні у місті нагріваються найбільше, такі дані допоможуть знайти рішення, які допоможуть в зниженні ефекту МТО. Вимірювання температури поверхонь проводилися термодетектором Bosch UniversalTemp.

Територія проведення вимірювань була вибрана за декількома критеріями. Перший це висока вразливість території до перегріву та очікувана висока інтенсивність прояву ефекту МТО. Другий - велика популярність місця серед населення та відповідно висока людність, такий фактор обрано для визначення ефекту МТО у місцях, де цей ефект впливає на найбільшу кількість людей. В результаті територією дослідження було визначено центральну частину міста Львів, де крайніми точками був просп. Свободи та сквер На валах.

Після визначення ареалу дослідження наступним етапом була вибірка точок вимірювання в його межах. Вони були розділені на 3 умовні категорії. Перша категорія це «холодна» точка, що відповідає території з інтенсивним озелененням (парк, сквер, ліс, тощо) в цьому дослідженні така точка спостереження була в парку На валах. Іншою категорією є місце, де вжиті рішення з адаптації чи пом'якшення («помірна» точка), яке ймовірно має вплив на зниження температури така точка спостереження була визначена поруч з фонтаном перед Львівським національним академічним театром опери та балету, приблизно на відстані 10 м, це дозволить дослідити вплив фонтану на зниження температури. Останньою категорією є «гаряча» точка, де не вжито заходів для зниження температури, а рослинність бідна, або зовсім відсутня. До такої категорії відносяться точки спостереження на Площі Ринок та на площі перед пам'ятником Тарасові Шевченку. Така методика розподілу точок вимірювання дозволяє отримати максимальну кількість необхідних даних для проведення комплексного дослідження. Окрім, визначення інтенсивності явища А-МТО завдяки такому розподілу точок вимірювання можна визначити ефективність впровадження адаптаційного заходу та вплив рослинності в межах високо урбанізованої території на зниження температури повітря

Польовий етап дослідження проведено 15 серпня 2024 року. За даними Розтоцького ЛГС день характеризується ясною погодою з середньодобовою температурою – 20,6 °С. Переважно штилем, або середньою швидкістю вітру до 1 м/с з пн-сх напрямком . Хмарність 15 серпня була нульовою, окрім 12:00,

21:00 та 24:00, коли вона була 2 бальна та представлена перистими хмарами (Cirrus). Опадів та інших атмосферний явищ в цей день не було.

Для дослідження добової динаміки ефекту А-МТО вимірювання проводилися кожні три години починаючи з 9:00 до 21:00 на висоті 2 м від поверхні. Через комендантську годину, що триває у Львові з 00:00 до 05:00, проведення вимірювань у цей період неможливе. Попри це отримані в результаті дослідження дані дозволяють визначити основні тренди. А проведення вимірювань 15 серпня, коли захід сонця відбувається о 20:44 дозволяє побачити й імовірний пік інтенсивності цього ефекту, який приходить після заходу сонця.

## РОЗДІЛ 3

### Вплив структури міського середовища на мікроклімат Львова та громади

#### 3.1 Просторово-морфологічна структура Львова та громади

Морфологічна структура території є одним із ключових чинників, що впливають на формування міського теплового острова. Щоб оцінити вразливість окремих ділянок до проявів цього ефекту, можна проаналізувати структуру земного покриву. Для такого аналізу використано фондові матеріали Львівської міської ради, які відображають розподіл земель Львівської МТГ за функціональним призначенням [6].



Рис. 3.1 Структура земель Львівської МТГ за функціональним призначенням. Складена автором за даними [6]

За функціональним використанням у громаді переважають сільськогосподарські землі, що займають 34%, менше займають землі лісогосподарського призначення – 22,7%. Найменшу частку в загальній структурі займають землі технічної інфраструктури та фодного фонду – 1% та 1,3% відповідно [6].

За видом функціонального призначення території можна отримати приблизний розподіл земель за типом підстилаючої поверхні. Так, загалом 30,3% земель громади покриті штучними поверхнями, категорія «землі іншого

призначення» не була врахована при обчисленні. Виходячи з цього можна сказати, що приблизно 1/3 території Львівської МТГ в різній степені вразлива до прояву ефекту МТО.



Рис. 3.2 Структура земель Львівської МТГ за типом підстилаючої поверхні

Частка забудованих територій значно варіює в межах Львівської МТГ: найвищі показники спостерігаються в центральних районах Львова, тоді як у периферійних районах та сільських населених пунктах частка забудови є значно нижчою.

Таблиця 3.1

Частка забудованих земель у Львівській МТГ за населеними пунктами та районами м. Львова. Складена автором за даними [6].

**Назва населеного пункту або району**    **Частка забудованих земель, %**

**Львова**

Галицький район	80
Залізничний район	75
Франківський район	75
Личаківський район	55
Шевченківський район	53
Сихівський район	-

Брюховичі	62
Винники	62
Лисиничі	9
Гряда	3

Високий рівень щільності забудови, окрім очевидного переважання штучних поверхонь схильних до нагрівання несе також ризик ускладнення циркуляції повітря, що сприяє утриманню нагрітого повітря всередині району, поміж будівель.

Очевидно, що найбільш вразливою до локального перегріву територією у громаді є місто Львів. Окрім значної площі, яку займає місто з переважанням штучних поверхонь, існує низка додаткових чинників, що сприяють формуванню ефекту міського теплового острова. Геометрія міської забудови в поєднанні з особливостями рельєфу створює сприятливі умови для накопичення тепла у Львові. Центральна частина міст, яка традиційно розглядається як найбільш вразлива до розвитку ефекту МТО, у випадку Львова розташована у пониженні – у долині річки Полтви, тоді як інші райони розміщені на підвищеннях. Це, разом з наявністю багатоповерхової забудови навколо, створює своєрідний бар'єр для руху повітряних мас. Така конфігурація посилює застій повітря в центральній частині та уповільнює процес розсіювання нагрітого повітря через ускладнення руху повітряних мас, що спричиняє його триваліше утримання над містом.

Історичний розвиток Львова як європейського середньовічного міста зумовив відповідне для того часу планування – з вузькими вулицями та щільною забудовою. Така конфігурація створює так звані міських каньйони, які обмежують вентиляцію та сприяють затримуванню нагрітого повітря. Вузькі вулиці, обмежені високими фасадами будинків, зменшують циркуляцію повітря та посилюють акумуляцію тепла, що ще більше ускладнює температурне саморегулювання центральної частини міста. Проте водночас завдяки такому історичному минулому міста було сформоване перше зелене кільце на місцях

колишніх міських мурів. Також важливою особливістю Львова в контексті формування міського клімату має Регіональний ландшафтний парк «Знесіння», що розташований фактично у центрі міста, та простягається аж до його межі. Ця територія, вкрита густою рослинністю, має велике значення у охолодженні температури повітря в місті. Детальне дослідження щодо терморегуляційного значення РЛП «Знесіння» було проведено нами у 2023 році [5]. В ході дослідження було проведено температурний профіль довжиною 4,6 км, що починається на вулиці Броварній, далі по вулиці Маєра Балабана та до Високого Замку – оглядовий майданчик – РЛП «Знесіння» Гора Лева – Гора Хоμεць - закінчується лінія профілю на перехресті вулиць Кривчицька дорога та Богданівської.

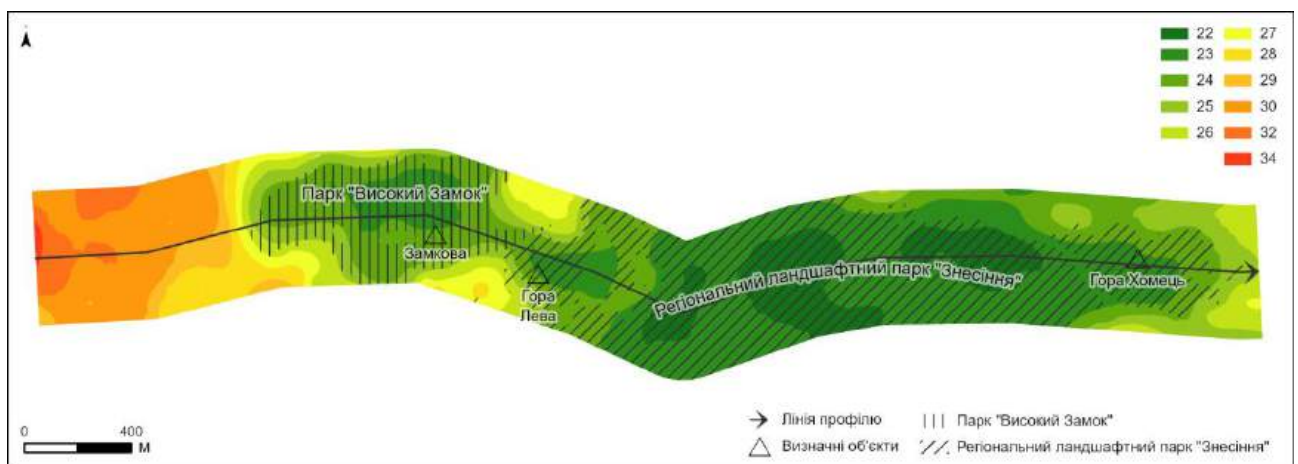


Рис. 3.3 Зміна температур підстилаючої поверхні у забудованій та зеленій зоні у м. Львові [5]

На даному профілі помітна сильна просторова диференціація температур. Найвища температура поверхні зафіксована на початку профілю, що відповідає даху Львівської пивоварні і становить  $32,8^{\circ}\text{C}$ . Коли штучні поверхні забудованих територій змінюються на рослинність температура різко знижується. Середня температура поверхні в межах парку «Високий Замок» становить  $23,4^{\circ}\text{C}$ , мінімальна –  $22,8^{\circ}\text{C}$ , максимальна –  $24,4^{\circ}\text{C}$ . На території Знесіння середня температура поверхні становить  $22,5^{\circ}\text{C}$ , мінімальна –  $22,8^{\circ}\text{C}$ , максимальна  $25^{\circ}\text{C}$ . На кінцевому відрізку, коли профіль входить знову на

територію забудови, попри те, що вона садибного типу температура знову зростає [5].

### 3.2 Структура зеленої зони у Львові та громаді

Одним із ключових чинників пом'якшення мікрокліматичних умов у межах урбанізованого простору є система зелених насаджень. Основу системи складають парки й сквери, які, згідно з визначенням проф. В. Кучерявого, представляють собою земельні ділянки з природною або спеціально висадженою рослинністю, з мережею алей, доріжок, водойм, і призначені для прогулянок, відпочинку та дозвілля [8].

Важливу роль у формуванні єдиної зеленої інфраструктури міста відіграють сполучні елементи – так звані «зелені коридори», що об'єднують основні озеленені території в єдину систему природного каркасу. Типовими прикладами таких зв'язків є озеленені вулиці з деревами, які створюють тінь та сприяють зниженню температури в спекотний період. Вони виконують як кліматорегулюючу, так і соціальну функцію, покращуючи комфорт пересування мешканців містом, а також створюють умови для переміщення міської фауни.

У сукупності всі ці елементи формують функціональну та просторову основу зеленого каркасу Львова й громади, відіграючи критичну роль у зменшенні інтенсивності проявів ефекту міського теплового острова, зниженні температури повітря, поліпшенні якості довкілля та життєвого комфорту мешканців

Згідно з формою 6-зем, в межах Львівської МТГ площа зелених насаджень становить 7111,7 га або 22,8% від загальної площі територіальної громади (на одного мешканця припадає близько 100 м<sup>2</sup> лісових земель). Площа зелених насаджень загального користування Львівської міської територіальної громади становить 2375,8 га. Із врахуванням площі зелених насаджень загального користування, яка також включає об'єкти ПЗФ загально-державного і місцевого значення, на одного мешканця громади припадає 33,1 м<sup>2</sup> зелених насаджень. За нормативами ДБН Б.2.2-12:2018, у містах, чисельність населення

яких перевищує 500 тис. осіб, цей показник повинен бути не менше 10 м<sup>2</sup>/особу) [6].

На території міста розташовані три об'єкти природно-заповідного фонду загальнодержавного значення загальною площею 93,2 га (ботанічні сади Національного лісотехнічного університету і Львівського національного університету імені Івана Франка, парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва “Стрийський парк”) та 13 об'єктів природно-заповідного фонду місцевого значення загальною площею 602,7 га, до складу яких увійшли регіональний ландшафтний парк “Знесіння” (312 га), ботанічний сад Львівського медичного університету (1,5 га), лісопарк “Погулянка” (100,3 га) та “Білогорща” (188,8 га), дві геологічні пам'ятки природи – “Медова печера” (1,2 га) і “Кортумова гора” (21,4 га), вісім парків-пам'яток садово-паркового мистецтва (166,3 га) [15].

Загальна площа зеленої зони Львова становить 4419 га, або 29,6% площі міста. Найбільшу площу зелених насаджень у місті Львові станом на 2022 рік займають міські, районні парки та сади житлових районів при житлових будівлях – 2411,76 га найбільшим з них є Регіональний ландшафтний парк «Знесіння» розташований у центральній частині міста. Який є унікальною територією в місті, адже розташування парку в центральній частині міста лише підсилює його значення у кліматорегуляції та переліку екосистемних послуг, які надає парк. Завдяки великому різноманіттю геосистем та значній площі парк виконує численні екосистемні послуги, зокрема на території парку поширені як лісові так і лучно-степові ділянки, особливу цінність мають урочища Гора Лева, Гора Хоμεць. Серед екосистемних послуг, які надає парк вагоме значення має кліматорегулююча в тому числі регулювання температури приземного повітря. Сквери у місті займають 58,99 га. Гідропарки, лугопарки, лісопарки - 291,2 га.

Паркові зони у місті займають площу 1062,7 га, відповідно до цих даних можна розрахувати забезпеченість населення парками за формулою  $P = S/N$ , де  $S$  – площа паркової зони, а  $N$  – кількість населення міста. Отже, за результатами обчислень на одного мешканця Львова припадає 14,82 м<sup>2</sup> паркової зони. А забезпеченість зеленою зоною загалом становить 61,6 м<sup>2</sup>. За рекомендаціями

Всесвітньої організації охорони здоров'я мінімальним значенням площі зеленої зони у перерахунку на кожного мешканця є 50 м<sup>2</sup> [16].

Зелена зона Львова має радіально-кільцеву структуру і складається з 3 зелених кілець. Перше зелене кільце сформоване на місці колишніх міських мурів. Воно представлене з заходу озелененням проспекту Свободи на півдні скверами на площах Міцкевича, Галицькій та Соборній, зі сходу – парком-пам'яткою садово-паркового мистецтва На Валах, з півночі сквер на площі Д. Галицького.

До складу другого зеленого кільця входять: лісопарки – Погулянка та Замарстинівський, парки – Горіховий гай, Кульпарківський, Левандівський, Скнилівський, Старої стрільниці, Студентів, Цитадель; Регіональний ландшафтний парк «Знесіння» парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва – Високий замок, Горіховий гай, Залізна вода, Личаківський, Пагорб Слави, Парк культури і відпочинку ім.Б.Хмельницького, Снопківський, Стрийський; ландшафтно-паркові кладовища – Личаківське та Янівське; гідропарк «Піскові озера»; сквери на схилах Кортумової гори та в районі вулиці Городоцької, а також Ботанічні сади Львівського національного університету ім. Івана Франка, Національного лісотехнічного університету України та Львівського медичного університету.

Третє зелене кільце представлене приміськими лісами. Це Брюховицький, Винниківський і Басівський лісопарки, а також гідропарк «Глинна-Наварія» та лісопарки «Білогорща» і Гамаліївський. [9]. Окрім, масивів, що отримали статус лісопарків фактично зелену зону громади складають і природні ліси, що протягаються Розточчям. Також важливими у терморегуляції є території, що належать до водно-болотних угідь та прибережні зони, адже це як правило перезволожені ділянки землі, які сприяють активному випаровуванню, а значить зниженню температури повітря та поверхні.

Зелена зона в інших населених пунктах громади менш структурно організована через різний етап розвитку таких поселень. Більша частина населених пунктів громади відноситься до сільських поселень, де зелена зона

рідко представлена організованими об'єктами (парки, сквери, тощо), а складається переважно з природних територій за межами поселення та присадибних ділянок, подвір'їв, тому підрахувати фактичну площу території вкрито природними поверхнями складно. Проте, в Дублянах існує дендропарк, парк Малиняк, а також планується заповідання цінних водно-болотних угідь на околицях, що мають особливу цінність для терморегулювання, окрім як для біорізноманіття. У Брюховичах також функціонує парк 7-ї міської комунальної лікарні м. Львова, парк Богдана Хмельницького та Брюховицький лісопарк, також у північно-західному напрямку простягається Розточчя, вкрите природними лісами.

Специфічне географічне положення Львова забезпечує високу видову різноманітність флори через різноманітність рельєфу, сприятливий клімат та інші фактори. Регіон розміщений на стику Центральноєвропейської та Східноєвропейської флористичних провінцій. Флора регіону насичена великою кількістю видів, які ростуть на межі суцільного поширення. Таких видів налічується більше 100. Окрім цього, флора насичена реліктовими видами та ендемами.

Місто розташоване на стику чотирьох геоботанічних округів. Розтоцький округ букових, буково-соснових, дубово-соснових, ялицевих і дубових лісів простягається від Львова в північно-західному напрямку. Унікальним в цьому біоценозі є поєднання сосни і буку. Опільсько-Кременецький округ букових, грабово-дубових лісів, справжніх та остепних лук і лучних степів займає підвищене пасмо, яке простягається від Львова у північно-східному напрямку. Малополіський округ є місцезростанням соснових, дубово-соснових, грабово-дубових лісів, лук та поширені евтрофні болота, а в пониженнях мезотрофні болота. Сандомирсько-Верхньодністровський округ ацидофільних дубових, дубово-соснових лісів, лук та евтрофних боліт охоплює долину верхньої частини Дністра та Сяну [9].

Типова рослинність Розточчя, яка складається з бучини, соснових борів та боліт фрагментарно збереглась в межах третього зеленого кільця Львова, а саме Брюховецького лісу та масиві, що протягається далі по Розточчю.

Болота й торфовища, водно-болотні рослинні угруповання збереглися на Білогорща, в долині річки Полтва, що простягається у північному напрямку, околиці Дублян також заболочені, для збереження боліт у білогорща у 2019 році було створено ландшафтний заказник місцевого значення Торфовища Білогорща.

Природна рослинність Львівського плато внаслідок освоєння території та розбудови міста була сильно змінена. Лише на 9% території збереглась природна лісова рослинність – букові та дубово-грабові ліси. Більша частина рослинності яка зустрічається у зеленій зоні на цій території – сильно деградована чи є представниками вторинних насаджень. Як-от в Стрийському парку, парку ім. Богдана Хмельницького, Снопківському парку.

На схилах Давидівського пасма раніше були поширені букові, дубово-букові, дубово-грабові та буково-грабові ліси. Ліси такого деревостану збереглися на території РЛП «Знесіння», проте є сильно деградованими. На інших територіях поширені штучні насадження представлені кленом, явором, липою, грабом, кінським каштаном, червоним дубом, модриною сибірською та сосною звичайною [9].

Лучно-степові угруповання найкраще збереглися в РЛП «Знесіння», а саме на Горі Лева та Горі Хомець.

У Білогоро-Мальчицькій улоговині збережені унікальні лучно-болотні й торф'яні угруповання. Найбільші площі низинних лук зосереджені на заплавах річок, у западинах та котловинах.

Окрім, природних рослинних угруповань, які залишилися на території міста важливе кліматорегулююче значення має вторина та синантропна рослинність, яка займає вільні від забудови, але попередньо трансформовані чи забруднені ділянки. Такими територіями є ділянки покинутих підприємств чи недобудованих об'єктів, захарашені території в житловій чи промисловій зоні,

території з обмеженим забезпеченням необхідного обсягу речовин, які забезпечують ріст, в тому числі території з обмеженим потраплянням сонячних променів. Синантропні рослини відіграють важливу роль в складі урбоєкосистеми через те, що вони є середовищем існування міської ентомо- та зоофауни та, займаючи вільні території з відкритим ґрунтом чи антропогенними поверхнями, обмежують формування островів тепла на цих територіях [7].

В умовах міста різноманітність природної та синантропної рослинності сприяє зростанню охолоджуючого ефекту рослинності через її багатоярусність та розвитку міської фауни, що збільшує стійкість урбоєкосистем.

Значну роль у забезпеченні терморегуляційного ефекту зелених насаджень відіграє їхній екологічний стан. Здорова, неуражена хворобами рослинність, з густим листям та зімкнутою кроною (особливо у випадку дерев), значно ефективніше забезпечує охолодження навколишнього середовища через тіньютворення, випаровування вологи та поглинання сонячної радіації. Навпаки, ослаблена або пошкоджена рослинність із низьким рівнем біомаси й відкритими кронами має значно нижчу охолоджуючу здатність і є вразливішою до сонячних опіків, що лише посилює перегрів поверхні.

Крім того, у функціонуванні зеленої інфраструктури спостерігається ефект масштабу: чим більшою є зосереджена площа зеленої зони, тим вищою є її ефективність у регуляції мікроклімату. Великі за площею ділянки зі зімкнутою рослинністю здатні формувати власні мікрокліматичні умови, які суттєво пом'якшують негативні наслідки урбанізації, сприяють зниженню температури повітря, підвищують вологість і зменшують ризики локального перегріву. У цьому контексті збереження, розвиток і оздоровлення зелених насаджень громади є важливою умовою адаптації міського середовища до змін клімату та забезпечення комфортного життя мешканців.

### 3.3 Додаткові чинники посилення ефекту міського теплового острова

У контексті сучасних кліматичних змін спостерігається посилення екстремальних погодних явищ, зокрема тривалих періодів спеки, що особливо відчутно в урбанізованих територіях. Такі зміни клімату не лише поглиблюють проблему перегріву, але й посилюють ефект міського теплового острова, який проявляється інтенсивніше на тлі загального підвищення середньорічних температур.

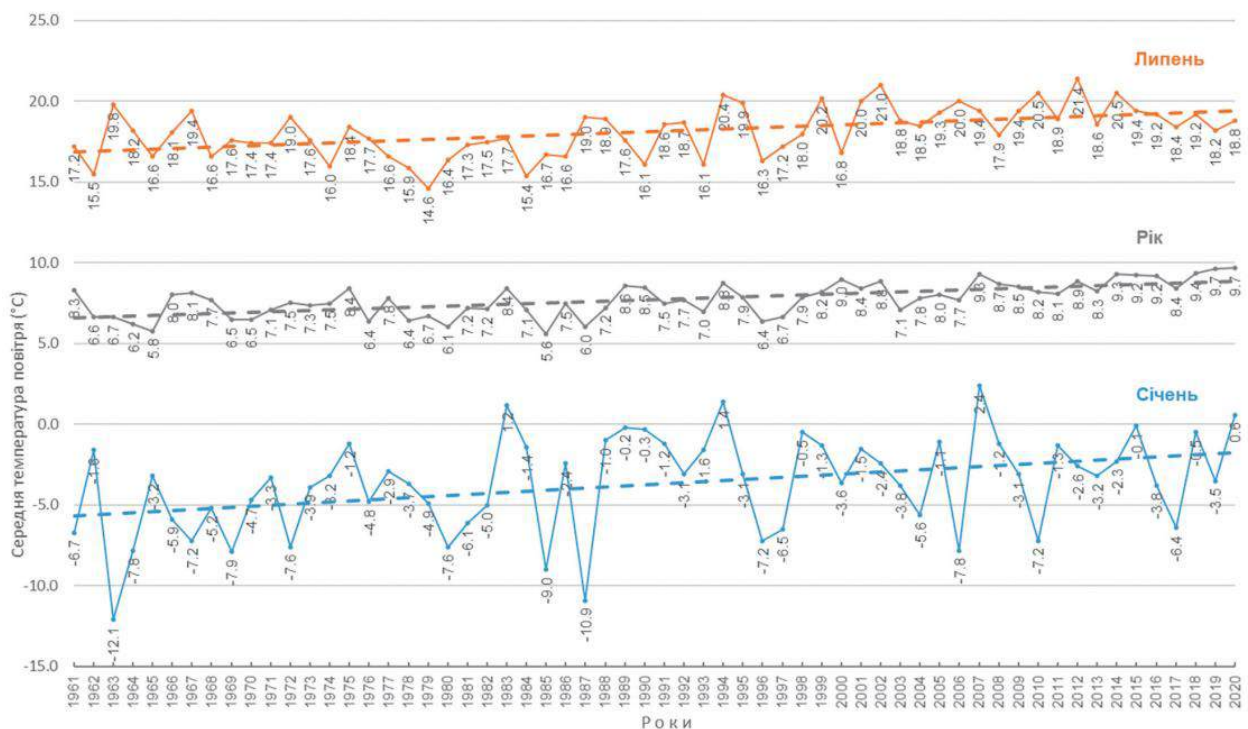


Рис. 3.1. Зміна середньорічної температури та середньомісячної температури січня і липня протягом 1961–2020 рр. за даними метеостанції Львів-Аеропорт.

Штрихом відображені лінійні тренди [11]

Дані за 60-річний період (1961–2020 рр) відображають чіткий тренд підвищення як середньорічної температури, так і середньомісячних значень (Рисунок 1.4). У порівнянні з минулим кліматичним періодом (1961-1990 рр.), середньорічна температура 1991-2020 рр. зросла на 1,1°C. Потеплили всі місяці року: найбільше січень – на 2,0°C, а найменше – жовтень – на 0,4°C; значно теплішими стали липень і серпень – на 1,7°C. За 2003–2013 рр. середньорічна температура повітря зросла на 1,1°C (порівняно з кліматичною нормою), зростання відбулося переважно за рахунок значного потепління в літній та

зимовий періоди (весняний та осінній сезони потеплішали значно менше). Суттєво зросла середня кількість днів з температурою повітря  $+30^{\circ}\text{C}$  і вище – і за період 2003–2013 рр. становить 7,6 дня (у 1961–1990 рр. – 2,7 дня). За останні десятиліття на Львівщині зросла не лише температура повітря, але й у декілька раз підвищилась повторюваність та інтенсивність хвиль тепла. Хвиля тепла – це метеорологічний феномен, що належить до явищ синоптичного масштабу та проявляється у вигляді аномально спекотної, сухої погоди, що зберігається протягом певного періоду і охоплює значні території. Погодні умови, що спостерігаються під час хвиль тепла, можуть стати причиною величезної кількості людських жертв [14,15]. За даними досліджень протягом 1991-2020рр. кількість повторюваності випадків цієї метеорологічної аномалії збільшилась майже у 5 разів, порівняно з попереднім тридцятиріччям (5 випадків упродовж 1961- 1990 та 24 – у 1991-2020 рр.) [11].

Зміни температурного режиму призвели до зміни тривалості вегетаційного періоду – в 2003–2013 рр. порівняно з 1961–1990 рр. середня дата весняного переходу через  $+5^{\circ}\text{C}$  спостерігалась раніше на 7 днів (змістилася з 2 квітня до 26 березня), а осіннього переходу через  $+5^{\circ}\text{C}$  – на 7 днів пізніше (з 7 листопада змістилася на 14 листопада), тобто загальна тривалість вегетаційного періоду збільшилась на 14 днів (з 219 до 233).

Кліматичні зміни проявляються не лише підвищенням температури, а й зміни інших кліматичних показників, протягом останнього тридцятиріччя метеорологи у Львові фіксують деяке збільшення середньої річної кількості опадів, порівняно з періодом 1961-1990 рр. Проте, сильніші зміни фіксуються щодо розподілу опадів, наприклад, середньомісячна сума опадів у лютому варіюється від 20 мм (2008 р.) до 83 мм (2004 р.), в липні від 26 мм (2003 р.) до 168–170 мм (2006, 2004 рр.). Жовтень 2021 року був одним із найбільш посушливих за останні 20 років в Україні. На Львівщині зокрема випало лише 7,1 мм опадів (кліматична норма 1991-2020рр. – 56 мм), це майже у 8 разів менше.

Дослідження українських вчених свідчать, за останні 20 років повторюваність посух в Україні збільшилася майже вдвічі [2]. Такі зміни розподілу опадів несуть за собою загрозу підтоплення території, Львів у цьому плані дуже вразливий. Також підтопленню сприяє географічне положення міста, так як центральна частина міста розташована в улоговині. А міський острів тепла має велике значення у формуванні мікроклімату міста адже підвищення температури в міста відносно прилеглих, заміських територій сприяє зростанню конвекції та збільшення хмарності над містом. Тож часто можна помітити явище, як у самому місті падає дощ, а на території сусідніх сіл ні. За даними науковців температура і надалі буде підвищуватися, а опади все частіше матимуть зливовий характер. Відповідно до даних «Львівводоканал» у м. Львові за період з 2010 по 2021 рр. щороку відбувалося від 1 до 3-х випадків сильних підтоплень будівель через злизові опади та інші явища. Основними причинами підтоплень територій є зростання частоти зливових опадів, щільна забудова, велика кількість штучних поверхонь, мала кількість зелених насаджень та об'єктів зеленої інфраструктури загалом, все це підсилюється незадовільним станом каналізаційної системи та цим фактом, що дощові стоки в ній не відділені від побутових, фізико-географічними особливостями розташування міста і окремих ділянок. Найбільш проблемними ділянками за даними «Львівводоканал» є: перехрестя вул. Д. Вітовського – вул. Академіка А. Сахарова, пл. Привокзальна – вул. Городоцька, пр. В. Чорновола – вул. Торф'яна [11].

В зимовий час через зміну клімату погода стала надзвичайно мінлива, за один день температура може змінитися на декілька градусів, що змінює характер опадів в цей час. Жителям містам знайоме явище коли взимку дощ за короткий час перетворюється в сніг чи навпаки, внаслідок чого підвищується небезпека на дорогах через формування ожеледиці.

Зміна клімату та якість повітря це тісно пов'язані речі. Якість повітря часто залежить від погодних умов, на які суттєво впливає зміна клімату. У Львові у місяці з малою кількістю опадів та високою температурою фіксуються

вищі показники концентрації забруднюючих речовин в повітрі. Такий вплив легко можна пояснити, мала швидкість вітру, високі температури та мала кількість опадів і вологість повітря сприяють затриманню шару забрудненого повітря у приземній частині атмосфери. Велике забруднення катастрофічно впливає на здоров'я мешканців, тривалий вплив забруднення повітря знижує тривалість життя людей. Значно збільшуються ризики виникненню раку, загострення хронічних серцево-судинних захворювань, підвищення рівня захворюваності на респіраторні захворювання, астми, тромбозу та алергічних реакцій [20].

В усіх цих явищах є декілька спільних сторін всі вони пов'язані з кліматичними змінами та мають тенденцію до зростання інтенсивності та кількості проявів, а також до них неможливо адаптувати організм, проте можливо і важливо адаптувати міську інфраструктуру, щоб зменшити вплив на живі організми.

## РОЗДІЛ 4

### Геопросторовий аналіз міського теплового острова міста Львова та громади

#### 4.1. Аналіз міського теплового острова підстилаючої поверхні та зв'язок з типом поверхонь

На отриманих картах (Додаток А, Б) помітна значна різниця між температурою поверхні в населених пунктах та за їхніми межами. Особливо виділяється місто Львів та, зокрема території індустріальних об'єктів, парковки та торговельні центри. Максимальна температура поверхні 21 червня була 42,1°C, мінімальна – 18,8°C, середня – 23,9°C. Тоді як 31 липня максимальна температура - 44,5°C, мінімальна – 15°C, а середня – 25,6°C.

Для визначення меж та інтенсивності міських теплових островів на основі вже наявних даних про температуру поверхонь було створено карти міського теплового острова для обох днів. Міський тепловий острів визначений за формулою  $LST > \mu + 0,5 * \delta$ , де  $\mu$  середнє значення, а  $\delta$  стандартне відхилення [22].

Після просторового визначення меж П-МТО за статистичним методом було створено тематичні карти, які відображають геопросторову структуру явища. Для виділення територій, що належать до МТО, використовувався червоний градієнтний колір, а для територій, що не належать до МТО - зелений градієнт (Додаток Г,Д).

Загалом отримані результати у різні дні подібні між собою. За винятком наявності на карті за 31.07.2024 декількох сільськогосподарських полів на півночі, біля с. Зашків та с. Зарудці, а також на сході неподалік с. Підбірці виділених як теплові острови, через здатність ґрунту не покритого дерниною до сильного нагрівання.

В центрі карти Львів, який формує майже однорідний острів тепла з різною інтенсивністю. Попри це, П-МТО сформований не лише у найбільшому місті громади, а й у невеликих містах, як от Дубляни, де температура поверхонь сягає 30°C 21 червня та 32°C 31 липня.

На обох картах спостерігаються ділянки з аномально високими температурами навіть у межах П-МТО. Такі території, що зазвичай зазнають найінтенсивнішого нагрівання, визначають як міські вогнища тепла. На карті вони позначені оранжевими трикутниками з відповідною нумерацією.

В результаті аналізу в Львівській МТГ було виділено 9 найбільш інтенсивних вогнищ тепла. До них належить: Площа Ринок, ділянка між вул. Клепарівською та просп. Чорновала, Головний та Приміський вокзали включно з навколишньою територією, територія колишнього Львівського автобусного заводу, промислова зона «Рясне-2», ареал навколо фабрики Світанок, ТРЦ Вікторія Гарденс, складські приміщення наприкінці вул. Городоцька та унікальний об'єкт – Грибовицьке сміттєзвалище.

Причиною значного перегріву Площі Ринок є те, що це доволі велика відкрита територія, яка повністю покрита бруківкою, з малою площею рослинності та, зокрема дерев. Температури поверхонь тут за даними карти сягають 32 °С, тоді як в парку Високий замок температура поверхні о 9 год ранку 21.06 була 21,6 °С, а 31.07 – 22,7 °С, що говорить про значний вплив зелених насаджень у зниженні температури поверхні.

Великим ареалом вогнища тепла є територія між вул. Клепарівською та просп. Чорновола через високу концентрацію забудови та повну відсутність зелені на деяких вулицях, або надзвичайно малу її концентрацію. Найбільше нагріта плоска поверхня темного кольору даху Львівської пивоварні, яка нагріта до 36,6°С та 37°С 21.06 та 31.07 відповідно. В цей час на Горі Страт, що розташована на відстані 300 м температура поверхні 25 °С та 25,8 °С 21.06 та 31.07 відповідно.

Іншим великим об'єктом, що сильно нагрівається в межах цієї території є ТЦ Форум Львів. Як і Львівська пивоварня, Форум Львів займає велику територію, що робить його подібним до даху Львівської пивоварні, але зі супутникових знімків видно, що поверхня має світліший колір. Температура даху в досліджувані дні становила 34,5 °С та 34,7 °С, порівнюючи цю температуру з температурою даху Львівської пивоварні можна зробити

висновки, що здатність світлого кольору активніше відбивати сонячні промені, така поверхня здатна зменшувати інтенсивність нагрівання.

Ще одним вогнищем тепла є територія Головного та Приміського вокзалів разом з околицями включно з Львівським локомотиворемонтним заводом температура тут в обидва дні коливається в межах  $31\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  з найвищою температурою на даху Львівського локомотиворемонтного заводу. Причини високої температури тут ті самі, хоча після реконструкції Головного залізничного вокзалу тут побільшало зелених насаджень – площа їхніх крон поки ще мала, щоб охолодити таку територію. Проте, відкритість території сприяє покращенню циркуляції повітря, що в свою чергу знижує ефект МТО.

Львівський автобусний завод (ЛАЗ) це найбільш помітне вогнище тепла в південній частині міста. Територія заводу складається з великих приміщень/цехів, дах яких ймовірно виконаний з руберойду. Це призводить до сильного нагрівання поверхні, 21.06 покрівля була нагріта до  $38,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а 31.07 аж до  $38,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Промислова зона «Рясне-2», де розташовані, ПАТ «Львівський завод автотранспорту» ПАТ Концерн Електрон, ВАТ «Завод «Львівсільмаш», склади компанії «Стелла Фудз» також формує єдиний осередок тепла. Ці підприємства займають велику площу, а характер покрівлі схожий до будівлі «ЛАЗ». Температура покрівель 21.06 коливалася від  $36,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 31.07 від  $36,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $38,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Порівнюючи ці результати з температурою даху підприємства Брама, а це  $28,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  та  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , який характеризується світлим кольором та ймовірно має ангарний тип покрівлі, можна зробити висновки, що така покрівля сприяє значному зниженню температури поверхні, проте взимку вона має нижчу здатність до утримання тепла в приміщенні.

Ареал околиць фабрики Світанок не визначається значним точковим перегрівом, проте утворює цілісний ареал підвищених температур. Цей район місцевості Підзамче визначається концентрацією індустріальних та інших великих об'єктів часто з парковками.

Як уже згадувалося вище, традиційні парковки покриті асфальтом влітку нагадують розпечену сковорідку. Великі парковки створюють, як правило, на місцях з великою концентрацією людей, що підвищує число людей, які відчують негативний вплив таких перегрівів. Таким прикладом виступає територія ТРЦ Вікторія Гарденс. Температура поверхні парковки 21.06 становила 33,8 °С, тоді як, температура такої ж відкритої ділянки вкритої травою (поруч зі злітною смугою в аеропорті) коливається між 25 °С та 25,8 °С. 31.07 температура парковки становила 33,9 °С, а ділянки поруч зі злітною смугою 27,2°-28 °С. На цьому прикладі чітко видно різницю між температурою в однакових умовах, але з різним типом поверхні та говорить про те, що інтеграція навіть низької трави у створення парковки може допомогти у зниженні температури.

Ще одним визначним вогнищем тепла є осередок складських приміщень вкінці вул. Городоцька температура поверхонь тут сягала 39 °С 21 червня, та 40,2 °С 31 липня.

Унікальним об'єктом є Грибовицьке сміттєзвалище. Тут фіксується максимальна температура поверхні усієї МТГ – 42 °С та 44,2 °С (21.06 та 31.07 відповідно). Така термальна аномалія пояснюється тим, що зараз сміттєзвалище проходить рекультивацію, де одним з етапів є покриття його геотекстилем, що має чорний колір та спричиняє таке підвищення температури. Проте, останнім етапом рекультивації є створення на цьому місці зеленої зони, що відповідно вирішить питання формування вогнища тепла на цій території.

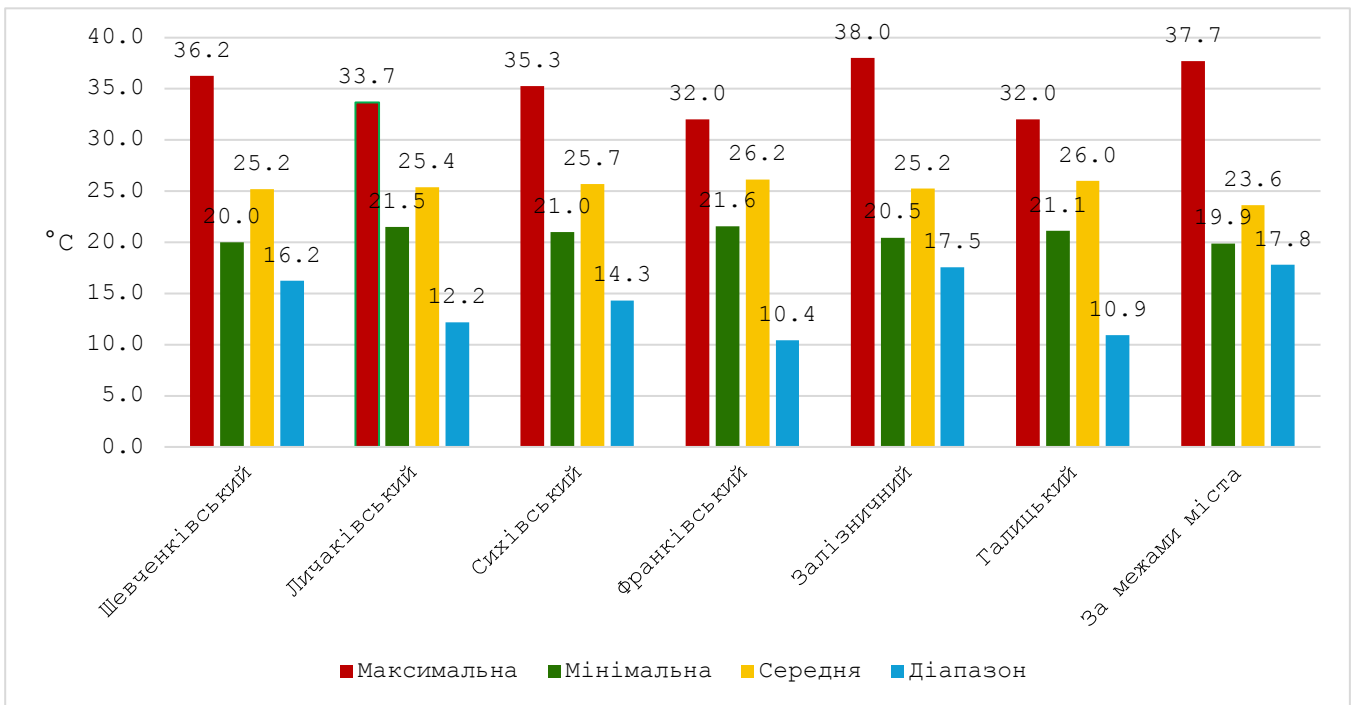


Рис. 4.1 Основні статистичні показники температур поверхні у межах міських районів та за межами міста за результатами дослідження 2023 року [4].

Окреме дослідження ефекту міського теплового острова у Львові в розрізі районів було проведено у 2023 році. За його результатами середня температура поверхні у місті була на 1,9 °C вищою за середню температуру поверхні за його межами. Найбільш інтенсивним це явище фіксувалося в Залізничному районі, де максимальна температура була 38 °C, проте аз середньою температурою найтеплішим був Франківський район міста, де різниця з температурою за межами Львова станом на 9:13 ранку становила 2,6 °C [4].

Як свідчать карти температури поверхні, найвищі показники фіксуються саме в місцях високої концентрації штучних поверхонь. Також особливо зростають температури на територіях з обмеженістю природних поверхонь чи дерев, як у прикладі ділянки поміж вулицею Клепарівська та проспектом Чорновола, а також Площею Ринок, де через компактну забудову площа природних поверхонь дуже мала, тому тут формується осередок підвищених температур.

Щоб дослідити рівень залежності між типом поверхні та її температурою використовуючи космічні знімки створено карту вегетаційного індексу та карту індексу забудови (Додаток І,Д). Вегетаційний індекс (Normalized Difference

Vegetation Index; NDVI) це простий кількісний показник кількості фотосинтетичної активної біомаси, іншими словами він показує щільність рослинності в певній точці. Значення вегетаційного індексу варіюється від -1 до +1, де більше значення відповідає більшій щільності рослинності, значення нижче 0,3 відповідає забудованій території, або території з дуже низькою щільністю рослинності. Індекс забудови (Normalized Difference Vegetation Index, NDBI) – показник, що виражає щільність забудови, або концентрацію штучних поверхонь, також діапазон значень може бути від -1 до +1, де вище значення відповідає більшій кількості штучних поверхонь. На графіках показано зв'язок, кореляцію, між індексами та температурою поверхні (Land Surface Temperature, LST) [33].

На першому графіку чітко видно високу обернену кореляцію між вегетаційним індексом та температурою поверхні, коефіцієнт кореляції  $r = -0,71$ , поверхня з вищим вегетаційним індексом (який характерний лісам, лукам, паркам тощо) має нижчу температуру, ніж у зворотній ситуації, зокрема у ділянок з NDVI вищим 0,5, що відповідає густій рослинності температура коливається від 19 °C до 28 °C. Другий графік показує високу залежність, де вищий індекс відповідає вищій температурі, коефіцієнт кореляції  $r = 0,70$ , так для ділянок з NDBI 0 - 0,1 температура коливається від 25 °C (нижчі значення відповідають воді) аж до 42 °C. На обох графіках можна побачити значення, що відповідає приблизно 0 вегетаційному індексу або індексу забудови, але не слідує загальному тренду, такі значення відповідають водним об'єктам.

Ці результати підтверджують, що зелені зони з густою рослинністю сприяють зниженню температури, тоді як забудовані території, навпаки, підвищують її. Проведений аналіз підтверджує факт високої залежності температури від типу підстильної поверхні.

#### 4.2. Результати польових досліджень

Проведення вимірювань на Площі Ринок проводилося у пн-зх частині Площі, неподалік фонтану з Амфітрітою, на достатній від нього відстані. Тип

підстильної поверхні – кам'яна бруківка (граніт). Територія вимірювання переважно була затінена.

Парк На валах це паркова зона, що на даній ділянці складається з основної мощеної доріжки, вздовж якої густо висаджені дерева, які формують майже цілодобову щільну тінь. Поруч з доріжкою розташовані спортивні майданчики, навколо яких росте густа трава. Вимірювання проводилися на доріжці, що поруч зі сходами до самого парку біля перехрестя вул. Підвальна та вул. Лесі Українки.

Площа перед пам'ятником Тарасові Шевченку, де проводилися вимірювання, являє собою відкриту площу мощену бруківкою. Рослинність на площі сконцентрована лише на її окраїнах та представлена невисокими туями та декількома деревами. Площа затінюється лише після обіду, приблизно о 17:00, тому за увесь день сильно нагрівається. Проте, через відкритість території, тут помітне таке явище як міський каньйон, іншими словами, на цьому місці присутній майже постійний рух повітря, що сприяє розсіюванню теплого повітря. Вимірювання проводилися по центру площі.

Вимірювання перед Львівським національним академічним театром опери та балету проводилися на відстані 10 м від фонтану, який працював протягом усього дня. Ця ділянка майже увесь день знаходиться під дією сонця, вона була затінена лише під час проведення замірів о 9:00 та 21:00. Як і у випадку з попереднім місцем, тут проявляється явище міського каньйону, але інтенсивність цього явища менша, через будівлю театру, яка обмежує вільний рух повітря.

Розтоцький ландшафтно-геофізичний стаціонар розташований у селищі Брюховичі. Станція віддалена від основної забудови селища та розташована на його крайній північній межі. Приблизно за 35 м від нього починається буковий ліс. Метеомайданчик переважно освітлений сонцем протягом усього дня.

Для уникнення систематичних помилок при порівнянні температур виміряних на різній висоті над рівнем моря (н.р.м), згідно з рекомендаціями Всесвітньої метеорологічної організації, для значень температури повітря було

дано поправку на термічний градієнт. Це дозволить виключити фактор впливу висоти на температуру при аналізі. Поправка становить  $1^{\circ}$  на 100м висоти н.р.м та використана для усіх точок вимірювання, як базову станцію взято РЛГС [39]. В результаті цього, температура, отримана після використання поправки, відрізнятиметься від фактичної, що була на момент вимірювання, адже так ми прибираємо один з факторів, що впливає на температуру та залишаємо лише чинники, що залежать від середовища місця вимірювання. Отже, наступний аналіз опирається на дані зі застосуванням цієї поправки.

Таблиця 4.1

Результати вимірювання температури повітря 15 серпня 2024 року у Львові на висоті 2 м над поверхнею

Точка вимірювання	вихідні дані					дані з поправкою				
	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00
Площа Ринок	19,8	25,0	28,9	28,6	25,9	19,4	24,6	28,5	28,2	25,5
Парк На валах	18,2	22,9	27,3	28,7	24,8	17,9	22,6	27,0	28,4	24,5
Пам'ятник Шевченку	19,8	26,1	31,3	29,2	26,0	19,3	25,6	30,8	28,7	25,5
Театр	19,8	27,1	29,7	29,8	26,6	19,3	26,6	29,2	29,3	26,1
Розтоцький ЛГС	18,8	23,4	27,5	27,1	20,6	18,8	23,4	27,5	27,1	20,6

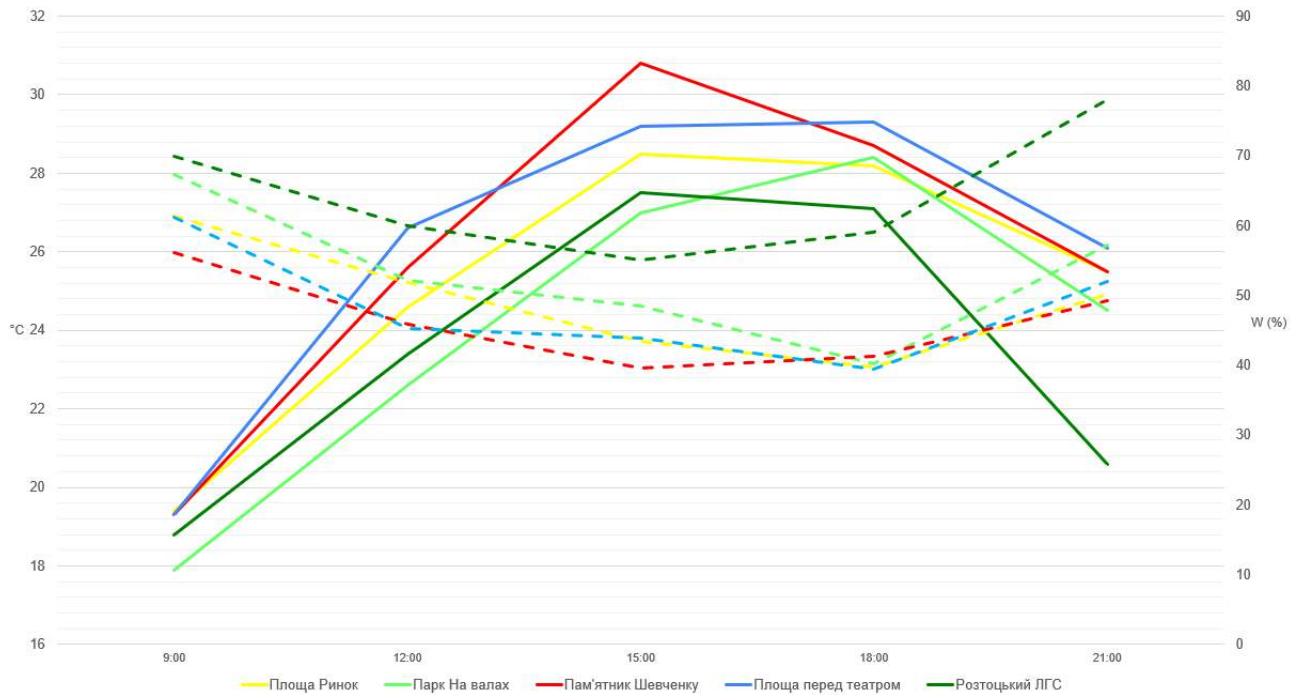


Рис. 4.2 Динаміка температури (суцільна лінія) та відносної вологості (пунктирна лінія) з поправкою

Найвища о 9:00 температура повітря була на Площі Ринок – 19,4 °С, що на 0,6 °С вища за температуру на РЛГС та на 1,5 °С вища за показники у парку На валах. Температура поверхонь тут схожа до вимірюваних на інших точках. Площа вимощена грубою бруківкою з натурального каменю, так як кожна порода має різну теплоємність, для вимірювання температури поверхні хідника було обрано гранітну бруківку. Її температура на сонці була 23,2 °С, в тіні 16,3 °С, різниця становить 6,9 °С, а температура шліфованої бруківки 24°С, що на 0,8 °С більше за не шліфовану. Фасад світлого кольору нагрівся до 26 °С, що уже впливає на підвищення температури на площі. Озеленення на площі мало, на присутній перед одним з ресторанів клумбі температура рослин була 21 °С

У полуденний період (12:00) різниця температур між найтеплішими та найпрохолоднішими локаціями зростає. Найвища температура повітря була зафіксована перед театром (26,6 °С), а найнижча – в парку На Валах (22,6 °С). Поверхні нагрівалися ще інтенсивніше: температура хідника перед театром на сонці досягала 36,8 °С, тоді як у тіні вона була 18,8 °С різниця становить 16,4

°C. Така різниця між ідентичними поверхнями в тіні та на сонці свідчить про високу ефективність затінення у зниженні температури поверхонь у місті. Також спостерігається вплив фонтану на зниження температури поверхні, температура сухої плитки, яка розташована поруч з самим фонтаном 32,1 °C (під сонцем), а мокрої плитки безпосередньо в самому фонтані – 22,1 °C. Асфальтована велодоріжка на сонці нагріта аж до 48,1 °C, що говорить, що використання цього матеріалу здатне підвищувати вразливість міста до екстремальної спеки. При цьому рослинність залишалася значно прохолоднішою: температура трави на відкритій ділянці не перевищувала 25,5 °C, що на 11,3 °C нижче, ніж сусідній хідник. Температура трави в парку 21,9 °C (в тіні), що на 9,4 °C нижче за температуру хідника в тіні поруч.

О 15:00 температура повітря була пікова майже для усіх точок вимірювання, в цей час спостерігається чітка відмінність температури повітря в залежності від специфіки місця. Найвища температура повітря була на площі перед пам'ятником Шевченку 30,8 °C, найнижча в парку На валах 27 °C різниця температури становить 3,8 °C. Температура повітря на Розтоцькому ЛГС – 27,5 °C, у порівняння з найвищою температурою за цю годину це на 3,3 °C нижче. В цей час вже чітко проявляється ефект А-МТО та ефективність адаптаційних методів у місті, серед яких парки та фонтани. Температура перед театром – 29,2 °C, що на 1,6 °C нижче за температуру на площі перед пам'ятником, ці дві точки розташовані на одній вулиці з однаковою за характером забудовою, що робить ці точки релевантними для порівняння одна з одною для визначення охолоджуючого ефекту фонтану. Також цей час дві точки знаходилися під дією прямого сонячного впливу, що також зближує їхні умови. що свідчить про охолоджуючий ефект фонтану, який можна вважати ефективним адаптаційним заходом. Тому зниження температури повітря на 1,6 °C можна вважати приблизною ефективністю цього фонтану, як адаптаційного заходу. Проте, потрібно враховувати, що число може різнитися в залежності від погодних умов.

Температура майже усіх поверхонь досягла добового максимуму, в цей час ефект П-МТО проявляється найбільше. Температура хідника перед пам'ятником Шевченку становила 49,1°C на сонці та 31,4 °C в тіні, різниця становить 17,7 °C, на площі перед театром температура хідника на сонці була 45,7 °C, а в тіні 32,1 °C, різниця 13,6 °C. Охолодженню температури поверхні тут посприяв фонтан, температура хідника поруч з яким була на 12,1 °C нижча за ідентичний, що знаходився далі від фонтану, а температура плитки в самому фонтані нижча аж на 22 °C. Температура хідників в інших точках вимірювання була також дуже високою. Середня різниця між температурою хідника на сонці та в тіні становить – 14,3 °C. Отже, опираючись на ці результати можна зробити висновки, що затінення поверхонь має високу ефективність зниження їхньої температури та як наслідок зниження температури повітря.

Температура рослинності навіть під впливом сонячних променів не перегрівається. Температура поверхні трави перед театром становила 30,2 °C у порівнянні з температурою хідника на сонці різниця складає 15,5 °C, температура поверхні туї на площі перед пам'ятником – 28,7 °C, на площі ринок температура рослинності була 32,7 °C, в сквері На валах температура затіненої трави була 27,6 °C. Температура рослинності значно стабільніша та нижча за температуру штучних поверхонь, що сприяє зменшенню локального перегріву.

О 18:00 найвища температура повітря була зафіксована перед театром – 29,3 °C, нижча на площі перед пам'ятником Шевченку – 28,7 °C така різниця виникла через те, що в цей час площа вже повністю затінена будівлею банку, тому поверхні встигли вже охолотитися, коли територія перед театром ще не затінена. Температура повітря в парку На валах 28,4 °C, а на площі Ринок 28,2 °C. Найнижча температура повітря зафіксована на Розтоцькому ЛГС – 27,1 °C. Так, станом на 18:00 інтенсивність прояву ефекту А-МТО на площі перед театром була 2,2 °C.

Температура фасадів також поступово зменшувалася: перед театром вона була 34,9 °C, а на Площі Ринок – 29,7 °C. Рослинність залишалася значно прохолоднішою за тверді поверхні: температура трави біля театру – 29,1 °C, що

на 16 °C нижче, ніж температура сусіднього хідника. У парку На Валах температура затіненої трави становила 25,8 °C, що на 3,9 °C менше, ніж температура хідника, підкреслюючи ефективність рослинності у зниженні перегріву міського простору.

Згідно з теоретичними уявленнями, інтенсивність прояву міського теплового острова є найвищою після заходу сонця. 15 серпня захід сонця відбувся о 20:44, тобто перед останніми в цій добі замірами [34]. Результати вимірювання підтвердили цю теорію, адже о 21:00 температура в межах міста та у заміській території (РЛГС) значно відрізняється. Найвища температура повітря о 21:00 була зафіксована на площі перед театром та становить 26,1 °C. Мінімальна ж температура повітря очікувано зафіксована на Розтоцькому ландшафтно-геофізичному стаціонарі та становила 20,6 °C. Різниця температур становить 5,5 °C. У парку На Валах температура становила 24,5 °C, а на Площі Ринок і перед пам'ятником Шевченку – 25,5 °C, що на 4,9 °C перевищує температура на базовій станції.

Посилення ефекту А-МТО о 21:00 пояснюється тим, що після заходу сонця природні території починають швидко охолоджуватися, через відкритість цієї території та нижчі температури поверхні вона охолоджується значно швидше за міські території, де переважають штучні поверхні, які мають значно вищу теплоємність ніж природні поверхні вкриті рослинністю. Також на заміській території полегшена циркуляція повітря та конвекційні рухи, тому тепле повітря швидше підіймається вгору та змішується з холодним, тоді як в місті ці рухи ускладнені через інтенсивну забудову

Хоча температура поверхонь почала знижуватися, перегріті вдень матеріали залишалися теплими. Хідник перед театром, що тривалий час перебував під сонцем, зберігав 29,3 °C, тоді як температура сусідньої трави була значно нижчою – 19,7 °C (різниця 9,7 °C). Навіть у затінених місцях хідник залишався теплішим за траву: 22,2 °C проти 19,7 °C. Поблизу фонтану температура хідника становила 25,3 °C, що на 4 °C нижче, ніж на відкритій

ділянці, завдяки випаровуванню води. У самому фонтані температура води була 21,4 °С, що на 7,9 °С менше за температуру нагрітого хідника.

Перед пам'ятником Шевченку хідник залишався теплим (27,2 °С), хоча рослинність поруч мала нижчу температуру (25,1 °С). У сквері На Валах трава (22,1 °С) залишалася прохолоднішою за сусідній хідник (25,2 °С), але через бідний рослинний покрив ефект охолодження тут був менш вираженим.

На Площі Ринок температура поверхонь була ще вищою через щільну забудову та малу кількість озеленення. Хідник у тіні мав 26,8 °С, фасад будівлі – 27,2 °С, а шліфувана бруківка, що активно накопичувала тепло, зберігала 32,9 °С. Через високу концентрацію штучних поверхонь і недостатнє озеленення інтенсивність А-МТО тут досягала 5,5 °С, що підкреслює важливість зелених насаджень у зниженні перегріву міських просторів.

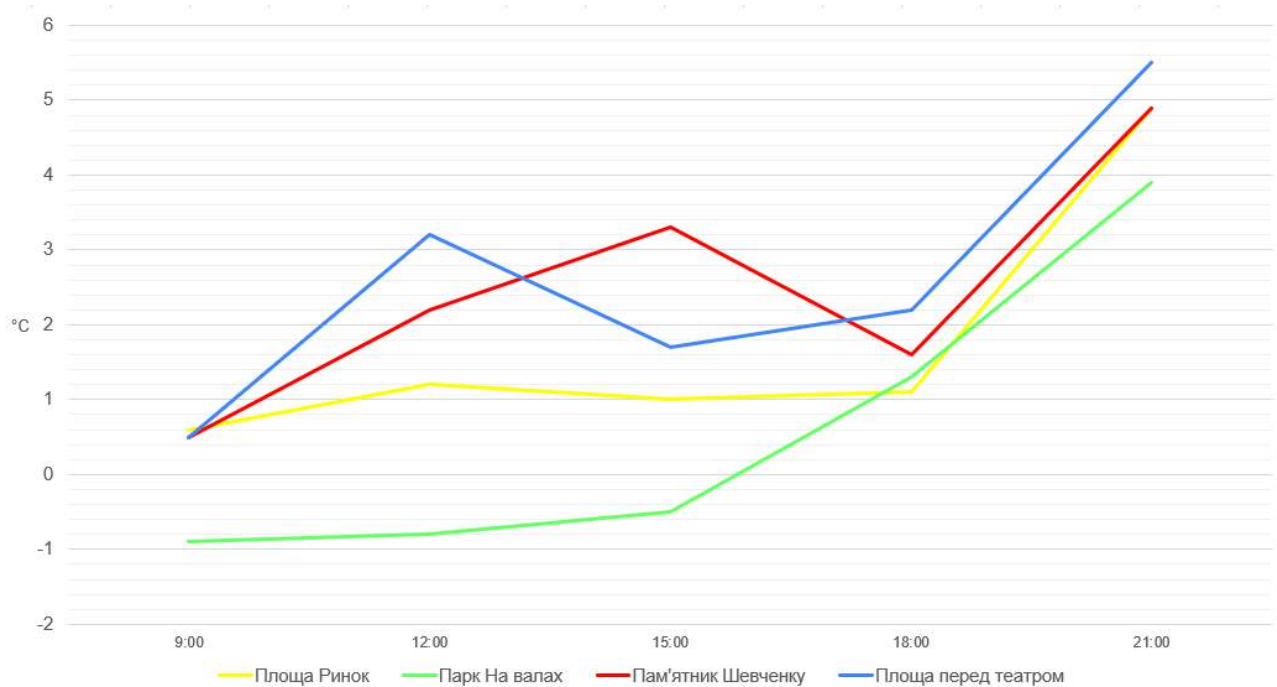


Рис. 4 Динаміка інтенсивності прояву ефекту А-МТО

На рис. 4 зображена динаміка інтенсивності прояву ефекту А-МТО, що являє собою різницю температури у певній точці та результати вимірювання на Розтоцькому ландшафтно-геофізичному стаціонарі, тобто базовій станції для порівняння температури та визначення МТО.

Отже, з цього графіка видно, що у ранковий час 9:00 інтенсивність прояву А-МТО майже у всіх точках вимірювання була на рівні 0,5 °С, на площі Ринок

0,6 °C. Проте в парку На валах інтенсивність МТО від'ємна, що пояснюється високою затіненістю території парку, на відміну від метеостанції, що розташована на відкритій ділянці, така тенденція зберігається аж до 18:00, коли в парку починає також проявлятися ефект МТО. В обідній час о 12:00 та 15:00 вже більш виразно проявляється цей ефект, проте найбільш інтенсивний він після заходу сонця, який відбувся о 20:44, тобто перед кінцевим вимірюванням.

За результатами проведеного дослідження інтенсивність А-МТО у Львові становить 5,5 °C на точці перед театром та досягає свого піку після заходу сонця о 21:00. Також, о 15:00 помітний вплив фонтану на зниження температури повітря, так температура повітря на точці поруч з театром становила на 1,6 °C нижче, ніж температура на точці зі схожими умовами, проте з відсутністю фонтану – точка перед пам'ятником Шевченку [30].

## РОЗДІЛ 5

### Рекомендації щодо зменшення інтенсивності прояву ефекту МТО

Коли інтенсивність та геопросторовий розподіл ефекту МТО відомі, головним питанням, яке залишається, є зменшення цього ефекту. Найбільш логічним підходом є боротьба з причинами, які сприяють утворенню МТО. Згідно з дослідженням, основною причиною є заміна природних поверхонь штучними. Тому найефективнішим методом зменшення МТО є збільшення площі зелених зон.

Збільшення площі зелених насаджень у міському середовищі можна досягти за допомогою трьох основних стратегій. Перший підхід передбачає пріоритетне врахування зелених зон у міському плануванні, але такий спосіб не вирішує проблему там, де місто уже збудоване, наприклад у центральній частині міста, де ефект МТО проявляється найбільше. Інший спосіб пропонує заміну вже наявних об'єктів природними поверхнями, тобто створення зелених зон на місці споруд, це також в значній мірі неможливо, окрім випадків з занедбаними територіями, наприклад, закинутих підприємств, тоді цей спосіб є позитивний, адже вирішує проблему частоті маргіналізації району через наявність закинутих споруд, а створення якісної зеленої зони на цьому місці підвищує комфорт мешканців навколо, включно з тепловим комфортом. Як компроміс між цими двома стратегіями з'явився третій підхід, який має на меті інтегрувати рослинність в існуючі міські структури без необхідності масштабного знесення або перепланування. Це інтеграція рослинності (природи) в існуюче місто (будівлі, інфраструктуру) за допомогою природоорієнтованих рішень (ПОР), які в багатьох випадках передбачають певний ступінь реконструкції існуючих об'єктів, тим самим не змінюючи їх основну функціональність, а лише розширюючи її, додаючи екосистемні послуги (зниження температури, очищення повітря, шумові бар'єри тощо) для міста.

Інтеграція природи в місто через ПОР може бути найбільш ефективним підходом до збільшення частки природних поверхонь у структурі земельного

покриву міста. Такий підхід є особливо актуальним для Львова, центральна частина якого забудована за типовим для Європи стилем з кварталами та вузькими вулицями, де бракує місця для зелених насаджень. Проте, ПОР особливо корисні в таких щільно забудованих районах.

Існує широкий спектр таких рішень, наприклад, зелені дахи, зелені стіни, зелені парковки, кишенькові парки тощо. Для максимізації охолоджуючого ефекту важливо правильно вибрати місце для озеленення; рослинність, що розташована в щільно забудованій території, де інтенсивність перегріву найвищ, має найбільший охолоджуючий ефект, тоді як озеленення навколо міста має менший ефект. Вибір місця для реалізації таких рішень є важливим кроком і вимагає комплексного підходу з урахуванням багатьох факторів, включаючи архітектурний комплекс території, міцність існуючих споруд, якщо рішення передбачає додаткову вагу (вертикальне озеленення, зелений дах) і місцеві кліматичні умови, такі як орієнтація вулиць або природне освітлення території [25].

Ефективним рішенням для пом'якшення ефекту МТО у Львові може стати створення кишенькових парків. Кишенькові парки - це невеликі зелені простори площею менше 0,5 га, значно менші за звичайні міські парки. Такі парки створюються в районах, де висока щільність забудови перешкоджає виділенню великих територій для традиційних парків. Незважаючи на обмежений розмір, кишенькові парки можуть бути спроектовані з різноманітними конфігураціями і доповнені різними малими архітектурними елементами.

Для досягнення максимального результату, тобто охолодження, важливо ретельно підійти до вибору місця для парку, адже універсального рішення не існує. Необхідно враховувати локальну кліматичну зону в кожному районі міста, орієнтацію вулиць, перепад висот, затінення та інші фактори. Планування самого парку, включаючи підбір видового складу та просторової конфігурації, відіграє вирішальну роль у його ефективності. Правильно підібрані види рослин можуть посилити охолодження за рахунок затінення та випаровування, а конфігурація парку має сприяти природній циркуляції повітря [23].

У Львові місць для кишенькових парків доволі багато навіть у центральній частині. Перевагою квартальної забудови є те, що всередині кварталу формується дворик, на жаль, часто ці дворики у Львові занедбані, де не де вони виконують функцію парковки для декількох автомобілів, або зовсім пустують. Є й позитивні приклади, наприклад, у центральній частині міста у таких двориках працюють кафе та ресторани. Важливо використовувати цю територію раціонально, такі дворики мають потенціал стати публічними просторами з озелененням, що сприятиме охолодженню та матиме багато соціальних переваг.

Ще одним ефективним рішенням збільшення площі зелені у місті це вертикальне озеленення, адже воно не потребує території, а лише вертикальний об'єкт – стіну чи який-небудь бар'єр. Це ефективне рішення для зниження температури в приміщенні та на вулиці, застосування якого не потребує високих витрат. Рослини можуть плестись по стіні, або ж по каркасу, рости можуть з відкритого ґрунту або з контейнерів. Дослідження показують, що озеленення стін і фасадів може ефективно знизити температуру в приміщенні до 2,25 °С, тим самим зменшуючи споживання електроенергії на охолодження. Цікаво, що температура поверхні такого озеленення протягом дня зберігає приблизно температуру навколишнього середовища, або трохи нижчу, коли температура поверхні такої стіни без озеленення сягає 20 °С вище за температуру повітря. Ефективність цих рішень залежить від різних факторів, включаючи регіональний клімат, видовий склад рослин і орієнтацію стіни. Оптимальне охолодження досягається при західній і південній орієнтації, де відбувається найбільший вплив сонячного світла. Окрім зниження температури у приміщенні, зелені стіни та фасади можуть знизити споживання енергії до 16%, а також очищують вуличне повітря, затримують пил та інші мікрочастинки та продукують кисень [18,19,31].

Виходячи з проведеного дослідження П-МТО парковки, що часто займають велику площу перед ТРЦ чи підприємством сприяють формуванню МТО. Такі парковки майже завжди являють собою територію повністю покрити

асфальтом без жодного озеленення. Так, влітку такі парковки перетворюються за відчуттями на розпечену сковороду і навіть після заходу сонця відчувається як поверхні віддають тепло.

У дослідженні порівняно температуру поверхні на парковці перед ТРЦ Вікторія Гарденс та температуру поверхні трави поруч зі злітно-посадковою смугою Львівського аеропорту. Різниця в температурі становила 8,8 °С 21.06 та 6,7 °С 31.07, така різниця доволі вагома враховуючи, що вимірювання проведені в ранковий час. В обідній час ця різниця ще більша.

Отже, таке порівняння наводить на думку поєднати функцію паркування з природною поверхнею. Таке рішення вже широко застосовується в країнах ЄС, такі парковки називають зеленими. Це рішення полягає в тому щоб замість асфальту чи традиційної бруківки для паркувальних місць використовувати газонну решітку, або пористу бруківку, в просторі між якою проростає трава. Приклади впровадження такого рішення вже існують у Львові, але це поодинокі випадки, що потребують масштабування

Дослідження П-МТО показало, що одними з найбільш помітних перегрітих поверхонь є дахи. Переважно це покрівлі комерційних та промислових об'єктів. Велика частина промислових будівель була збудована в часи радянської окупації України, це будівлі, що зараз належать ПАТ Концерну Електрон, ПАТ «Львівському заводу автотранспорту», ВАТ «Заводу «Львівсільмаш» та інші. Специфіка цих будівель в тому, що у час їхнього будівництва для ізоляції даху використовували смолу, відповідно це теплоємний матеріал чорного кольору. Таке ж покриття застосовували в будівлях іншого призначення – у житлових, адміністративних тощо. Характеристики цього покриття сприяють сильному нагріванню поверхні влітку, що підвищує температуру в помешканні та надворі.

Ефективним рішенням по боротьбі з екстремальною спекою є створення зелених дахів. Зелені дахи – це природоорієнтоване рішення, що передбачає собою частково або повністю покриті рослинністю дахи. В залежності від висоти рослин, зелені дахи поділяють на інтенсивні та екстенсивні. Інтенсивні

дахи – це дахи з високим та розрізненим рослинним покривом, де можуть зростати кущі та навіть дерева. Тоді як, екстенсивні зелені дахи характеризуються низьким рослинним покривом, це може бути трава, мох, лишайники.

Вибір типу зеленого даху залежить від бюджету і міцності даху, оскільки рослинність і субстрат додають великої ваги конструкції. Незважаючи на вищу ефективність інтенсивного зеленого даху, більшість існуючих дахів не здатні витримати його вагу без додаткового підсилення, але екстенсивний тип з травою або сукулентами може бути ефективним способом зниження температури і споживання енергії для охолодження влітку і обігріву взимку.

Це особливо актуально для великих підприємств і складів. У дослідженні було змодельовано економію енергії на опалення та охолодження для одноповерхової комерційної будівлі в Торонто із зеленим дахом площею 2 980 м<sup>2</sup>. Згідно з результатами, зелений дах може заощадити близько 6% від загального споживання енергії на охолодження та 10% на опалення відповідно. Інше дослідження показало, що перетворення 50% дахів центральної частини Торонто на зелені дахи знизить температуру повітря в місті на 0,1-0,8°C, а додатковий полив знизить температуру ще на 2°C [27].

Отже, впровадження таких рішень може знизити інтенсивність прояву ефекту МТО та зменшити енергоспоживання. Окрім цього, рослинність очищує повітря та затримує дощову воду, що дозволяє економити на системі очищення стоків, адже менша кількість її потраплятиме в каналізацію.

В межах Львівської МТГ таке рішення можна впровадити на дахах підприємств, створюючи повноцінні парки, або ж просто засаджуючи низькою рослинністю. Також зелені дахи можна створювати на вже збудованих будинках з плоскими дахам, такі будинки складають велику частину з житлового фонду Львова. Також велика частина комунальних установ та підприємств придатні до створення таких дахів. Реалізація такої ініціативи на комунальному підприємстві може слугувати прикладом та важливим досвідом в реалізації, а факт комунальної власності полегшить юридичну складову питання.

Окрім ПОР, вода також є ефективним способом охолодження. Фонтани можна використовувати в містах, де немає великих природних водойм. Незважаючи на їх просторово обмежений охолоджувальний ефект, вони ефективно знижують температуру повітря. Польове дослідження показало, що фонтани можуть ефективно сприяти зниженню температури повітря. О 15:00, коли на обидві точки потрапляли прямі сонячні промені, температура повітря на відстані 10 метрів від фонтану перед Львівським національним театром ім. Соломії Крушельницької була на 1,6 °C нижчою, ніж температура, зафіксована в той самий час на площі перед пам'ятником Шевченку. Крім того, температура поверхні біля фонтану була на 12,1 °C холоднішою, ніж та сама поверхня, розташована далі.

Такі результати свідчать про те, що включення фонтанів у міське середовище може позитивно сприяти адаптації до зміни клімату, зменшуючи інтенсивність ефекту міського теплового острова.

Підсумовуючи, можна сказати, що найкращий спосіб зменшити інтенсивність МТО - це збільшити площу зелених насаджень у структурі земельного покриву міста. Інтеграція ПОР в місті може бути ключовим методом для цього, але вимагає комплексного підходу з урахуванням умов кожної ділянки для вибору найкращого рішення і конфігурації для максимізації охолоджуючого ефекту. Окрім ПОР, важливими є також 2 інші підходи - пріоритетність озеленення в міському плануванні та заміна деяких об'єктів на зелені зони, де це виправдано.

## ВИСНОВКИ

Мікрокліматичні умови міста залежать від природних умов, інтенсивності урбанізації, економічного розвитку та проявів глобальних кліматичних змін на регіональному рівні.

Трансформація великих площ природних поверхонь на штучні – асфальтовані, бетонні, покриті руберойдом – в поєднанні з особливостями міської забудови є основними чинниками формування ефекту міського теплового острова. Водночас впливають і властивості матеріалів поверхонь, а також забруднення атмосферного повітря. Природні особливості території формують фонові умови, в цьому контексті важливим є рельєф міста, що може сприяти блокуванню повітряних мас.

Геометрія міської забудови в поєднанні з особливостями рельєфу створює сприятливі умови для накопичення тепла у Львові. Центральна частина міст, яка традиційно розглядається як найбільш вразлива до розвитку ефекту МТО, у випадку Львова розташована у пониженні – у долині річки Полтви, тоді як інші райони розміщені на підвищеннях. Це, разом з наявністю багатоповерхової забудови навколо, створює бар'єр для руху повітряних мас. Така конфігурація посилює застій повітря в центральній частині та уповільнює процес розсіювання нагрітого повітря.

Для проведення комплексного дослідження ефекту МТО у межах Львівської МТГ воно було розділене на два етапи. Перший полягав у дослідженні П-МТО через використання методу дистанційного зондування Землі. Результати цього етапу показали, що великі підприємства, торгові центри, склади з інфраструктурою, які займають великі площі покриті штучними матеріалами, виступають епіцентрами високих температур та формування локальних островів тепла у місті. Локальні вогнища тепла виявлені в межах громади тяжіють до саме таких територій. Найвища температура поверхні була зафіксована на Грибовицькому сміттєзвалища 42 °C та 44,2 °C за даними знімання о 9:13 год. як 21 червня, так і 31 липня 2024 року. Тоді як найнижча температура зафіксована у природньому лісі на північ від Львова –

18,8 °C та 15,0 °C. Водночас на створених картах чітко проглядаються межі зелених зон, що свідчить про високу здатність рослинності до охолодження.

Польові вимірювання, проведені другим етапом дослідження 15 серпня, були проведені для виявлення інтенсивності прояву ефекту А-МТО в центральній частині Львова та впливу мікрокліматичних умов та зниження температури повітря. Крім того, в дослідженні вивчалася роль адаптаційних рішень, таких як фонтани, у пом'якшенні ефекту МТО та додатково проводились вимірювання температури поверхонь для уточнення результатів попереднього етапу та визначення впливу температури поверхонь на інтенсивність А-МТО. Результати дослідження показують, що найбільш перегрітими територіями є відкриті простори з бідною рослинністю. Найбільшу інтенсивність серед точок вимірювання цей ефект мав на точці перед театром ім. Соломії Крушельницької станом на 21:00, тобто після заходу сонця, та становив 5,5 °C. Також, було виявлено охолоджуючу здатність фонтану. О 15:00 температура повітря на точці поруч з театром опери та балету становила на 1,6 °C нижче, ніж температура на точці перед пам'ятником Шевченку на просп. Свободи, що відповідає схожими умовами, проте з відсутністю фонтану.

Результати польових вимірювань температури поверхонь підтверджують, що штучні покриття, такі як асфальт і бетонна бруківка, мають високу здатність накопичувати тепло, тим самим посилюючи ефект міського теплового острова. Натомість затінені ділянки та зелені зони залишаються суттєво прохолоднішими. Рослинність відіграє ключову роль у зменшенні локального перегріву: температура трав'яного покриву в середньому на 10–15 °C нижча за температуру сусідніх штучних поверхонь.

На основі проведеного дослідження було окреслено низку ефективних підходів для зниження інтенсивності ефекту міського теплового острова у Львові. Серед них – пріоритизація зелених зон під час міського планування, перетворення занедбаних або деградованих територій на озеленені ділянки, а також впровадження природоорієнтованих рішень. До таких рішень належать створення кишенькових парків, зелених паркінгів, вертикального озеленення

фасадів, фонтанів та зелених дахів. Окрім цього, більшість цих заходів також зменшують споживання енергії, знижуючи потребу в кондиціонуванні повітря. Впровадження таких рішень може значно підвищити стійкість міста до кліматичних змін та покращити тепловий комфорт мешканців.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агенція з охорони довкілля США. URL: <https://www.epa.gov/heatislands>
2. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ, 2014. 20 с.
3. Койнова І. Б., Кухар І. І. Значення львівських парків у адаптації міста до кліматичних змін. XXV-а Всеукраїнська студентсько-аспірантська наукова конференція “Реалії, проблеми та перспективи розвитку географії, географічної освіти, екології, туризму та сфери гостинності в Україні”. Всеукраїнська наук. конф, м. Львів, 9–10 трав. 2024 р. 2024. С. 127–130
4. Койнова І., Кухар І. Міський острів тепла Львова у літній період: геопросторовий аналіз // Вісник Львівського університету. Серія географічна. 2024. Випуск 57. С. 106–116.
5. Койнова І. Б., Кухар І. І. Терморегулююча функція регіонального ландшафтного парку «Знесіння» у місті Львові, Україна. Geography social ways of training specialists in the social sphere and inclusive education : Міжнар. наук. конф, м. Прага, 1–3 квіт. 2024 р. 2024. С. 98–101. URL: <https://eu-conf.com/en/events/social-ways-of-training-specialists-in-the-social-sphere-and-inclusive-education/>.
6. Комплексна екологічна програма на 2024-2028 роки для Львівської міської територіальної громади. URL: [https://www8.city-adm.lviv.ua/inteam/uhvaly.nsf/\(searchforweb\)/9e3691546179c0f0c2258afa0047172b?opendocument](https://www8.city-adm.lviv.ua/inteam/uhvaly.nsf/(searchforweb)/9e3691546179c0f0c2258afa0047172b?opendocument)
7. Кучерявий В. П. Урбоекологія. Львів : Світ, 1999. 360 с.
8. Кучерявий В.П. Озеленення населених місць. підручник. Львів : Вид-во "Світ", 2005. 456 с.
9. Назарук М.М. Львів: місто, природа, простір. Львів : Вид-во Старого Лева, 2022. 336с.
10. Парки Львова. URL: <https://parky.lviv.ua/>

11. План дій сталого енергетичного розвитку та клімату Львівської міської територіальної громади 2030 // Інститут міста / Угода мерів щодо клімату та енергії в Україні. – 172 с.
12. Про затвердження Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України : Наказ Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 10.04.2006. № 105. URL: ([rada.gov.ua](http://rada.gov.ua))
13. Рябика М. Гусакова О. Зозуля А. Бушовська А. та ін. Каталог природоорієнтованих рішень. Львів : УКМ, 2021. 116 с.
14. Шевченко О.Г, Власюк О.Я. Оцінка вразливості та заходи з адаптації до зміни клімату Львів. Київ. 2015. URL: [https://nescu.org.ua/wp-content/uploads/ad\\_lviv\\_city\\_a4.pdf](https://nescu.org.ua/wp-content/uploads/ad_lviv_city_a4.pdf)
15. 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.
16. Шолок І. Просторовий аналіз зеленої зони міста та перспективних територій у межах її розширення м. Львів. Вісник Львівського університету. Серія Географічна. 2014. № 45. С. 417–423. URL: <https://doi.org/10.30970/vgg.2014.45.1205>
17. Aram, F., Solgi, E., Garcia, E. H., & Mosavi, A. (2020). Urban heat resilience at the time of globalwarming: evaluating the impact of the urban parks on outdoor thermal comfort. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 117. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00393-8>
18. Azkorra-Larrinaga, Z., Erkoreka-González, A., Martín-Escudero, K., Pérez-Iribarren, E., & Romero-Antón, N. (2023). Thermal characterization of a modular living wall for improved energy performance in buildings. *Building and Environment*, 234, 110102. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110102>
19. Bakhtyari, V., Fattahi, K., Movahed, K., & Franz, A. (2024). Investigating the effect of living walls on cooling energy consumption in various urban microclimates, Building heights, and greenery coverage areas. *Sustainability*, 16(2), 920. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16020920>

20. Climate change and its impact on lung health: a focus on Europe. The Economist Intelligence Unit Limited 2021. URL: [lon - es - chiesi\\_climate\\_change\\_lung\\_health\\_v6.pdf\(economist.com\)](https://www.eiu.com/public/infographic/infographic_chiesi_climate_change_lung_health_v6.pdf)
21. Fan, J., Chen, X., Zhang, W. et al. Comparison of mediating effects of air pollutants on urban morphology and urban heat Island intensity at block scale. *Sci Rep* 15, 18433 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-02665-w>
22. Guha, S., Govil, H., Dey, A., & Gill, N. (2018c). Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 667–678. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494>
23. Hou, J., Wang, Y., Zhou, D., & Gao, Z. (2022). Environmental effects from pocket park design according to district planning patterns – cases from Xi’an, China. *Atmosphere*, 13(2), 300. <https://doi.org/10.3390/atmos13020300>
24. Jiménez-Muñoz J. C., Sobrino J. A., Skoković D., Mattar C. and Cristóbal J., "Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Volume 11, no. 10, pp. 1840-1843, Oct. 2014.
25. Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., & Bonn, A. (Eds.). (2017). *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5>
26. Li, G., Zhou, M., Cai, Y., Zhang, Y., & Pan, X. (2011). Does temperature enhance acute mortality effects of ambient particle pollution in Tianjin City, China. *Science of The Total Environment*, 409(10), 1811-1817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.005>
27. Liu K., & Bass, B. (2005). NRCC-47705: Performance of Green Roof Systems. National Research Council Canada, Ottawa, Ontario, 1–18. URL: <https://nrcpublications.canada.ca/eng/view/accepted/?id=a3f06fba-bf23-4b72-a2e9-881eafda661>
28. Oke, T.R. Urban climates and global change. In A. Perry & R. Thompson (Eds.), *Applied climatology: Principles and practices*. London: Routledge. 1997p.

273–287. URL:

[https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Applied+Climatology%3A+Principles+and+Practice&author=Thompson+R.+D.&author=Perry+A.&publication+year=1997](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Applied+Climatology%3A+Principles+and+Practice&author=Thompson+R.+D.&author=Perry+A.&publication+year=1997)

29. Oke, T.R.. Boundary Layer Climates (2nd ed.). Routledge. 1987

<https://doi.org/10.4324/9780203407219>

30. Polianskyi, Yu., Kukhar, I. (2025). Urban heat island effect and its influence on transformations in Lviv. *Ekonomichna ta Sotsialna Geografiya / Економічна та соціальна географія*, 93, 6–30, <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2025.93.6-30>.

31. Safikhani, T., Abdullah, A. M., Ossen, D. R., & Baharvand, M. (2014).

Thermal impacts of vertical greenery systems. *Environmental and Climate Technologies*, 14(1), 5–11. <https://doi.org/10.1515/rtuct-2014-0007>

32. Santamouris M. Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and buildings*. 2020. T. 207.

C. 109482. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109482>

33. Srivanit M., Hokao K. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: an application for the city of Bangkok, Thailand. *Journal of architectural/planning research and studies (jars)*. 2018. T. 9, № 1. C. 83–100.

URL: <https://doi.org/10.56261/jars.v9i1.168598>

34. Stewart, I. D., Krayenhoff, E. S., Voogt, J. A., Lachapelle, J. A., Allen, M. A., & Broadbent, A. M. Time Evolution of the Surface Urban Heat Island. *Earth's Future*. 2021. Vol. 10 no. 9. URL: <https://doi.org/10.1029/2021ef002178>

35. Thomas Astell-Burt, Xiaoqi Feng, Does sleep grow on trees? A longitudinal study to investigate potential prevention of insufficient sleep with different types of urban green space, *SSM - Population Health*, Volume 10, 2020. URL:

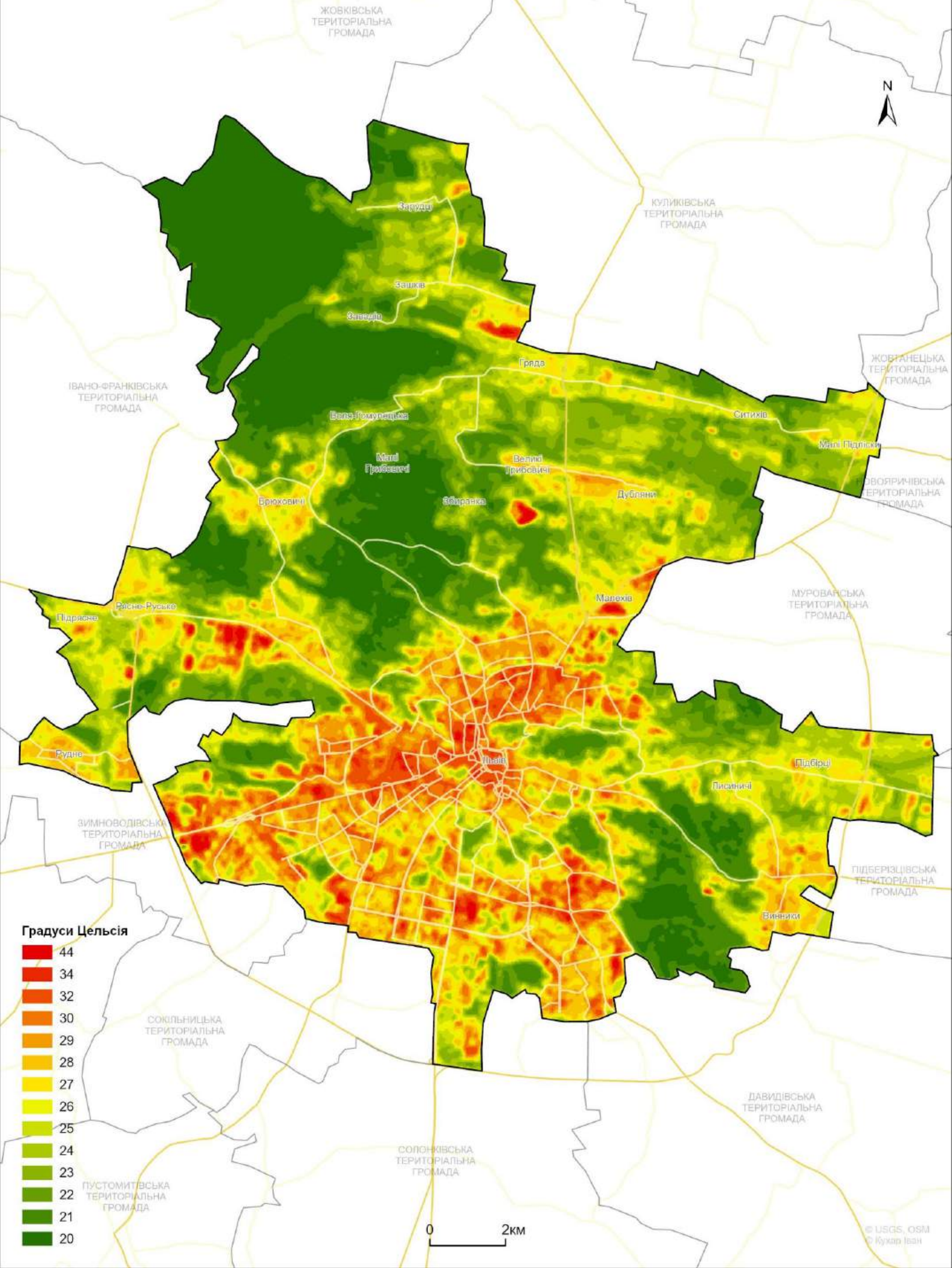
<https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2019.100497>

36. U.S. Geological Survey. Landsat 8 URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>

37. Voogt, J. A. (2002). Urban heat island. In T. Munn (Ed.), *Encyclopedia of Global Environmental Change*. vol. 3. (pp. 660-666). Chichester: Wiley
38. Wang, Y., Guo, Z., & Han, J. (2021). The relationship between urban heat island and air pollutants and them with influencing factors in the Yangtze River Delta, China. *Ecological Indicators*, 129, 107976.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107976>.
39. World Meteorological Organisation (WMO). (2023). *Guidance on Measuring, Modelling and Monitoring the Canopy Layer Urban Heat Island (CL-UHI)*. 1292nd ed. Geneva: Chair, Publications Board

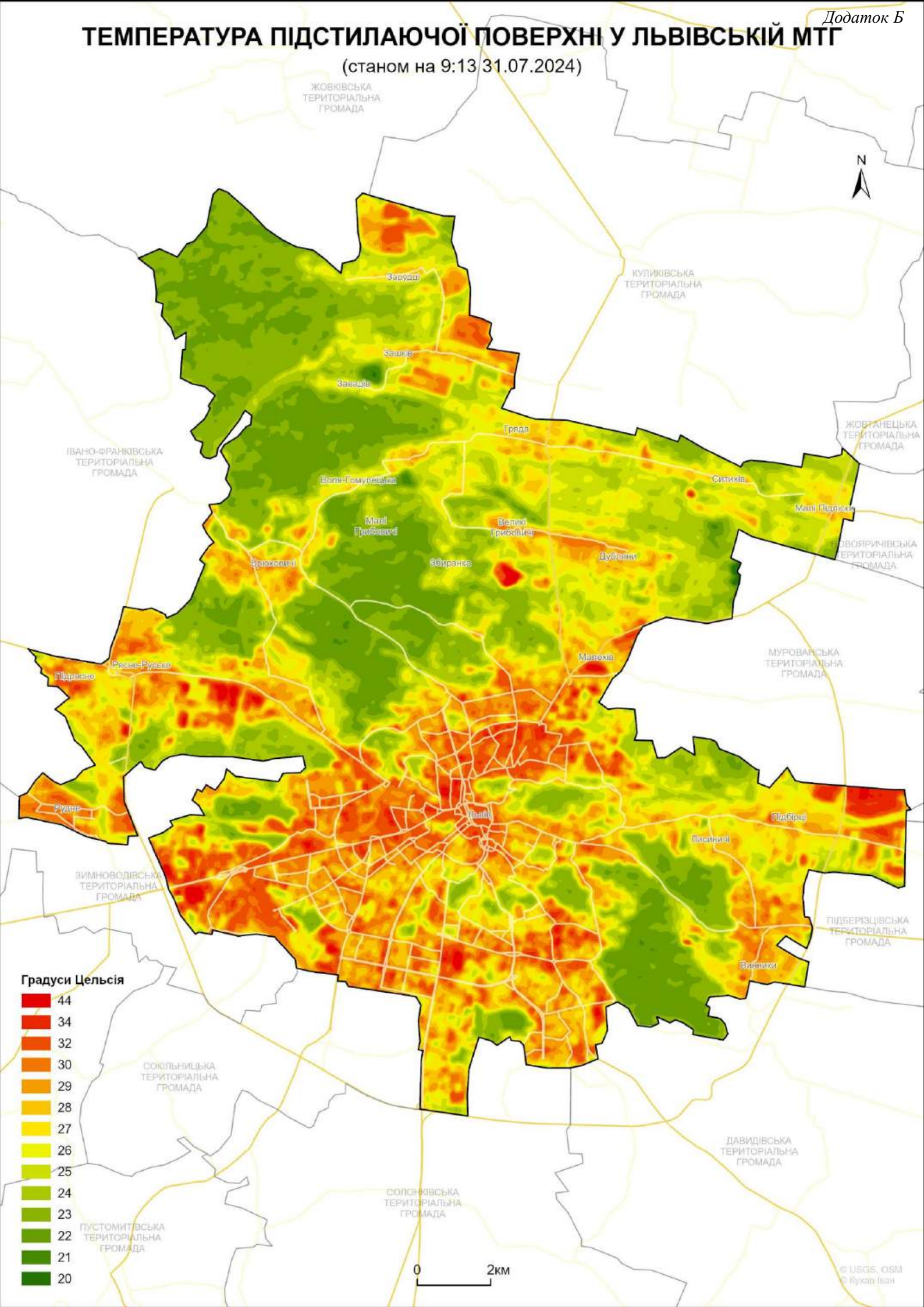
# ТЕМПЕРАТУРА ПІДСТИЛАЮЧОЇ ПОВЕРХНІ У ЛЬВІВСЬКІЙ МТГ

(станом на 9:13 21.06.2024)



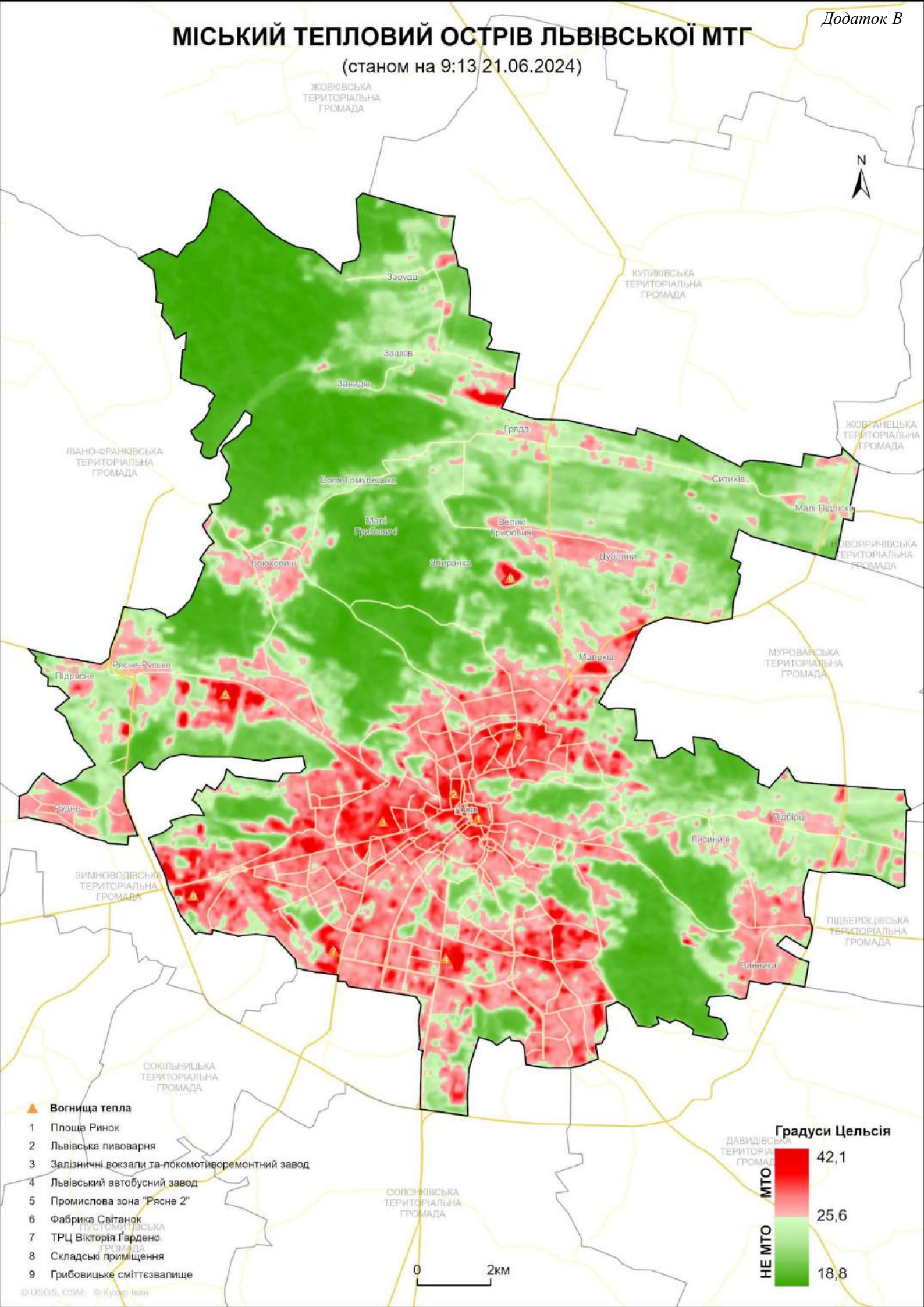
# ТЕМПЕРАТУРА ПІДСТИЛАЮЧОЇ ПОВЕРХНІ У ЛЬВІВСЬКІЙ МТГ

(станом на 9:13 31.07.2024)



# МІСЬКИЙ ТЕПЛОВИЙ ОСТРІВ ЛЬВІВСЬКОЇ МТГ

(станом на 9:13 21.06.2024)



ЖОВКІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

КУЛІКІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

ЖОВТІВЕЦЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

НОВОЯРИЧІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

МУРОВАНСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

ЗИМНОВОДІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

ПІДБЕРІЗЦІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

СОКЛІНИЦЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

СОЛОНІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА



- ▲ **Вогнища тепла**
- 1 Площа Ринок
- 2 Львівська пивоварня
- 3 Залізничні вокзали та локомотиворемонтний завод
- 4 Львівський автобусний завод
- 5 Промислова зона "Рясне 2"
- 6 Фабрика Світанок
- 7 ТРЦ Вікторія Гарденс
- 8 Складські приміщення
- 9 Грибовицьке сміттєзвалище



# МІСЬКИЙ ТЕПЛОВИЙ ОСТРІВ ЛЬВІВСЬКОЇ МТГ

(станом на 9:13 31.07.2024)

ЖОВКІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

КУЛІКІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА



ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

ЖОВТЕНЕЦЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

НОВОЯРИЧІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

МУРОВАНСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

ЗИМНОВОДІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

ПІДБЕРІЗЦІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

СОКЛІНИЦЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

СОЛОНКІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

ДАВІДІВСЬКА  
ТЕРИТОРІАЛЬНА  
ГРОМАДА

Градуси Цельсія



- ▲ Вогнища тепла
- 1 Площа Ринок
- 2 Львівська пивоварня
- 3 Залізничні вокзали та локомотиворемонтний завод
- 4 Львівський автобусний завод
- 5 Промислова зона "Рясне 2"
- 6 Фабрика Світанок
- 7 ТРЦ Вікторія Гарденс
- 8 Складські приміщення
- 9 Грибовицьке сміттєзвалище

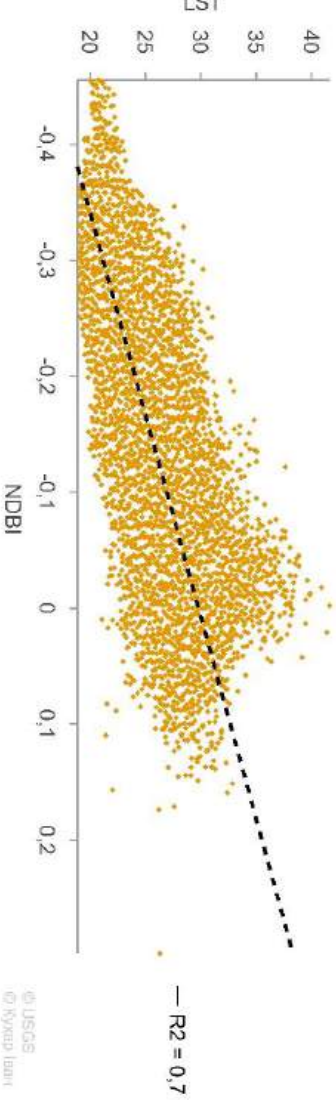
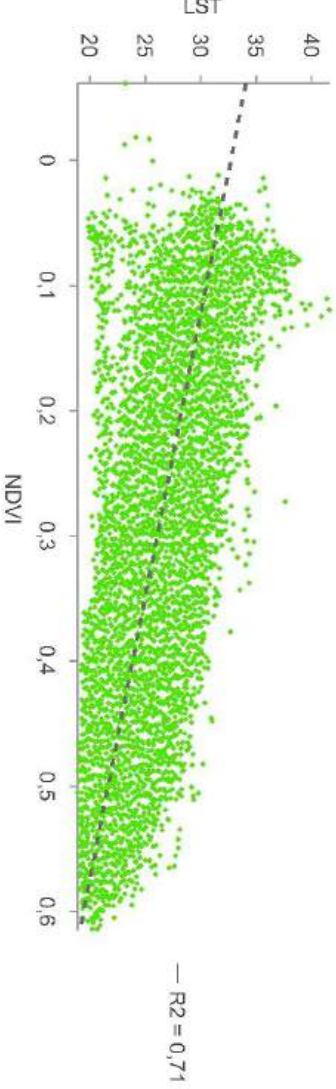
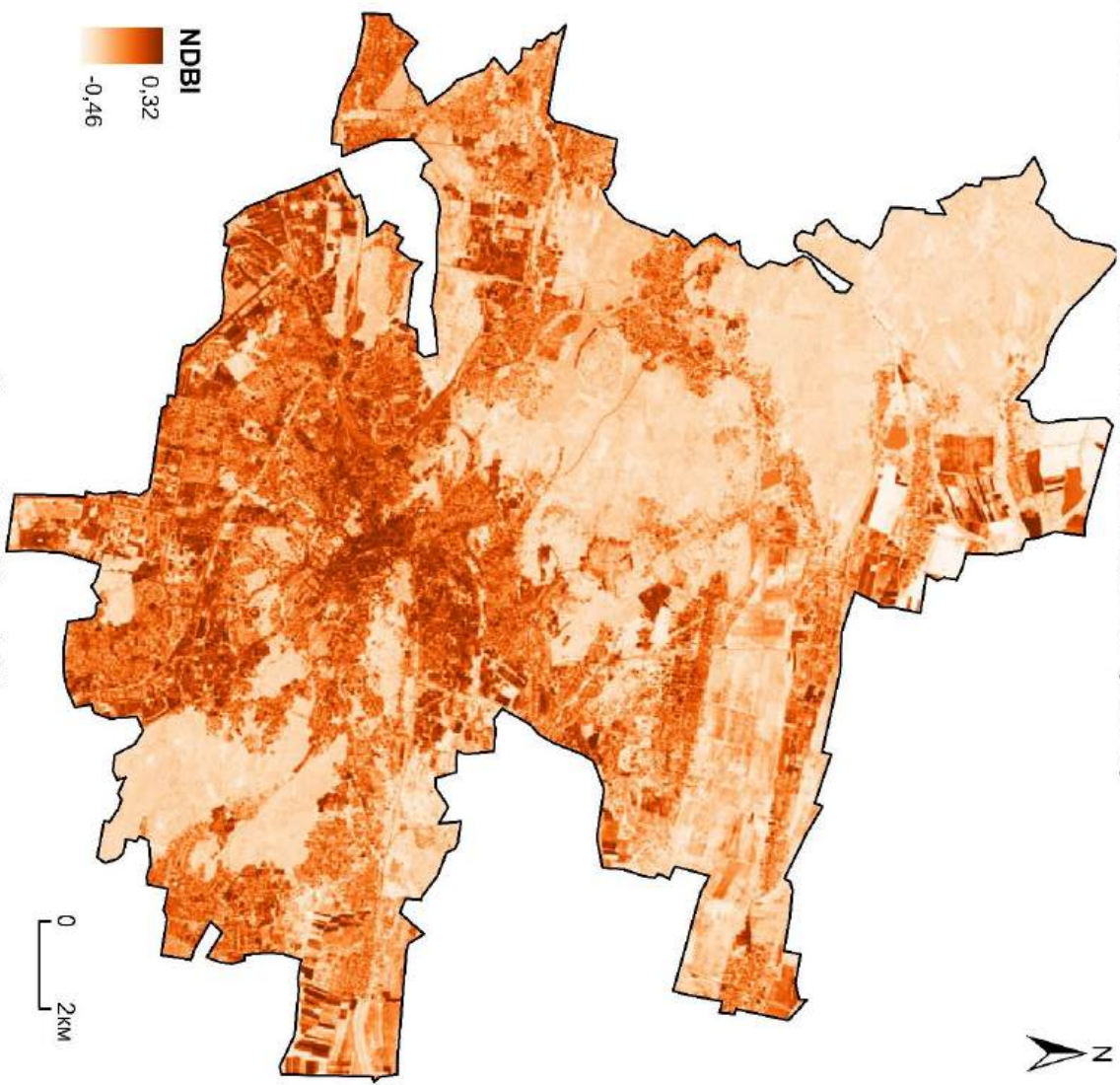
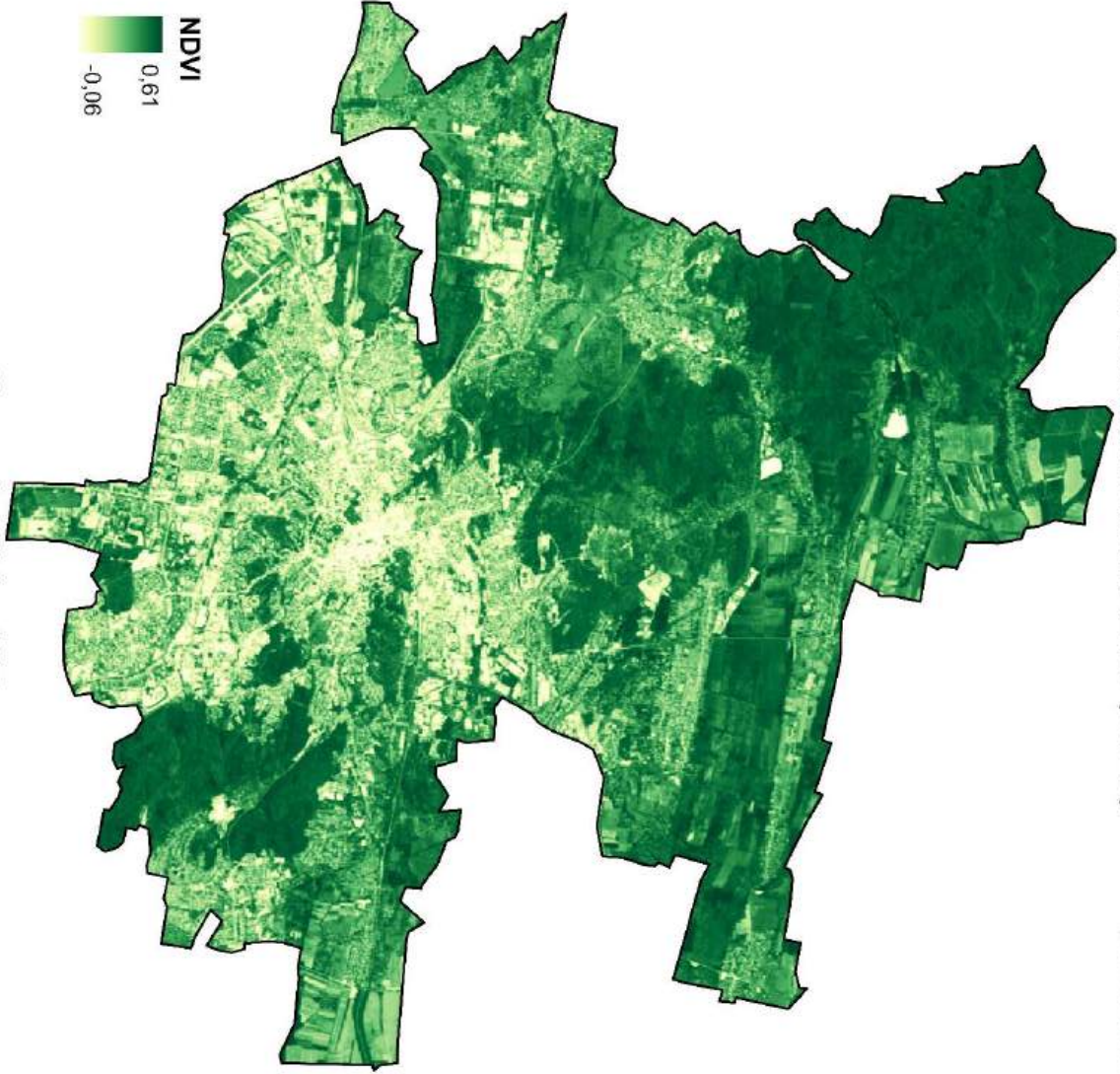
0 2км

# ВЕГЕТАЦІЙНИЙ ІНДЕКС (NDVI)

(дані станом на 21.06.2024)

# ІНДЕКС ЗАБУДОВИ (NDBI)

Додаток Г

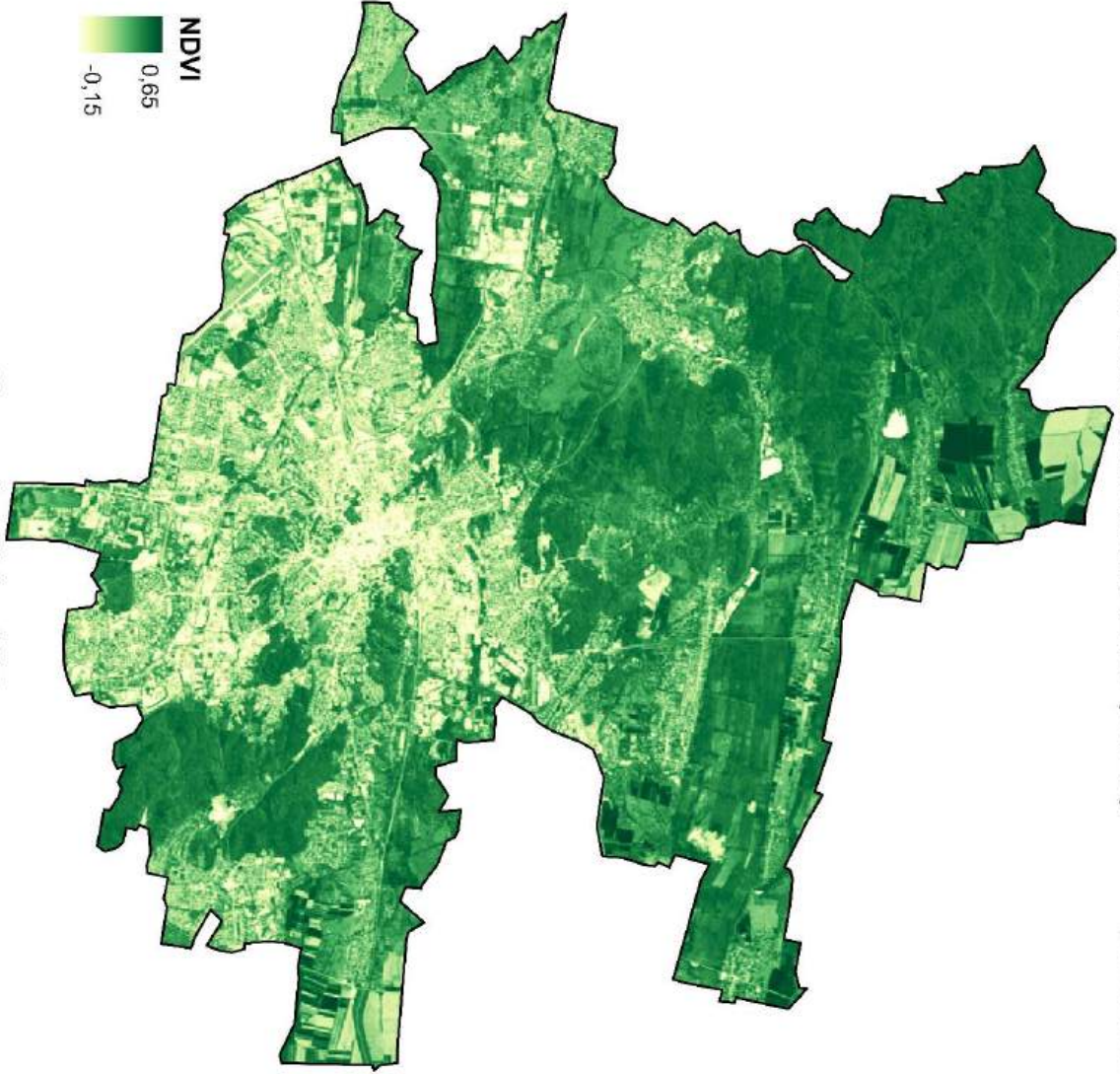


# ВЕГЕТАЦІЙНИЙ ІНДЕКС (NDVI)

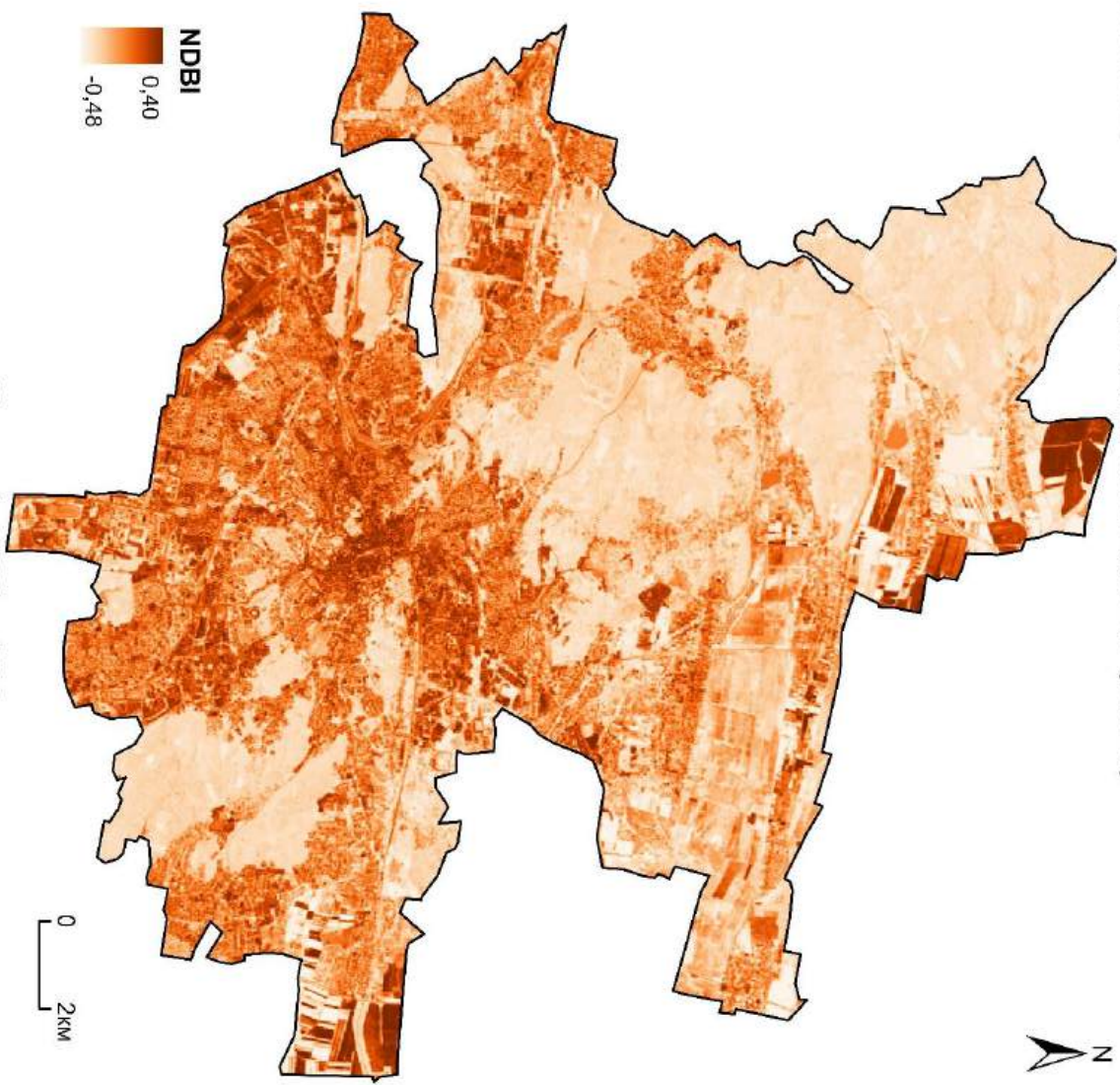
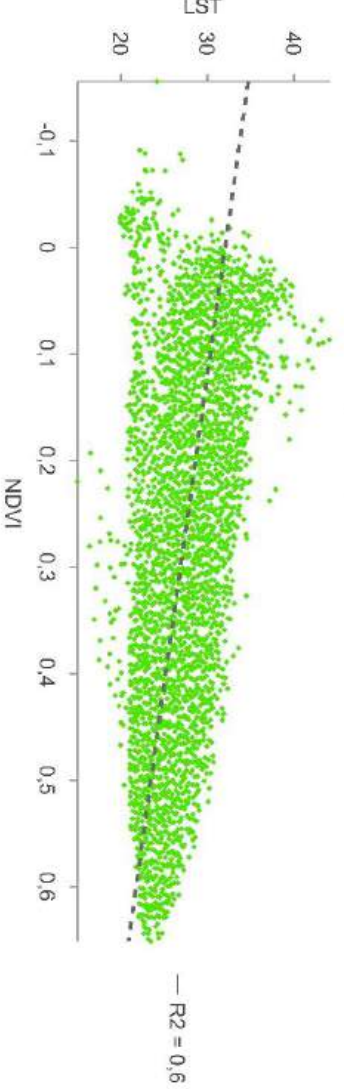
(дані станом на 31.07.2024)

# ІНДЕКС ЗАБУДОВИ (NDBI)

Додаток Д



Кореляція NDVI та LST



Кореляція NDBI та LST

