

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА  
ШЕВЧЕНКА  
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ФІЗИЧНОЇ ГЕОГРАФІЇ ТА ГЕОЕКОЛОГІЇ**

На правах рукопису  
УДК: 502.175

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФЕНОМЕНА МІСЬКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА ЗА  
ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ (НА ПРИКЛАДІ М.  
КИЄВА)**

Галузь знань: **10 – Природничі науки**

Спеціальність: **106 – Географія**

Освітня програма: **«Природнича географія»**

Кваліфікаційна робота магістра  
студентки 2 курсу  
освітнього рівня магістр  
Бричнік Вероніки Русланівни

Науковий керівник:  
доцент кафедри фізичної  
географії та геоекології,  
кандидат географічних наук  
Корогода Наталія Петрівна

**КИЇВ – 2021**

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	3
<b>РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСТРОВА ТЕПЛА</b>	5
1.1. Характеристика феномену острова тепла	5
1.2. Методологічні основи дослідження острова тепла	7
1.3. Аерокосмічні дослідження острова тепла	10
<b>РОЗДІЛ 2. ПОШИРЕННЯ ЕФЕКТУ ОСТРОВА ТЕПЛА У СВІТІ ТА В УКРАЇНІ</b>	14
2.1. Поширення ефекту острова тепла у світі	14
2.2. Формування ефекту острова тепла у найбільших містах України	17
<b>РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ ОСТРОВА ТЕПЛА ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ МІСТА КИЇВ</b>	23
3.1. Аналіз просторово-часових рядів даних супутникової зйомки у тепловому діапазоні в період з 1992 року по 2018 рік для міста Києва	23
3.2. Характеристика території міста Києва за ступенем теплового навантаження	32
<b>РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗЕЛЕНИХ ЗОН КИЄВА НА ЗМЕНШЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ПРОЯВУ ЕФЕКТУ ОСТРОВА ТЕПЛА</b>	38
4.1. Дослідження впливу зелених зон на зміну температури повітря в районах м. Києва	38
4.2. Аналіз впливу зелених зон на зміну температури повітря	43
4.3. Аналіз перепаду температури повітря в межах острова тепла	50
<b>ВИСНОВКИ</b>	55
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	60

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Одним з аспектів формування якості довкілля у великому місті наразі є прояви ефекту острова тепла (ОТ) - локального метеорологічного феномену різниці температур між центром міста та його периферією, який являє собою одну з найбільш значних змін клімату міста, викликаних людиною. Прояви ОТ дедалі більше впливають на еколого-економічні обставини проживання людей у містах, передусім погіршуючи умови проживання населення, через те, що збільшення температури знижує термічний комфорт та створює потенційний ризик для розвитку серцево-судинних захворювань. Крім того формування ОТ у містах створює додаткові економічні втрати через збільшення витратків на кондиціонування повітря, зниження продуктивності праці, погіршення якості міської інфраструктури тощо.

Чинні тенденції визначають об'єктивну необхідність у дослідженні виникнення ефекту острова тепла як виду фізичного антропогенного забруднення атмосфери шляхом аналізу як просторово-часових змін температури поверхні міського середовища за останні десятиліття, так і механізмів підвищення температури міського середовища, а також способів зниження негативних наслідків ефекту острова тепла на навколишнє природне середовище та його компоненти.

Отже, головною **метою** даної роботи є аналіз закономірностей просторово-часових змін проявів ефекту острова тепла в межах м. Києва, заснований на виявленні вихідного довгохвильового випромінювання міста, зареєстрованого тепловою космічною зйомкою, та дослідження впливу зелених зон міста на зменшення інтенсивності ОТ.

Для досягнення мети були поставлені наступні **завдання**:

- висвітлити теоретико-методологічні основи дослідження острова тепла;
- дослідити поширення ефекту острова тепла у світі;
- встановити закономірності поширення та дослідити особливості формування феномену острова тепла на території міст України;

- побудувати та проаналізувати просторово-часові ряди даних супутникової зйомки у тепловому діапазоні в період з 1992 року по 2018 рік для міста Києва;
- охарактеризувати території міста Києва за ступенем теплового навантаження;
- визначити вплив зелених зон на зміну температури повітря в районах м. Києва;
- виявити закономірності перепаду температур в межах острова тепла.

**Об'єктом** дослідження виступає ефект острова тепла, а **предметом** – причини виникнення острова тепла та вплив зелених зон на зменшення інтенсивності прояву ОТ.

Основними **методами** дослідження є: описовий, історичний, аерокосмічний, картографічний, аналіз і синтез, географічний аналіз, а також методи порівняння і узагальнення.

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСТРОВА ТЕПЛА

### 1.1. Характеристика феномену острова тепла

У наш час близько 55% населення світу проживають у містах [40]. За підрахунками ООН цей показник зросте майже до 66% до 2050 року [44]. Швидке зростання міст призводять до великої кількості проблем, однією з яких є ефект міського острова тепла (Urban Heat Island).

*Острів тепла (ОТ)* – це локальний метеорологічний феномен різниці температур між центром міста та його периферією, який являє собою одну з найбільш значних змін клімату міста, викликаних людиною [21]. Даний феномен був відкритий англійським вченим Люком Говардом ще на початку ХІХ століття, але систематичні його дослідження почалися лише у другій половині ХХ століття [3].

Феномен ОТ утворюється при сукупній взаємодії декількох факторів, що викликають приріст рівня теплової радіації, зміну показників вологості, інтенсивності циркуляції повітря та збільшення теплоємності середовища міста, які в підсумку призводять до утворення такої температурної аномалії [39]. До цих факторів відносяться:

1. *Щільність забудови та висота будівель.* Чим більша впорядкованість і щільність забудови, тим вище температура в місті в порівнянні з навколишньою, приміською місцевістю. Результати досліджень [39] показали, що міста з упорядкованою сіткоподібною структурою утримують більше тепла, ніж ті, в яких будинки розташовані більш хаотично або на значній відстані. Це пов'язано з тим, що будинки, які розташовані навпроти, виділяють та водночас поглинають тепло один одного, створюючи замкнену схему теплопередачі, а також заважають природній циркуляції повітря. Разом ці фактори провокують затримку тепла, яке за нормальних умов повинно розсіюватися.

2. *Переважаання штучних матеріалів у містобудуванні.* В містах домінуючими матеріалами є асфальт та бетон, що мають велику теплоємність та теплопровідність, в наслідок чого поглинають більше короткохвильової сонячної радіації, тому можуть сильно нагріватися та довгий час зберігати тепло [38]. Крім того, перекриття ґрунтів бетонним та асфальтовим покриттям призводить до порушення природного випаровування і вологообміну. В наслідок чого, сонячна енергія не витрачається на випаровування роси, процес гутації у рослин тощо, а поглинається будинками та асфальтом [17].

3. *Незначний відсоток зелених насаджень в містах.* Древа є головними поглиначами вуглекислого газу, який у великих концентраціях пригнічує активність людини та є парниковим газом (затримує тепло в повітрі). Крім того, випаровуючи воду, рослини охолоджують навколишній простір, тому над парковими зонами повітря прогрівається помітно менше, ніж над штучно забудованими територіями [1].

4. *Забруднення повітряного басейну.* Висока концентрація аерозолів в атмосфері над великими транспортними розв'язками, вулицями з інтенсивним рухом та промисловими об'єктами призводить до зниження ефективного випромінювання та нічного вихолодження міста [17]. В сукупності усі вищеперераховані фактори призводять до погіршення екологічної ситуації та формування острова тепла.

Зазвичай, температурна різниця між центром міста й передмістями становить 1–5°C і залежить від розмірів та інфраструктури міста. Ввечері, різниця температур є максимальною і може сягати 10-12°C [17]. Це пов'язано з тим, що у денний час асфальт, поверхневі води та забудована територія нагріваються, а вночі віддають тепло у навколишнє середовище [29].

Наслідками прояву феномену ОТ є:

- зниження термічного комфорту, тепловий стрес;
- погіршення якості води;
- загроза здоров'ю міських жителів (виникає потенційний ризик для розвитку серйозних серцево-судинних та респіраторних захворювань);

- зниження працездатності (згідно з дослідженням Р. Х'юстона [24], тепловий стрес може знизити продуктивність праці в містах в середньому на 25% до 2030 року, обмежуючи здатність людини до активності);
- погіршення стану інфраструктури міста (руйнування дорожнього покриття, корозія металів, погіршення якості пам'яток культури);
- приріст витрат енергії системами клімат-контролю та збільшення викидів забруднюючих речовин в атмосферу (використання кондиціонеру призводить до викидів гідрофторвуглеців, які утримують в тисячі разів більше тепла в атмосфері, ніж вуглекислий газ) [7, 41].

Проблема формування ОТ у містах є прогресуючою. Цей феномен не тільки ускладнює проживання людей у містах і шкодить здоров'ю жителів, а також й призводить до погіршення якості інфраструктури. В цьому випадку вкрай важливим є підбір правильної методології дослідження даного феномену, що допоможе локалізувати проблему та виявити територіальні особливості його розвитку.

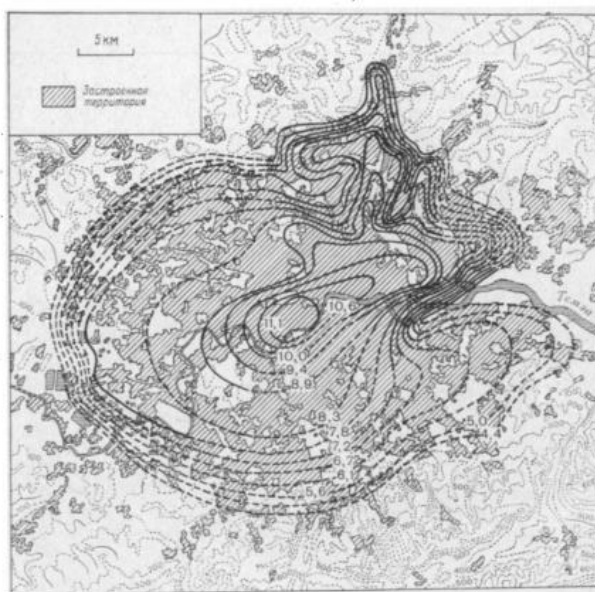
## 1.2. Методологічні основи дослідження острова тепла

Ефект утворення міського острова тепла вперше був описаний у 1818 році британським метеорологом, фармацевтом та хіміком Люком Говардом у його праці «Клімат Лондону» [25]. Вплив міста на власний клімат був виявлений вченим, коли він порівнював температурні показники околиць Лондона з тими, які були зроблені в Сомерсет-Хаус (центр Лондона). Він зробив висновок, що *«температура міста не повинна розглядатися як клімат; це надмірна частина штучного тепла, викликана власною структурою міста, яке переповнене людьми, та викидами великої кількості продуктів згорання палива»* [25].

Аналіз Говарда базувався на даних про температуру, зібраних з трьох різних місць за межами Лондона та з одного місця в центрі Лондона. Ефект ОТ розглядався ним як різниця температур між «міськими» та «сільськими»

територіями. На жаль, його спостереження та розрахунки не можна вважати достовірними, оскільки розміщення його термометрів було далеким від признаних стандартів, але не зважаючи на ці умови, Говарду вдалось виявити, що температура на околицях Лондона відрізняється від центру міста на  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Після цього він продовжував досліджувати клімат, однак питанню міського острова тепла більше не приділялось значної уваги [25].

Найпершим вченим, що створив картографічну схему ефекту острова тепла став Т. Чандлер (рис. 1.1). Він досліджував температурні показники Лондона та його околиць і для цього використав метод поєднання ізоліній однакових температур [21].



**Рис. 1.1. Острів тепла у Лондоні 14 травня 1959 року, зображений за допомогою ізоліній мінімальної температури. За Чандлером [21]**

Великий вклад у дослідження ефекту острова тепла зробив американський кліматолог Гельмут Лансберг, випустивши у 1981 році свою книгу під назвою «Клімат міста», в якій ефекту ОТ присвятив окремий розділ [12]. Безпосередні дослідження Лансберга почалися ще за 10 років до видання його книги. У своїй роботі він посилався на дослідження Говарда й удосконалив їх, використовуючи власний підхід. Так, Лансбергом було досліджено, що ефект острова тепла найбільш чітко виявляється в містах зі стійкими антициклонними типами погоди, в той час як хмарність та сильний вітер можуть розвіювати цей ефект.

Для дослідження ОТ Лансберг також використав метод поєднання ізоліній, однак на відміну від Чандлера, він використовував вже обраховані показники різниці температур. Так він зміг визначити епіцентр острова тепла у місті Меріленд (Колумбія, 1974 р.) та виявити різницю температур в 7 °С між містом і його околицями. Варто зазначити, що розвиток ОТ Лансберг пов'язував з ростом чисельності населення [12].

До кінця ХХ ст. наукові дослідження зміни клімату поступово розширились, включивши в себе багато нових дисциплін, що значно поліпшило розуміння причинно-наслідкових зв'язків та збільшило методологічну базу. Це вплинуло і на розвиток досліджень острова тепла, а саме заклало початок комп'ютеризації цих досліджень [20].

Подальший розвиток науки та техніки все більше глобалізував ГІС-технології, що вперше реально запрацювали у Канаді. Поступово ГІС укоренилися і в області вивчення островів тепла та нині є основним методом дослідження цього феномену. У більшості робіт основним джерелом інформації є дані космічного знімання у тепловому інфрачервоному діапазоні.

В Україні дослідженнями формування островів тепла почали займатися з 90-х років. На сьогодні провідною установою, що проводить дослідження феномену ОТ є Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України. Співробітниками центру була розроблена спеціальна методика, що базується на використанні супутникових знімків серії Landsat [16].

### **1.3. Аерокосмічні дослідження острова тепла**

На сьогодні важливими матеріалами для вивчення просторових особливостей міського острова тепла стали зображення Землі в тепловому інфрачервоному діапазоні (теплові знімки). На теплових знімках зображується інтенсивність теплового випромінювання, дані про просторовий розподіл якого вкрай складно отримати іншим чином. Використання теплових інфрачервоних

зображень дозволяє спостерігати об'єкти земної поверхні за відсутності сонячного світла, що дає можливість вивчення внутрішньодобової динаміки теплового випромінювання. Використання різносезонних теплових знімків відкриває шлях до вивчення сезонної динаміки теплового випромінювання, наявність великих архівів теплових знімків дозволяє аналізувати багаторічну динаміку, а знімки різного просторового розрізнення та охоплення дають змогу вивчати теплове випромінювання на різних масштабних рівнях [5].

Особливості внутрішньодобової, сезонної та багаторічної динаміки острова тепла є одними з найскладніших сторін цього явища. Вивчення просторово-часової динаміки ОТ в місті дозволяє визначити причини виникнення цього явища, його вплив на міські об'єкти, а також механізми, що дозволяють звести цей вплив до мінімуму. ОТ впевнено дешифруються на теплових знімках, де їх чітко можна помітити як зони підвищеної яскравості [4].

Дані теплової інфрачервоної зйомки застосовуються в географічних дослідженнях просторових особливостей островів тепла міст різного просторового охоплення. Масштаб просторового охоплення дослідження в цілому визначає просторову роздільну здатність знімка. Так, знімки низької просторової роздільної здатності (близько 1 км), такі як NOAA/AVHRR і Terra/MODIS, використовуються в дослідженнях широкого просторового охоплення, що дають можливість вивчати не тільки ОТ, а і його вплив на околиці, дозволяють оцінити загальну потужність такого явища [5].

Інший підхід являє собою використання в дослідженні просторових особливостей острова тепла знімків вищої просторової роздільної здатності, таких як ASTER, TM і ETM +, Landsat. Такі знімки дозволяють виявити внутрішню просторову структуру ОТ, простежити розвиток у часі та просторі локальних теплових аномалій, оцінити тепловий вплив різних міських об'єктів один на одного. При вивченні просторових особливостей ОТ відомі приклади [41] комплексування даних теплового діапазону високої та низької роздільної здатності, отриманих з різних супутників (MODIS, ASTER, Landsat) [4].

З лютого 2011 року розпочав зйомку новий космічний апарат Landsat-8, на якому встановлена апаратура TIRS, що проводить зйомку в двох ділянках теплового інфрачервоного діапазону з просторовою роздільною здатністю 100 м, яка дозволяє розшифрувати внутрішню структуру поверхневого ОТ з точністю до міських кварталів. Використовуючи різночасові теплові знімки, ми можемо отримати інформацію про просторово-часову динаміку поверхневого ОТ. За допомогою наземних метеорологічних спостережень можна фіксувати інтенсивність і внутрішню структуру самого ОТ. Зіставлення метеорологічних даних і супутникових знімків дозволяє отримати детальні дані про міський острів тепла [4].

В Україні при дослідженні теплових островів, в більшості випадків, використовують матеріали космічної зйомки супутників серії Landsat. Методика досліджень базується на розробленій в Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України технології розрахунку приповерхневої температури за даними теплового діапазону (10.4-11.5 мкм) КЗ серії Landsat з оцінкою коефіцієнта теплового випромінювання по нормалізованому вегетаційному індексу (NDVI) [16].

У 2016 році співробітниками американської компанії EOS Data Analytics з офісом в Україні, яка спеціалізується на аналізі та обробці великих об'ємів ГІС-даних, був створений інструмент Land Viewer. Цей інструмент оперує великою кількістю даних, що зібрані за допомогою двох супутників: американського Landsat 8 і європейського Sentinel 2A. За допомогою цього інструменту можна для будь-якої обраної ділянки завантажити супутниковий знімок та, шляхом накладання на нього різної комбінації теплових каналів, отримати потрібну інформацію, що зробило дослідження ОТ доступнішими [28].

Для з'ясування розподілу температур навколо окремих об'єктів, таких як будинки, дерева або клумби, що є важливим для дослідження феномену ОТ, також часто проводиться зйомка компактним тепловізором за допомогою мультироторного безпілотного літального апарата (БПЛА). Зйомка проводиться з висоти 100 м, що дозволяє отримати теплові карти з просторовим розділенням в

декілька сантиметрів. БПЛА також може бути обладнаний звичайною камерою, що дозволяє порівнювати теплові карти з візуальними [9].

Отже, ефект міського острова тепла – це локальний метеорологічний феномен різниці температур між центром міста та його периферією, який являє собою одну з найбільш значних змін клімату міста, викликаних людиною. Вперше ефект острова тепла був досліджений Люком Говардом у 1818 році, а активне дослідження ефекту по всьому світу почалось з 90-х років ХХ ст., що було пов'язано з розвитком геоінформаційних технологій.

Найпоширенішими чинниками, які спричинюють виникнення ОТ є щільна та висока забудова, переважаання штучних матеріалів у містобудуванні, відсутність зелених насаджень та забруднення повітряного басейну над містом. Цей феномен викликає тепловий стрес, негативно впливає на здоров'я людей, якість споруд, доріг, призводить до збільшення рівня споживання енергії.

Важливим є проведення своєчасних досліджень островів тепла з глибоким аналізом факторів, які провокують утворення даного феномену в місті, що допоможе локалізувати проблему та обрати способи її вирішення. Сучасна методологічна база досліджень ОТ є широкою і дозволяє оперувати різними інструментами та техніками, однак на разі найефективнішим способом виявлення та дослідження ОТ стали зображення Землі в тепловому інфрачервоному діапазоні (теплові знімки).

## РОЗДІЛ 2. ПОШИРЕННЯ ЕФЕКТУ ОСТРОВА ТЕПЛА У СВІТІ ТА В УКРАЇНІ

### 2.1. Поширення ефекту острова тепла у світі

Розвиток та вдосконалення наявної методології, а також виникнення нових методів дослідження ефекту острова тепла, дозволили розширити інформаційну базу щодо даного феномену. Вчені з усього світу вивчають сутність прояву островів тепла не тільки на глобальному, а й на регіональному і локальному рівнях. З кожним роком кількість наукових публікацій, присвячених цій темі, зростає, що дозволяє відстежувати та виявляти чинну тенденцію розвитку даного метеорологічного ефекту у світі.

Зокрема, було з'ясовано, що ефект ОТ не має чіткого географічного поширення, він не обмежується лише середніми широтами чи великими містами. Наприклад, у м. Барроу, штат Аляска, спостерігається ОТ з перевищенням температур на  $2^{\circ}\text{C}$ , що здійснює незначний, проте постійний вплив на багаторічну мерзлоту міста [20]. Міста середнього розміру, такі як Колумбія, штат Міссурі [20], або Даллас, штат Техас [30], також мають прояви ефекту ОТ, що збільшують температуру цих міст в середньому на  $1-2^{\circ}\text{C}$ , в порівнянні з передмістями. Хоча ці відмінності в температурах є порівняно незначними, проте зміна температури навіть на один градус може означати різницю між дощем та снігом.

У 2014 році було проведено дослідження проявів ефекту міського острова тепла для 60 міст США [26], яке показало, що в 57 із 60 досліджених міст спостерігається відчутне посилення ефекту ОТ за останні 10 років. Найбільш інтенсивні прояви ОТ були зафіксовані у наступних містах: Лас-Вегас ( $4^{\circ}\text{C}$ ), Альбукерке ( $3,2^{\circ}\text{C}$ ), Денвер ( $2,7^{\circ}\text{C}$ ), Портленд ( $2,6^{\circ}\text{C}$ ), Канзас-Сіті ( $2,5^{\circ}\text{C}$ ), Колумбус ( $2,4^{\circ}\text{C}$ ).

Загалом, вчені прийшли до спільної думки, що поштовхом для виникнення островів тепла у містах по всьому світу стали швидкі теми урбанізації та глобальне потепління. Однак, на особливості, конфігурацію, умови виникнення та

подальшого розвитку ОТ впливають саме локальні чинники, які можуть бути виявлені лише при аналізі внутрішнього середовища міста. Це, в першу чергу, стосується показника концентрації промислових підприємств, міського трафіку, форми забудови, кількості зелених зон, топографії тощо. Разом ці фактори створюють унікальні умови для виникнення та розвитку ефекту острова тепла, який в кожному місті матиме свої особливості [26].

Так, острів спеки у Нью-Йорку має нетипову конфігурацію, оскільки місто розділено на декілька частин річкою Іст-Рівер, тому для кожного округу та району Нью-Йорка є характерними різні умови для формування острова тепла. Наприклад, в центрі Манхеттена знаходиться великий Центральний парк, який охолоджує навколишній простір і сильно зміщує епіцентр спеки в сторону. Зовсім інша ситуація у Брукліні, де острів тепла має найінтенсивніший прояв, оскільки цей округ має найбільшу кількість населення та найвищу щільність забудови. Навпаки найслабший прояв ефекту фіксується у Стейтен-Айленді, для якого характерним є відносно невисокі показники температур та особливий мікроклімат, оскільки він найбільш віддалений від інших округів Нью-Йорка та оточений річкою з усіх сторін [42].

Міста по всій Європі також потерпають від проявів даного феномену. Ефект ОТ був зафіксований у Барселоні [31], де він проявляється у вигляді концентричних кіл через нетипову протяжну паралельну забудову кварталів, а також піддається впливу бризів з Середземного моря (значення ОТ 2-7°C); в Москві [2], де в традиційних межах МКАД острів тепла набуває форму еліпса (значення ОТ 2-5°C); в Лондоні [27], де на його формування впливає щільна забудова центральних районів, високий трафік, значне забруднення повітря, а також особлива циркуляція вітрів (значення ОТ 4-8°C); та в багатьох інших містах по всій Європі. Загалом, дослідження [32] показали, що для європейських міст перепад температур між центром та периферією в середньому становить 2-6°C.

У 2020 році було опубліковано дослідження «Аналіз теплових хвиль та ефекту острова тепла у містах Центральної Європи та їх вплив на міське планування» [19]. Дана робота підтвердила важливість впливу локальних

чинників на виникнення ефекту острова тепла. Так, наприклад, значний вплив на ОТ в Загребі справляють топографія і морфологія міста. Висхідні і низхідні вітри, які утворюються на схилах прилеглої гори Медведніца в літній антициклонічний період, можуть впливати на термічне навантаження і якість повітря в міських районах. Це відбувається внаслідок того, що місцеві вітри впливають на теплову циркуляцію вниз по схилу гори, посилюючи висхідний рух повітря на південних схилах пагорбів, тим самим сприяючи виникнення додаткового тепла, яке розсіюється над містом і посилює значення ОТ [19].

Краків, як і більшість міст Центральної Європи, розвивався навколо історичного центру, а його інфраструктура зазнала інтенсивний просторовий розвиток у другій половині 20 століття. Тому осередок формування ОТ знаходяться в центрі міста, розширюючись вбік основних транспортних артерій і промислових зон. Впливають на прояви ОТ і водні ресурси Кракова – річка Вісла, що протікає через все місто, поглинаючи тепло та охолоджуючи навколишній простір, та озеро Закшувек, в долині якого формуються холодні вітри, що призводять до температурної інверсії, в наслідок якої вертикальна циркуляція повітря уповільнюється і всі продукти життєдіяльності міста не можуть піднятися у верхні шари атмосфери та розсіятися [19].

Прояв даного феномену також широко зустрічається в містах Азії. Особливо великої шкоди ефект острова тепла завдає для міст тропічного та екваторіального поясів, де температури є високими протягом року. Наприклад, в Сеулі острів тепла має особливий характер формування внаслідок декількох факторів. По-перше, через мусонний клімат літо у Сеулі є дуже жарким та вологим, через що люди гірше переносять спеку, а поверхні сильно нагріваються в наслідок високих температур. По-друге, через свою близькість до Жовтого моря Сеул знаходиться під сильним впливом морських бризів (особливо влітку), які зміцують та розширюють острів тепла. По-третє, Сеул розділений річкою Ханган на дві половини, тому у цьому місті формуються два великі острови спеки – північний та південний [8].

Схожа ситуація і в Сінгапурі, де на формування ОТ впливає його острівне положення та розташування в центрі міста великої лісопаркової зони з озерами «Central Water Catchment», що зміщує острів тепла на периферію міста, а саме – на північ, де знаходяться бізнес-центр та промислові зони. В свою чергу, вітри, що дмуть з Сінгапурського проливу, утримують тепло в межах міста і не дають йому вільно розсіюватись над морем [29].

Отже, проблема виникнення ефекту острова тепла нині фіксується у різних містах по всій планеті, не маючи певних закономірностей поширення, не обмежуючись лише середніми широтами чи великими містами. На його виникнення та конфігурацію у кожному місті впливають локальні фактори та територіальні умови. Однак, для будь-яких островів тепла спільним є те, що вони утворюються внаслідок нестачі охолоджувальних елементів природного походження в межах міста і завдають негативних наслідків здоров'ю населення, що робить це явище особливо небезпечним в умовах глобального потепління.

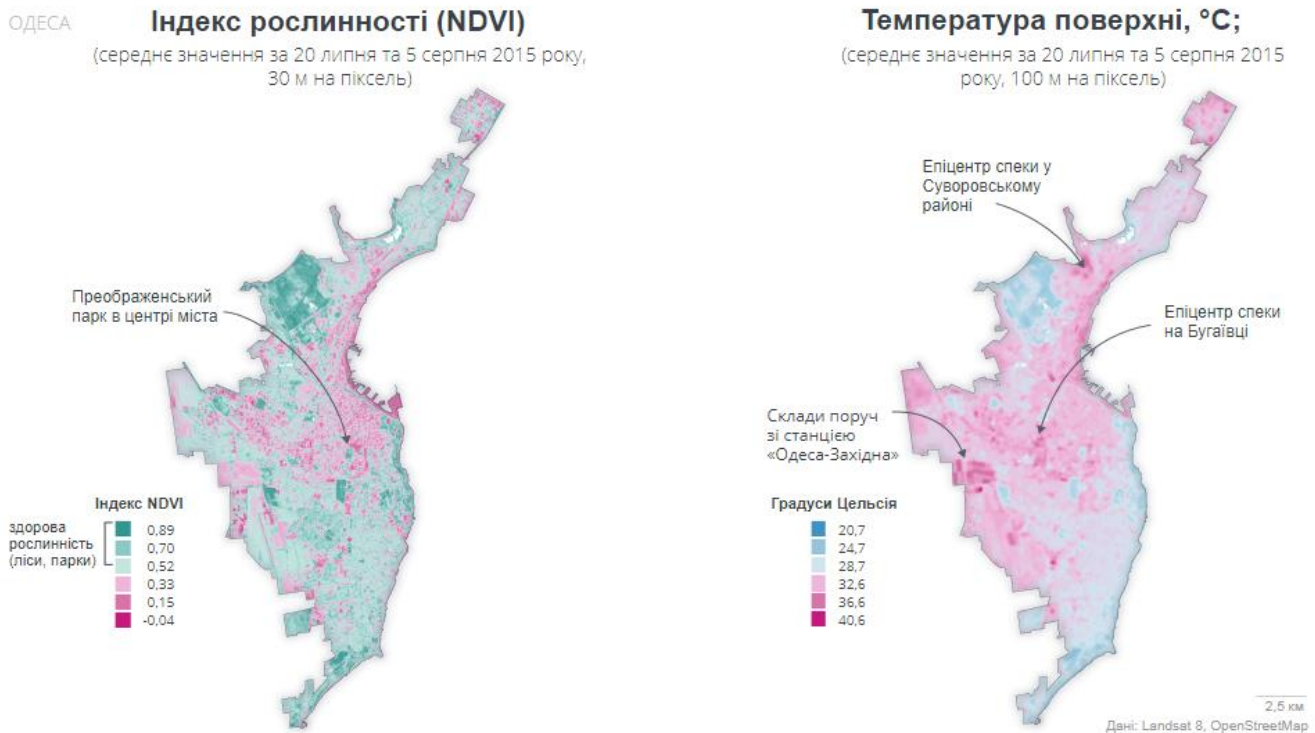
## **2.2. Формування ефекту острова тепла у найбільших містах України**

В Україні, як і у світі, цей феномен, тою чи іншою мірою, проявляється практично у всіх містах. Детальне дослідження «українських» островів тепла проводилось у липні 2016 року для Одеси, Дніпра, Львова, Харкова та Києва за допомогою оцінки температури поверхні та індексу рослинності (NDVI) [15].

Нормалізований відносний індекс рослинності (NDVI) – це кількісний показник активної (здатної до фотосинтезу) біомаси, використання якого в дослідженнях островів тепла дозволяє доволі точно визначити їх конфігурацію: чим меншим буде показник NDVI, тим більшим буде значення температури поверхні і, відповідно, острову тепла [18]. Для отримання цих даних було використано супутникові знімки Landsat 8 за 2015—2016 роки [15].

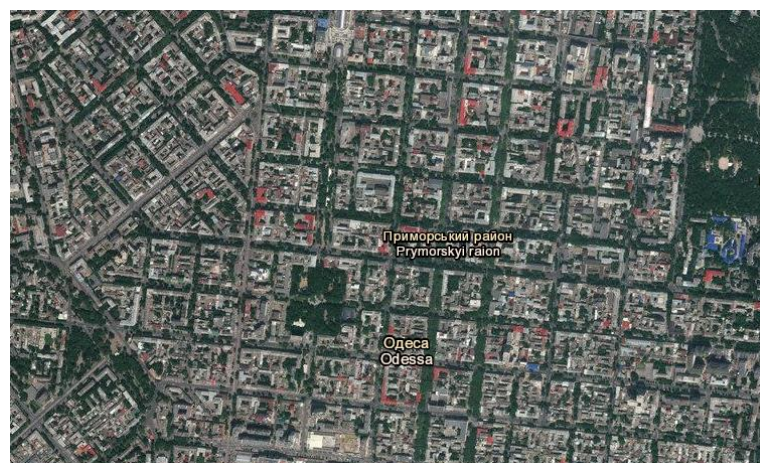
Одеса, в порівнянні з іншими містами, в межах яких проводились дослідження теплових островів, має найбільш виражену проблему сильного

нагрівання поверхні, оскільки, як видно з *рис. 2.1.*, більшість території міста знаходиться у червоному спектрі, що свідчить про температуру 36°C і вище.



**Рис. 2.1. Карта формування острова тепла у м. Одеса [15]**

Це, в першу чергу, пов'язано із порівняно жарким кліматом Одеси, що ускладнюється особливим типом периметральної замкнутої забудови, при якій будинки розташовуються один перед одним у формі замкнутого квадрата (*рис. 2.2*); наявністю значної кількості складів, промислових підприємств; повною відсутністю зелених зон у більшості кварталів.

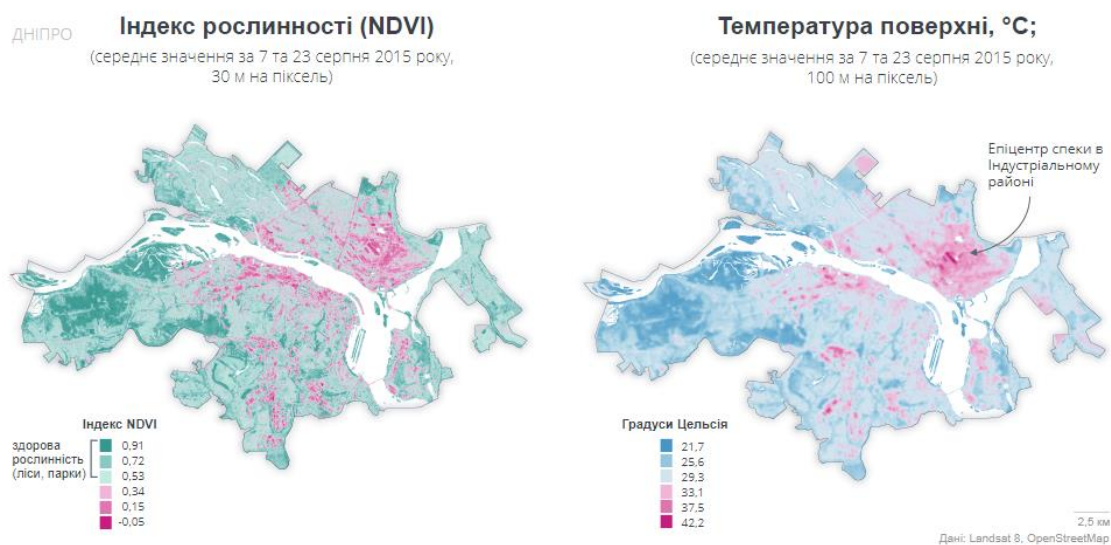


**Рис. 2.2. Вигляд типової забудови у центрі Одеси [на основі даних [28]]**

Відповідно, епіцентри спеки були зафіксовані у Бугаївці ( $36,6^{\circ}\text{C}$ ), поруч зі станцією «Одеса-Західна», де значення температури поверхні було найбільшим ( $40,6^{\circ}\text{C}$ ) та у Суворовському районі ( $36,6-40,6^{\circ}\text{C}$ ). Інтенсивний прояв ОТ в цих районах пояснюється нестачею зелених зон, перекриттям природних матеріалів (грунтів) штучним покриттям (асфальтом, бетоном) та зосередженням безлічі торгових, промислових, будівельних фірм, залізничних колій та складів на невеликій площі.

Таким чином, температура поверхні в серпні доходить до  $36-46^{\circ}\text{C}$  не тільки в центрі Одеси, а й на її околицях. Індекс NDVI в цих місцях становить менше ніж  $0,15$ . Різниця між парком у центрі міста та сусіднім забудованим районом може досягати  $10^{\circ}\text{C}$ . На північному заході міста формується мезокліматична зона з температурами поверхні  $24-28^{\circ}\text{C}$ , метеорологічний режим якої знаходиться в сильній залежності від прилеглої акваторії Чорного моря [13]. Різниця між поверхневими температурами даної зони і центральної частини міста може становити близько  $20^{\circ}\text{C}$ , що створює сильне теплове навантаження на всю екосистему міста.

Дещо інша ситуація спостерігається у Дніпрі (рис. 2.3). Там сформувався один потужний епіцентр спеки в Індустріальному районі, де температура поверхні в серпні може досягати  $42^{\circ}\text{C}$ , в той час, як у сусідньому Амур-Нижньодніпровському районі з житловою забудовою вона становить  $25-29^{\circ}\text{C}$ .



**Рис. 2.3. Карта формування острова тепла у м. Дніпро [15]**

Потужний острів тепла, що сформувався в Індустріальному районі спричинений виключно великою концентрацією промислових підприємств. В цьому районі діє трикотажна, обойна фабрики, трубопрокатний та силікатний заводи, Дніпротяжбудмаш тощо. Відповідно індекс NDVI досягає мінусових значень (-0,05).

На відміну від Одеси, житлові масиви Дніпра мають «хаотичний» спосіб забудови та високий показник озелененості – в більшості ЖК знаходяться парки і поруч з кожним будинком насаджені дерева, тому там спостерігаються відносно незначні перепади температур, що ще раз підкреслює роль зелених насаджень у зменшенні ефекту острова тепла. Також на зниження поверхневих температур впливає близькість р. Дніпро. На периферії індекс NDVI досягає 0,91, що є найбільшим показником серед інших досліджених міст. Температура в цих зонах в серпні становила лише 21-22°C.

У Харкові (рис. 2.4) ситуація є подібною до ситуації в Дніпрі та Одесі - тут також різниця температур між центром міста та периферією становить близько 20°C. Епіцентр ОТ на Гончарівці та Москалівці (37°C) пов'язаний з розташуванням в цій області двох заводів – заводу самохідних шасі та ХМЗ «Світ Шахтаря». Центр спеки на Балашівці (40,4°C) формується в наслідок діяльності промислового заводу ім. О. Малишева.

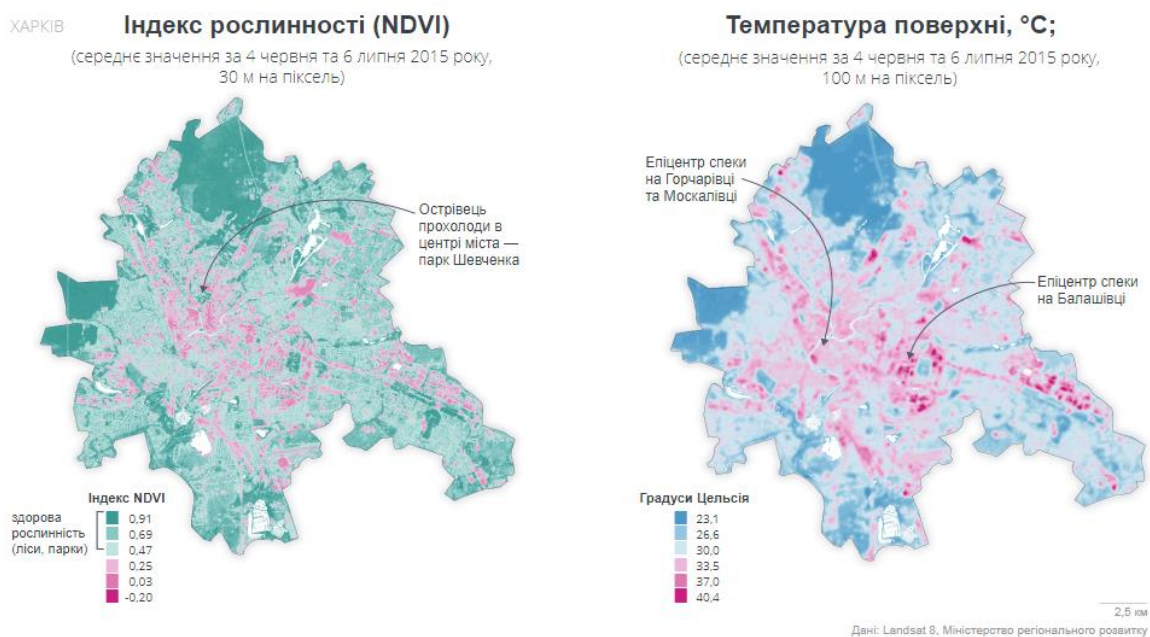
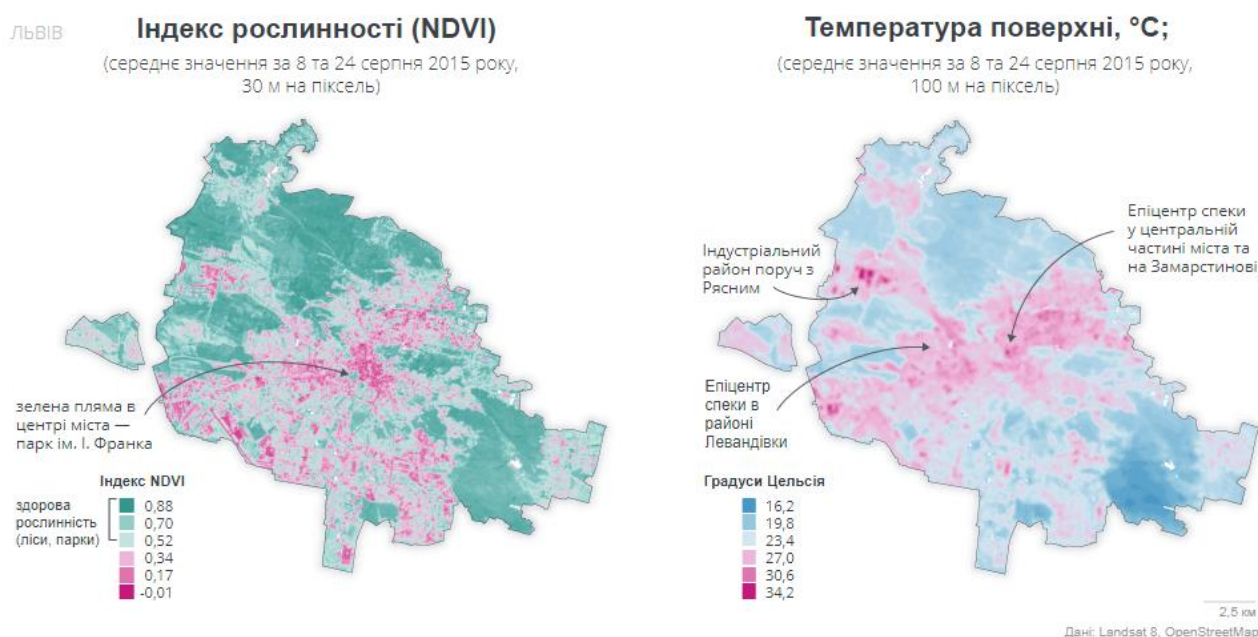


Рис. 2.4. Карта формування острова тепла у м. Харків [15]

У Львові (рис. 2.5) острів тепла має порівняно менший прояв, оскільки різниця між центром міста та його околицями становить приблизно  $15^{\circ}\text{C}$ , а в межах міста різниця досягає  $4\text{-}6^{\circ}\text{C}$ . Найбільш інтенсивний прояв зафіксований в Індустріальному районі, поруч з Рясним ( $34,2^{\circ}\text{C}$ ), що пояснюється високою концентрацією підприємств у цьому районі. Інші епіцентри, зі значенням температури поверхні  $30\text{-}34^{\circ}\text{C}$ , зафіксовані також над Львівською залізницею в районі Левандівки, Львівським аеропортом на заході, а також в центрі міста, де все покрито штучними матеріалами, і, відповідно, спостерігається низький показник NDVI ( $-0,01$ ).



**Рис. 2.5. Карта формування острова тепла у м. Львів [15]**

Варто відзначити, що епіцентр спеки, що знаходяться в Індустріальному районі поблизу Рясного, утворився на межі Львову, тобто за межами житлових зон та центру міста, тому це свідчить про те, що ефект острова тепла може формуватись не тільки в центрі, а й на периферії.

Отже, при аналізі теплових островів, що сформувались у найбільших містах України, виявляється чітка закономірність між показником індексу рослинності та показником температури поверхні: там, де індекс NDVI становить менше 0,15, формуються острови спеки, де температура поверхні в серпні може доходити до  $35\text{-}40^{\circ}\text{C}$ , створюючи температурні перепади на  $10\text{-}20^{\circ}\text{C}$  порівняно зі спальними

районами або зеленими зонами. Це не може не викликати дискомфорт для людей та проблеми для навколишнього середовища.

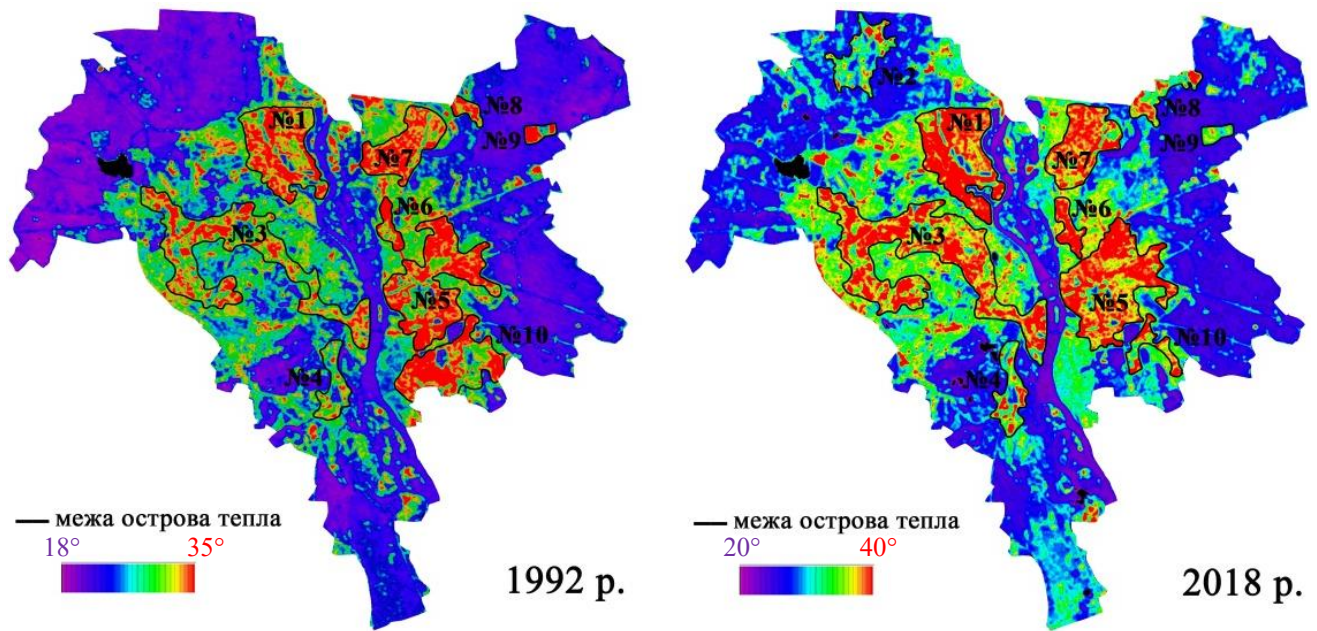
Для чіткого розуміння феномену острова тепла та чинників, що його спричинили, необхідно здійснювати аналіз на локальному рівні. Саме тому причину формування потужного острова тепла у столиці України – місті Києві – буде детальніше досліджено у 3-му розділі даної роботи.

### **РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ ОСТРОВА ТЕПЛА ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ МІСТА КИЇВ**

#### **3.1. Аналіз просторово-часових рядів даних супутникової зйомки у тепловому діапазоні в період з 1992 року по 2018 рік для міста Києва**

Для побудови та аналізу просторово-часових рядів даних супутникової зйомки у тепловому діапазоні для міста Києва у період з 1992 року по 2018 рік були використані багатоспектральні зображення в далекому інфрачервоному (тепловому) діапазоні, отримані за допомогою супутників Landsat 4-5 TM та Landsat 8 OLI/TIRS. Для отримання бази вихідних даних, придатних для подальшої обробки та отримання готових продуктів було проведено радіометричне калібрування зображень шляхом перерахунку даних, отриманих сенсором (калібрувальні коефіцієнти беруться з файлу метаданих для кожного зображення) у фізичну величину (спектральна щільність енергетичної яскравості випромінювання) за допомогою радіометричних формул [43].

Найбільші значення нагріву поверхні міста припадають на літні місяці, тому в якості базового місяця для досліджень був обраний серпень. Загалом було відібрано 9 знімків: 1992 р., 1995 р., 1997 р., 2001 р., 2004 р., 2008 р., 2015 р., 2018 р. Під час аналізу знімків було виділено 10 зон аномальної спеки, що сформувались за 26 років (*рис.3.1*).



**Рис. 3.1.** Динаміка зміни островів тепла у м. Київ за 26 років [на основі 33, 34]

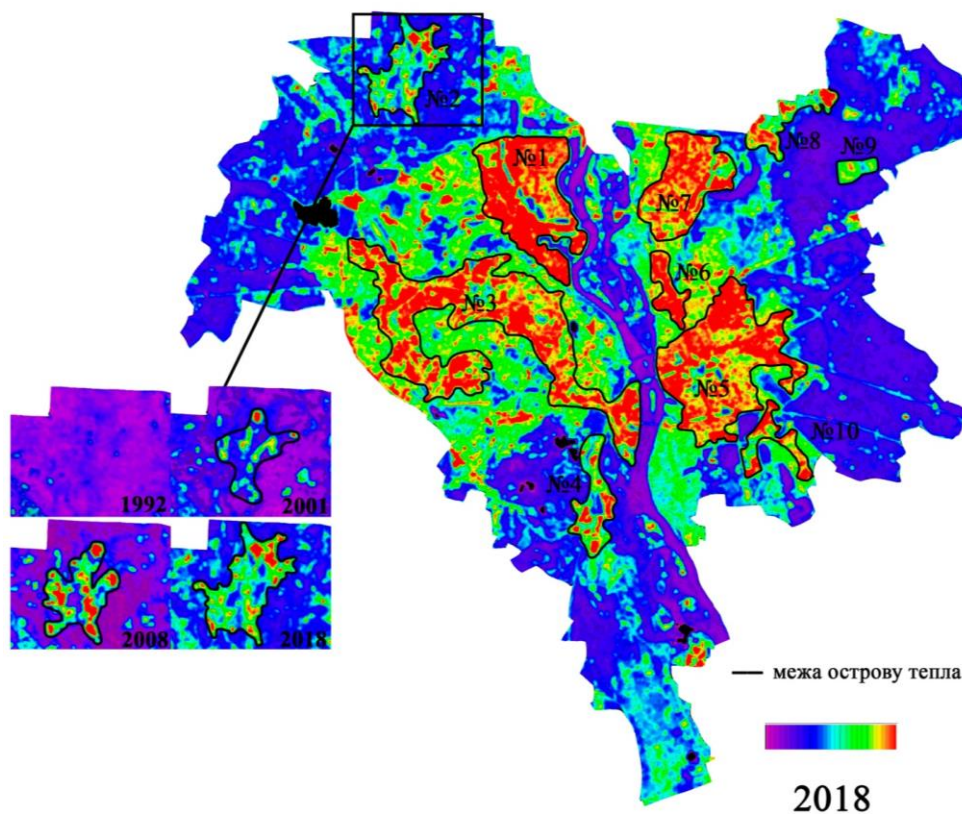
Аналіз *рис. 3.1.* показав, що багаторічний тренд середньої по місту температури поверхні відрізняється в різних районах Києва, а розвиток островів тепла має загальну тенденцію до збільшення як просторових характеристик, так і сили прояву явища. Зокрема, площа ОТ у м. Києві збільшилась більш ніж на 25% - з 154,6 км<sup>2</sup> у 1992 р. до 198,8 км<sup>2</sup> у 2018 р. Це пов'язано зі збільшенням площі вже сформованих островів тепла та появою нових. Зокрема, площа ОТ №8 з 1992 року зросла на 6,32 км<sup>2</sup>, тобто більш ніж у 3 рази. Також, відбулось помітне збільшення площі ОТ № 1, 3, 5 та 7. З 2001 року почалося формування нового ОТ № 2 в Оболонському районі, де температура поверхні в серпні 2018 року перевищувала поверхневі температури прилеглих зон на 7-9°C. Водночас, острови тепла № 4 та 6 майже не зазнали змін конфігурації, однак змінилися їх температурні показники (температура поверхні в цих зонах зросла від 30°C у 1992 році до 35-38°C у 2018 році) [10].

На протипагу загальній тенденції до збільшення просторових параметрів та температурних показників ОТ були помічені й позитивні тенденції до зменшення ОТ № 9 та 10. Для з'ясування загальних причин виникнення і розвитку ефекту острова тепла у Києві розглянемо кожен випадок окремо.

Найінтенсивніший прояв характерний для ОТ №1, що сформувався в районі ст. метро «Оболонь», Мінського масиву, ст. метро «Почайна» та Подолу. Температура поверхні тут може доходити до 40-42°C. Причинами формування є наявні у цій зоні щільна забудова, великі торговельні комплекси, заводи та потужна транспортна розв'язка. Ситуацію ще більше погіршує зменшення лісопаркових зон в наслідок розбудови житлових масивів (детальне дослідження ОТ № 1 див. р. 4.3.).

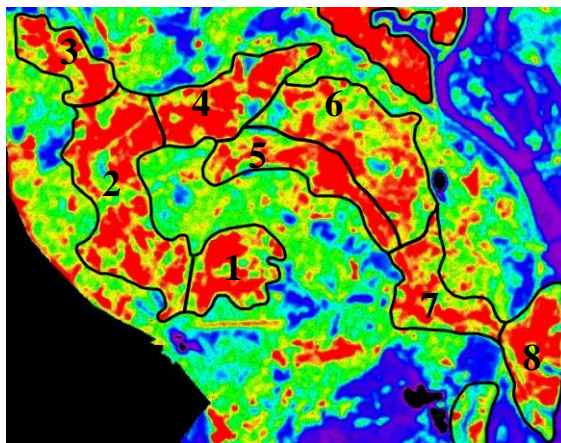
Визначено, що температура земної поверхні є надійним індикатором вирубок зелених насаджень і може бути використана, як додатковий елемент в рамках регулярного космічного моніторингу екологічного стану лісопаркових зон Києва. Прикладом цього є зміна стану лісової зони на північному-заході Оболонського району (*рис. 3.2.*). У 1992 році ця частина лісових масивів мала найнижчі температурні показники нагріву поверхні в порівнянні з іншими частинами міста [10]. Так, температура поверхні тут коливалась від 18 до 22°C в залежності від погодних умов. Починаючи з 1995 року в лісовій зоні на півночі району почали проводитись неконтрольовані вирубки, що заклало передумови для формування ОТ №2 – відкриті знеліснені землі з оголеним ґрунтом або трав'янистим покривом, в порівнянні з температурою крон дерев, досить швидко нагріваються, що стає помітним при побудові теплових карт.

Ця тенденція зберігалася продовж наступних років і призвела до того, що у 2018 році в межах вже сформованого ОТ №2 температура поверхні в серпні доходила до 31°C і відрізнялась від прилеглих зон на 5-6°C. Як наслідок, ця буферна зона послабила свої «охолоджувальні» властивості, що стимулювало збільшення температури в області ОТ №1 [10].



**Рис. 3.2.** Динаміка зміни острову тепла №2 у 1992, 2001, 2008 та 2018 роках [на основі 33, 34, 35, 36]

Найбільшу конфігурацію має ОТ №3, що сформувався на межі Святошинського, Шевченківського, Солом'янського, Печерського та Голосіївського районів. Його площа становить 65,5 км<sup>2</sup>, а загальна протяжність – 18 км. Для того, щоб краще дослідити природу ОТ №3 його було поділено на 8 частин (рис. 3.3.) [10].



**Рис. 3.3.** Зональний поділ острову тепла №3 [на основі 34]

*1 частина:* аеропорт «Жуляни», що являє собою величезну забетоновану площу з відсутньою рослинністю. Таке перекриття ґрунтів бетонним і асфальтовим покриттям порушує природну циркуляцію ґрунтових і поверхневих вод, випаровування і вологообмін, збільшує нагрівання поверхні, що в кінцевому випадку призводить до формування ОТ з сильно підвищеними температурами.

*2 частина:* залізничні колії станції Київ-Волинський та прилегла до них промзона в районі Борщагівки, що простягаються від Проспекту Перемоги до вул. Нової. Тут розташовані залізнична станція «Алмаз», Борщагівський хіміко-фармацевтичний завод, Електротехнічний завод, Авторемонтний завод, поблизу станції «Святошин» знаходиться відкритий будівельний майданчик. За рахунок цих об'єктів згадана частина прогрівається більше за інші, тому температура поверхні тут сягає 40°C, в той час, як у всіх інших частинах даного ОТ вона коливається від 37 до 39°C.

*3 частина:* Академмістечко з щільною забудовою та завод «Антонов».

*4 частина:* район Шулявки, де знаходяться навчальні корпуси та гуртожитки КПІ, а також наявна широка транспортна розв'язка (Шулявський шляхопровід).

*5 частина:* Залізничний вокзал, Вагонна дільниця «Київ-Пасажирський» та залізничні колії з «забетонованими» ґрунтами та повною відсутністю рослинності. З півдня до залізничної станції також примикає Київський електровагоноремонтний завод. Тут температура поверхні сягає 39°C та відрізняється від прилеглих до цієї частини Солом'янському парку та Протосовому Яру на 10°C.

*6 частина:* центральна частина Києва, що починається від Хрещатика з Бессарабським ринком, включає Старий Київ і простягається до Лук'янівки. Причина значного розширення ОТ у цій зоні криється у збільшенні кількості нових будівель та реконструкції площ в центрі міста, коли значно була скорочена площа зелених насаджень, а газони перекриті штучними матеріалами (керамічна плитка, асфальт, бетон). Особливо це стосується площі Незалежності та вулиць, що підіймаються від вул. Хрещатик до Софії Київської. Ущільнення міської

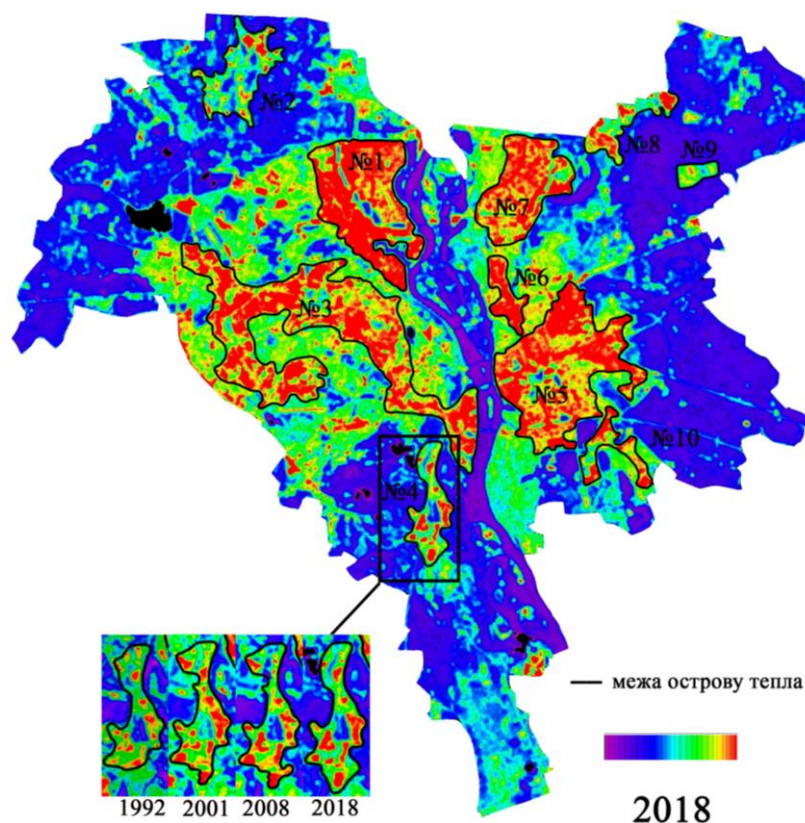
забудови та скорочення зелених зон в історичній частині міста Києва є особливо небезпечним, оскільки веде до зростання поверхневої температури історичних будівель, що сприяє їх фізичному вивітрюванню і поступовому руйнуванню.

*7 частина:* район Деміївки та Видубичів з потужною транспортною інфраструктурою, де перетинаються магістралі підземного та наземного транспорту.

*8 частина:* промзона поблизу Видубичів, де знаходяться Металоцентр, Укрстальхолдинг, Видубичі ПАТ, Київпрофметал, Комбінат будіндустрії та інші промислові об'єкти.

Отже, виникнення ОТ №3 є наслідком щільної забудови, незначної кількості деревних насаджень, та перекриття ґрунтів бетоном промислових зон і потужних транспортних розв'язок. В наслідок цього можемо бачити, що ця тепла зона значно збільшилась в розмірах з 1992 року і має тенденцію до подальшого розширення [10].

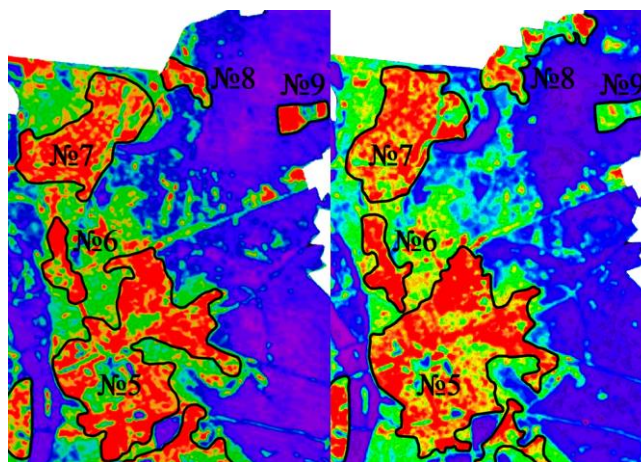
Острів тепла №4, що сформувався в центрі Голосіївського району поблизу місцевостей Конче-Заспа та Пирогово, є наслідком розташування в цій зоні авторинку, ТРЦ «Атмосфера», Київського та Дніпровського шосе, а також промислової зони (*рис. 3.4.*).



**Рис. 3.4.** Динаміка зміни острову тепла №4 у 1992, 2001, 2008 та 2018 роках [на основі 33, 34, 35, 36]

В порівнянні з іншими проявами ефекту ОТ, ця зона має помітно меншу тенденцію до сильного нагрівання поверхні. Навіть не зважаючи на те, що тут розташована промислова зона з майже відсутньою рослинністю, температура поверхні в межах ОТ у серпні не перевищує  $35^{\circ}\text{C}$ . Це, значною мірою, залежить від того, що дана місцевість оточена лісами, які здійснюють охолоджувальний ефект. Також тут не було помічено слідів вирубки або активної забудови, тому цей ОТ порівняно майже не збільшився у своїх розмірах за 26 років, не зважаючи на те, що показники температури поверхні зросли з  $30^{\circ}\text{C}$  у 1992 році до  $35^{\circ}\text{C}$  у 2018 році. Таким чином, приклад ОТ № 4 підтверджує факт того, що наявність великих лісопаркових площ з природним ґрунтово-рослинним покривом знижує загальну температуру і формує внутрішній мікроклімат району, створюючи більш комфортні умови проживання в довколишніх міських кварталах [10].

На лівому березі Києва найбільш прогрітими зонами є житловий масив Троєщина, ст. метро «Лісова», Воскресеньський масив, Березняки та Позняки, в межах яких сформувались чотири острови тепла (рис. 3.5.).



**Рис. 3.5. Динаміка зміни островів тепла на лівому березі Києва з 1992 по 2018 роки [на основі 33, 36]**

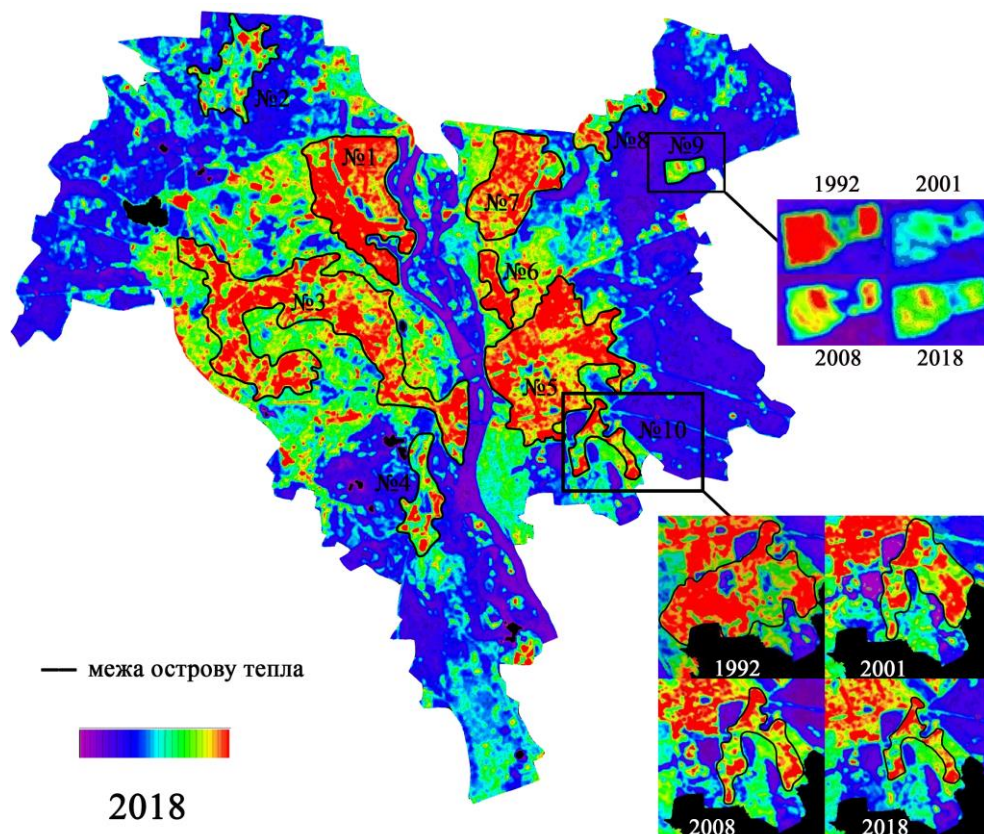
Межа ОТ №5 проходить від Лісового проспекту, вздовж проспекту Соборності на півночі Березняків до проспекту Миколи Бажана поблизу станції метро Осокорки та Позняки на півдні [10]. В межах ст. м. «Лісова» причинами сильного нагріву поверхні є ТРЦ «Прспект», Маркет-молл «Даринок» та ряди складських приміщень. Березняки, Позняки та Осокорки характеризуються щільною багатоповерховою забудовою та мінімальною кількістю зелених зон. На схід від Березняків розташований Дарницький вагоноремонтний завод (ДВРЗ). Також по вулиці Олекси Довбуша розміщується Український державний центр транспортного сервісу «Ліски» та станція Київ-Ліски, де відбувається відвантаження контейнерів, а залізничні колії простягаються на значну відстань. Розширення меж даного острова тепла, більшою мірою, пов'язано з розбудовою районів. Температура поверхні в межах ОТ становить 37-38°C, що на 15 градусів вище за температуру прилеглих лісопаркових територій.

Житлові масиви Троєщина та Воскресенка (ОТ №6 та №7) є густозаселеними та мають щільну забудову, що і виступає причиною сильного нагріву поверхні до 33°C та 38°C відповідно (рис. 3.5.). Ці два острови тепла мають однакові передумови для формування і однакову тенденцію розвитку - з 1992 року масиви зазнали будівництва багатьох нових житлових кварталів: на Троєщині були забудовані вулиці Радунська, Градинська, Теодора Драйзера, Милославська, Оноре де Бальзака; на Воскресенці нові житлові комплекси

з'явилися на вулицях Петра Запорожця, Івана Микитенка, Райдужній та ін. [10]. Це призвело до розширення меж островів тепла, однак температура нагріву поверхні в житловому масиві Троєщина на 5 градусів залишається нижчою, ніж на Воскресенці. Така різниця в температурах є яскравим прикладом впливу рослинності на розвиток ефекту ОТ. Масив Троєщина характеризується наявністю великої кількості лісопаркових зон та водних об'єктів, що здійснюють охолоджувальний ефект на ці території – з двох сторін масив оточений водою (річками Дніпро, Десенка та озером Алмазне) та лісовими насадженнями. Водночас, Воскресенка хоч і розташована поруч з р. Дніпро, однак має порівняно небагато паркових зон, через що піддається впливу розташованого поруч ОТ № 5, в межах якого відбувається сильний нагрів об'єктів інфраструктури, що вільно віддають тепло сусіднім об'єктам в зв'язку з відсутністю деревної рослинності, яка зазвичай поглинає та розсіює це тепло.

Протилежна ситуація склалась в межах острова тепла №8, причиною формування якого стала розташована там Теплоелектроцентраль (ТЕЦ-6). З 1992 року цей острів тепла втричі збільшився у розмірах (рис. 3.5.) в наслідок будівництва промислової зони на сході виділеної області. Однак, попри все, дана промислова зона не здійснює негативного впливу на Троєщинський масив, оскільки відділена від житлових кварталів широкою лісосмугою та озером, що не дає пром. зоні віддавати своє тепло поруч розташованим будинкам, та відповідно, нагрівати їх ще більше.

До виникнення ще одного ОТ №9 (рис. 3.6.) в межах Деснянського району, що розташований на перетині вулиць Ялинкової та Броварської, призвело те, що у 90-х роках, тут планувалось будівництво промислового об'єкта, тому полігон був засипаний піском, що зумовлювало посилення нагріву території на 9-10°C, в порівнянні з прилеглими полями. Однак будівництво не було реалізовано, тому полігон заріс, внаслідок чого даний ОТ став поступово зникати. Ця тенденція підтверджує факт того, що не дивлячись на загальне зростання температури повітря, рослинний покрив може впливати на зниження проявів даного ефекту аж до повного його зникнення [10].



**Рис. 3.6. Тенденція зменшення островів тепла №9 та №10 з 1992 по 2018 роки [на основі 33, 34, 35, 36]**

Це підтверджує і ситуація, що склалась в межах ОТ № 10, який розташований на південь від житлового масиву Осокорки, між садово-дачними ділянками «Нижні Сади» та Бортничами (рис. 3.7.). Даний ОТ протягом 26 років також мав тенденцію до зменшення – з 20,2 км<sup>2</sup> у 1992 р. до 7,3 км<sup>2</sup> у 2018 р. Зі зменшенням меж ОТ, відповідно зменшився і нагрів поверхні – у 1992 році температура поверхні доходила до 33°C, а у 2018 знизилась до 22-24°C. До зменшення проявів даного ОТ призвели зміни місцевих ландшафтів, які почалися у 1993 році через заплановане будівництво житлових масивів Північні та Південні Осокорки. До 1990-х років навколо Осокорків територія являла собою заболочені масиви та ділянки заплавної луки. Також там були розташовані невеликі озера – Заплавне та Тягле. Для будівництва метро, проспекту Бажана та нових житлових масивів почалося осушення заболочених земель та намівання ґрунту з прилеглих озер. Це призвело до різких змін місцевих ландшафтів. Осокорки були розділені насипом, по якому прокладений проспект Бажана, на дві частини. Змінилися

обриси берегової лінії навколишніх заток Дніпра та озер, що існували між Осокорками та Бортничами - Вирлиці, Небреж, Мартишева, Тяглого. До 2000-х років житловий масив Північні Осокорки був забудований першими кварталами. Його розширення триває й донині, в той час як проект забудови Південних Осокорків так і не був відданий на реалізацію. В наслідок цього, за останні 26 років осушена під будівництво територія вкрилася природною рослинністю. Зараз в межах цієї території відносно сильним нагрівом відзначається лише Бортницька станція аерації та селище Бортичі, що ще раз підтверджує позитивний вплив рослинності на зменшення теплового навантаження [10].

Отже, моніторинг теплового поля за 26 років в межах Києва показує, що формування ефекту острова тепла на пряму залежить від покриття поверхні, а не тільки від збільшення температури повітря, адже поверхневий прогрів територій сильно зростає зі зменшенням площ природного ґрунтового-рослинного покриву і ущільненням міської забудови. Це викликає, як локальне порушення мікрокліматичних умов у межах зон, так і може сприяти зміні кліматичних умов на регіональному рівні. Відсутність дієвих адміністративних рішень з розширення та збереження зелених зон Києва, а також незадовільне регулювання забудови в центральних частинах міста лише посилює несприятливу екологічну ситуацію в місті.

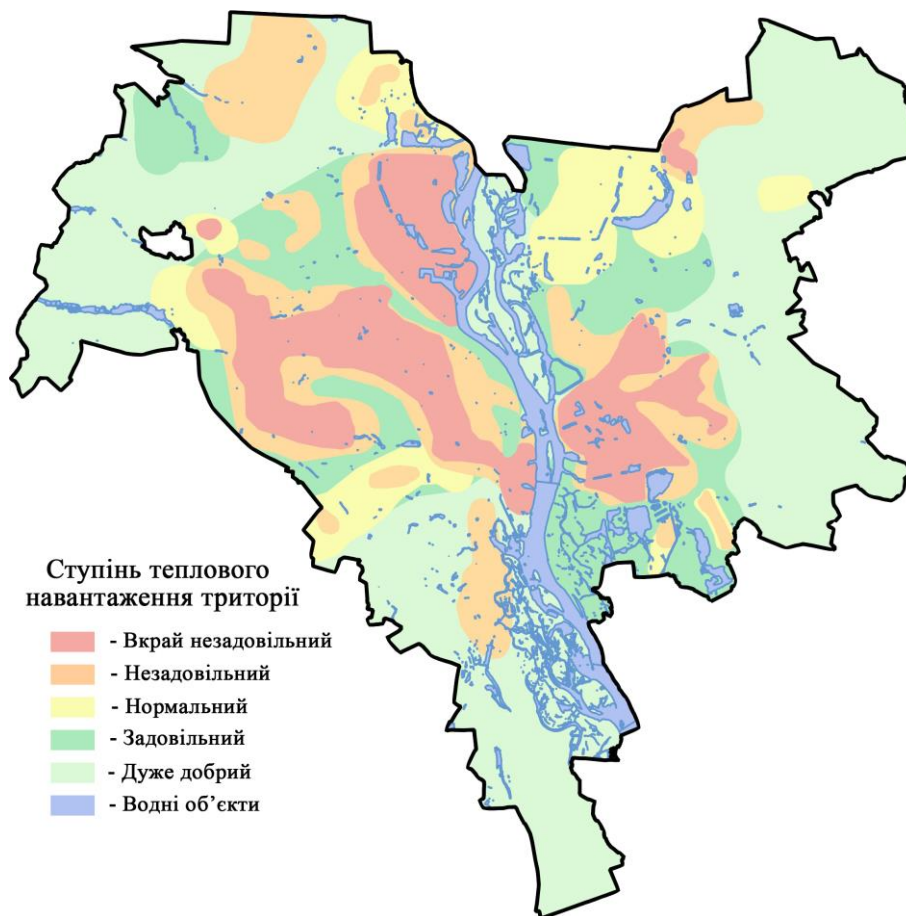
### **3.2. Характеристика території міста Києва за ступенем теплового навантаження**

На підставі аналізу просторово-часових рядів даних супутникової зйомки у тепловому діапазоні в період з 1992 року по 2018 рік для міста Києва було проведено зонування території за ступенем теплового навантаження на основі *табл. 3.1.*

**Таблиця 3.1. Градація ступеня теплового навантаження на територію**  
[на основі [14]]

<i>Ступінь теплового навантаження території</i>	<i>Критерії</i>	<i>Фактори виникнення</i>	<i>Прояви</i>
Вкрай незадовільний	Відбувається перевищення температури поверхні на [10-15°C] в порівнянні лісопарковими зонами.	Висока концентрація житлових будинків, великих промислових об'єктів, потужних транспортних розв'язок та відсутність зелених насаджень в межах відносно невеликої території.	Об'єкти, що знаходяться у цій зоні мають найбільші значення теплового випромінювання.
Незадовільний	Різниця в нагріванні поверхні становить [8-9°C]	Вирубка лісів або зменшення лісопаркових зон поблизу промислових об'єктів чи житлових масивів, що призводить до збільшення нагріву споруд.	Об'єкти мають високі значення теплового випромінювання.
Нормальний	Різниця в температурах поверхні становить [5-7°C]	Оптимальне співвідношення об'єктів інфраструктури та паркових зон.	Об'єкти мають помірне значення теплового випромінювання.
Задовільний	Різниця в температурах поверхні становить менше 5°C.	Висока концентрація зелених насаджень при незначній кількості об'єктів інфраструктури або нещільній забудові.	Об'єкти з незначним значенням теплового випромінювання.
Дуже добрий	Різниця в температурах поверхні відсутня.	Сюди відносяться ліси та лісопаркові зони, де об'єкти інфраструктури трапляються рідко.	Об'єкти з найнижчим значенням теплового поля.

На основі даних *таблиці 3.1.* була розроблена карта ступеня теплового навантаження для міста Києва (*рис. 3.8.*).



**Рис. 3.8.** Карта теплового навантаження території для міста Києва

[на основі 34]

Отже, вкрай незадовільний стан за ступенем теплового навантаження мають Оболонський район, де сформувався острів тепла №1, Святошинський, Шевченківський, Солом'янський, Печерський та Голосіївський райони в тій частині, де сформувався острів тепла №3, а також станція метро «Лісова» та житлові масиви Березняки, Осокорки і Позняки. В межах цих територій знаходяться великі промислові об'єкти та райони з щільною міською забудовою, а зелені насадження майже відсутні через суцільне поширення асфальтового покриття. Через відсутність зелених зон, що надають охолоджувальний ефект, ці території мають максимальне значення теплового випромінювання, що сильно нагріває повітря в цій зоні. Таке значне підвищення температури міського середовища негативно впливає на здоров'я населення - знижує термічний

комфорт, створює потенційний ризик для розвитку серйозних серцево-судинних захворювань, знижує працездатність. Крім того, воно призводить до необхідності додаткового витрачання енергії системами клімат-контролю, прискорює корозію металів і швидкість хімічних реакцій, що супроводжуються виділенням екотоксикантів [11].

Для того, щоб покращити ситуацію, в цій зоні в першу чергу необхідно припинити будівництво нових житлових, великих торгових та промислових споруд, що ущільнюють інфраструктуру. По-друге, потрібно оптимізувати тепловий режим території шляхом збільшення зелених насаджень – газонів, клумб, дерев, адже будь-яка не заасфальтована територія є додатковим джерелом випаровування, що допомагає охолодити повітря. Також дуже ефективним є «озеленення» дахів, тому що найбільше нагріваються саме дахи будинків, відповідно вони віддають найбільше тепла. Озеленення даху будівлі звичайним газоном може сильно зменшити її прогрівання, а також допоможе покращити екологічну обстановку міста. Найбільш придатними для озеленення є дахи комерційних приміщень, заводів та складів, що є найчастішою причиною формування вище зазначених островів тепла у місті Києві. Ці будівлі найвигідніше озеленювати, оскільки їх дахи переважно пласкі та займають велику площу. Озеленення складів та заводів широко популярне в Європі, а уряди Франції та Німеччини на законодавчому рівні ввели вимогу повністю або частково озеленювати дахи усіх комерційних новобудов [22].

До категорії територій, що мають незадовільне теплове навантаження потрапили зона вирубки в Оболонському районі, промзони в Голосіївському та Деснянському районах, а також Бортницька станція аерації, житловий масив Воскресенький та, відповідно, території, що розташовані навколо потужних островів спеки № 3 (на правому березі) і № 5 (на лівому березі), які віддають своє тепло сусіднім об'єктам, збільшуючи їх нагрівання. Всі ці об'єкти мають помірно-високе значення теплового випромінювання, але лісові насадження, які розташовані поруч, грають роль буферних зон, що захищають спальні райони від теплового випромінювання промислових об'єктів. Таким чином, великої шкоди

населенню це не завдає, однак тенденція до розширення промислових зон шляхом вирубки лісових насаджень може призвести до негативних наслідків у майбутньому, тому рекомендаціями для цих територій є повне припинення вирубки лісів та будівництва нових промислових об'єктів, а також насадження клумб та газонів в межах промислових зон для зменшення теплового навантаження на територію.

Нормальну ситуацію з тепловим навантаженням мають житловий масив Троєщина, Новобіличі, Оболонь-2, житлові квартали на ВДНХ, Теремки, Іподром, Васильківська, що мають середній рівень озеленення території в середині кварталів, тому вони мають помірне значення теплового випромінювання. Однак, через високу заселеність цих районів та щільну забудову, наявних паркових зон недостатньо для того, щоб влітку люди почували себе комфортно. Тому важливим залишається збільшення паркових зон для того, щоб охолодити територію та надати населенню можливість відпочивати від спеки під кронами дерев. Також, зважаючи на те, що ці спальні райони продовжують розширюватись, для покращення екологічної ситуації ефективним може бути введення норм на будівництво нових будинків з білими дахами. Науково доведено, що білі дахи та світлий бетон можуть зменшити ефект нагрівання міського повітря на 50% [23]. Білі поверхні менше нагріваються, тому що краще відбивають сонячну радіацію, ніж темні. До того ж білі дахи могли б знизити температуру і всередині будівель.

Задовільний ступінь теплового навантаження характерний для садово-дачних ділянок «Нижні Сади», Русанівки, Лісового масиву, селищ Троєщина та Биківня, Гідропарку, смт Пущі-Водиці, Мостицького масиву та масиву Виноградар, а також Чоколівки. В цих місцевостях переважає нещільна або одноповерхова забудова серед великої кількості лісових насаджень, паркових зон та озер, що виступають стабілізаційним елементом теплового поля, тому його значення є незначним і не призводить до формування островів тепла. Ці території є найкомфортнішими для життя населення з точки зору температурних умов, оскільки місцеве населення не відчуває на собі таких негативних наслідків влітку,

як, наприклад, жителі центру Києва. Для подальшого підтримання задовільного теплового навантаження в цій зоні головним завданням є збереження сучасного екологічного стану та зелених зон.

Дуже добрий стан за ступенем теплового навантаження у Києві мають переважно ліси та лісопаркові зони з мінімальним тепловим випромінюванням, такі як Голосіївський ліс, Пуща-Водицький ліс, Обухівський ліс, Чернечий ліс, Ботанічний сад ім. Гришка, Лісовий масив, Парк Партизанської Слави тощо. Тут спостерігається мінімальна поверхнева температура, оскільки тут практично немає штучних покриттів і ніякі чинники не заважають природному випаровуванню і вологообміну ґрунтів. Ці території вважаються «легенями» Києва, які очищують та охолоджують атмосферне повітря, створюючи комфортні умови для проживання населення, тому їх необхідно зберігати від найменшого антропогенного втручання та розвивати, як рекреаційні.

Окремо до цієї категорії можна внести основні водні об'єкти, такі як ріка Дніпро, Десенка, різні озера. Водні об'єкти є важливим «кондиціонером» для міста – завдяки своїм властивостям повільно нагріватися і так же повільно віддавати тепло, влітку вони можуть охолоджувати, а в холодну пору року, навпаки, підігрівати навколишні райони. Тому вкрай недопустима забудова водоохоронної зони р. Дніпро, що розпочалася за часи незалежності України.

Таким чином, у великих містах ситуація зі зниженням рівня екологічної безпеки в результаті зміни клімату має серйозний характер і вимагає ретельного дослідження просторово-часових змін температури поверхні міста за останні десятиліття та механізмів підвищення температури міського середовища. Так, у Києві найгірша ситуація спостерігається у центральних районах міста, де температура є вищою на 10-15°C. Таке перевищення температури завдає значної шкоди не тільки населенню, а і об'єктам інфраструктури та культури, тому потребує якнайшвидшої оптимізації.

## РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗЕЛЕНИХ ЗОН КИЄВА НА ЗМЕНШЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ПРОЯВУ ЕФЕКТУ ОСТРОВА ТЕПЛА

### 4.1. Дослідження впливу зелених зон на зміну температури повітря в районах м. Києва

Визначено [1], що зелені зони впливають на температурний режим міста шляхом охолодження навколишнього середовища. Відбувається це внаслідок випаровування вологи і створення затінку, що сприяє меншому нагріванню поверхні, ніж на відкритих просторах з переважаючим штучним покриттям. Більше того, рослинність може знижувати температуру повітря навіть поза зоною затінення за рахунок того, що більш прогріте повітря над забудовою витісняється більш прохолодним із прилеглих зелених зон [6].

З метою виявлення ролі зелених насаджень у зменшенні теплового навантаження в мікрорайонах Києва, було проведено дослідження в межах декількох відібраних лісопаркових зон, а саме парку «Перемоги», парку «Молодіжний» та Голосіївського.

Задля отримання необхідних результатів методикою дослідження було обрано проведення польових вимірювань поверхневої температури повітря міста за допомогою мобільного термогігрографа KTI Thermo meter TAZ 18 з виносним датчиком. Забір показників температури повітря в кожній точці відбувався через 5 хвилин після фіксації датчика термогігрографа в одному положенні на відстані 1 м від землі в затінку. Точність вимірів температури – 0,1°C. Картографічна візуалізація місць проведення спостережень здійснена на основі Open Street Map [37].

*Маршрут №1: ст. м. «Дарниця» та парк «Перемога».*

Дата: 16.08.2020.

Середня T повітря по Києву: +27 °C.

Час: 14:00-16:00.

Знято проб: 13.

Таблиця 4.1. Опис маршруту №1

№	Координати точки	Температура повітря, °С
1	50.454384,30.611346 (ст. м. «Дарниця»)	29.2 (max)
2	50.456286,30.610360 (сквер)	27.5
3	50.457467,30.608952 (Готель «Братислава»)	28.9
4	50.458117,30.608085 (вхід до парку «Перемоги»)	27.0
5	50.458911,30.607586	26.9
6	50.459876,30.607053	26.8
7	50.461127,30.605963 (Курган Безсмертя)	26.9
8	50.461436,30.603106 (переважаюча рослинність: дуби)	25.6 (min)
9	50.462101,30.604403 (переважаюча рослинність: сосни)	26.5
10	50.463985,30.602799 (берег каналу зі сторони парку)	25.9
11	50.464331,30.602555 (берег каналу зі сторони забудови)	26.6
12	50.464473,30.600400 (забудова)	27.3
13	50.465380,30.600019 (автостоянка)	28.8
Значення перепаду температур		3,6

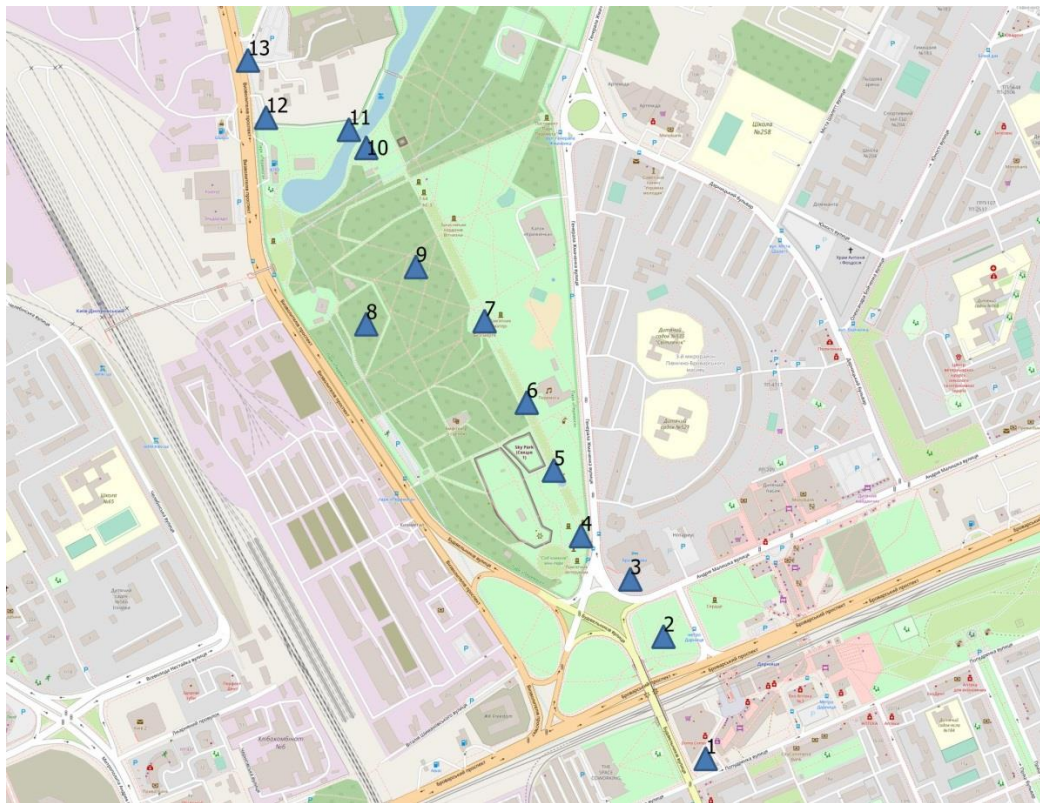


Рис. 4.1. Картохема проведення вимірів в межах маршруту №1

**Маршрут №2: територія ВДНХ та Голосіївський ліс.**

Дата: 17.08.2020.

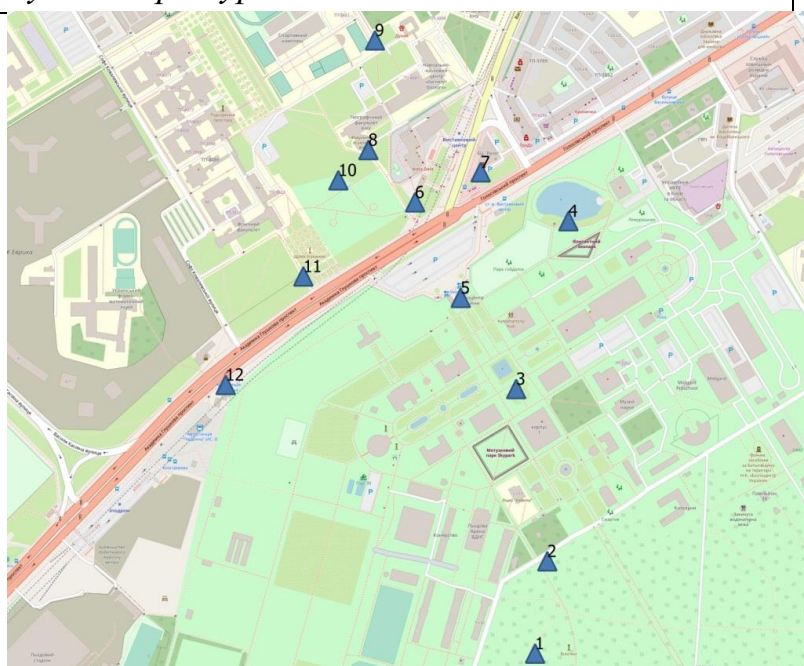
Середня Т повітря по Києву: +30 °С.

Час: 14:00-15:40.

Знято проб: 12.

**Таблиця 4.2. Опис маршруту №2**

№	Координати точки	Температура повітря, °С
1	50.372045,30.479514 (ліс)	27.7 (min)
2	50.375603,30.479408 (при вході до лісу)	28.5
3	50.378083,30.479338	28.8
4	50.380979,30.480182 (поруч з озером)	27.9
5	50.379915,30.476865 (біля входу до НК «Експоцентр України»)	29.3
6	50.381174,30.476658 (вхід до ст.м. «Виставковий центр»)	30.3
7	50.381905,30.478271 (поруч з дорогою та бізнес-центром)	31.4 (max)
8	50.382346,30.475393 (вхід до Географічного ф-ту)	29.3
9	50.383880,30.475507 (Спорткомплекс КНУ)	28.3
10	50.381497,30.474491 (сквер поруч з Географічним ф-м)	28.2
11	50.380082,30.473796 (поруч з дорогою)	29.9
12	50.378354,30.471847 (автостанція «Південна»)	30.6
Значення перепаду температур		3,7

**Рис. 4.2. Картохема проведення вимірів в межах маршруту №2**

**Маршрут №3: парк «Молодіжний» та озеро Верхнє Вигурівське**

Дата: 18.08.2020

Середня Т повітря по Києву: +32 °С.

Час: 14:00-15:50

Знято проб: 13

**Таблиця 4.3. Опис маршруту №3**

№	Координати точки	Температура повітря, °С
1	50.522407, 30.618486 (супермаркет)	32,0
2	50.521975,30.621789 (парк «Молодіжний»)	29,9
3	50.521242,30.623818 (поліклініка)	30,0
4	50.521151,30.627334 (на виході з парку)	31,1
5	50.522450,30.627674 (на дорожньому перехресті)	32,1
6	50.522714,30.632749 (промзона)	32,5 (max)
7	50.524745,30.629099 (берег озера зі сторони забудови)	30,9
8	50.525963,30.631379 (берег озера зі сторони лісу)	29,3 (min)
9	50.526987,30.629610 (зелена зона поруч з озером)	29,8
10	50.528730,30.629037 (дорога)	30,9
11	50.529620,30.628059 (житлова забудова)	31,4
12	50.525345,30.627980 (дорога)	31,5
13	50.525086, 30.623785 (житлова забудова)	32,3
Значення перепаду температур		3,2

**Рис. 4.3. Картохема проведення вимірів в межах маршруту №3**

**Маршрут № 4: ст. м. «Деміївська» та Оріхуватські ставки.**

Дата: 21.08.2020.

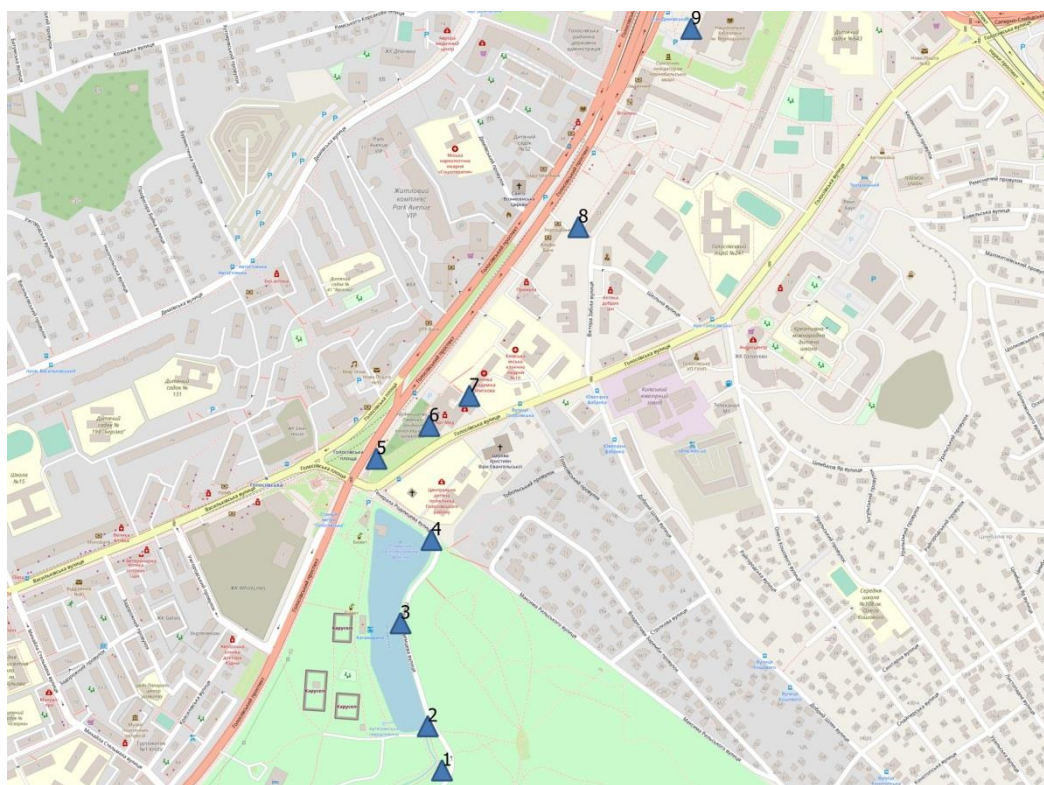
Середня Т повітря по Києву: +30 °С.

Час: 14:00-15:30.

Знято проб: 9.

**Таблиця 4.4. Опис маршруту №4**

№	Координати точки	Температура повітря, °С
1	50.392830,30.512297 (лісопаркова зона)	27.2 (min)
2	50.393645,30.511793 (пд. берег Оріхуватських ставків)	27.8
3	50.395195,30.511282 (сх. берег Оріхуватських ставків)	28.2
4	50.396438,30.511887 (пн.-сх. берег Оріхуват.ставків)	28.5
5	50.397582,30.510839 (зупинка гром. транспорту)	29.5
6	50.398062,30.511888 (травмпункт)	29.9
7	50.398576,30.512856 (лікарня №10)	30.3
8	50.400993,30.515140 (житлові будинки)	30.5
9	50.403895,30.517424 (Бібліотека ім. Вернадського)	30.9 (max)
Значення перепаду температур		3,7



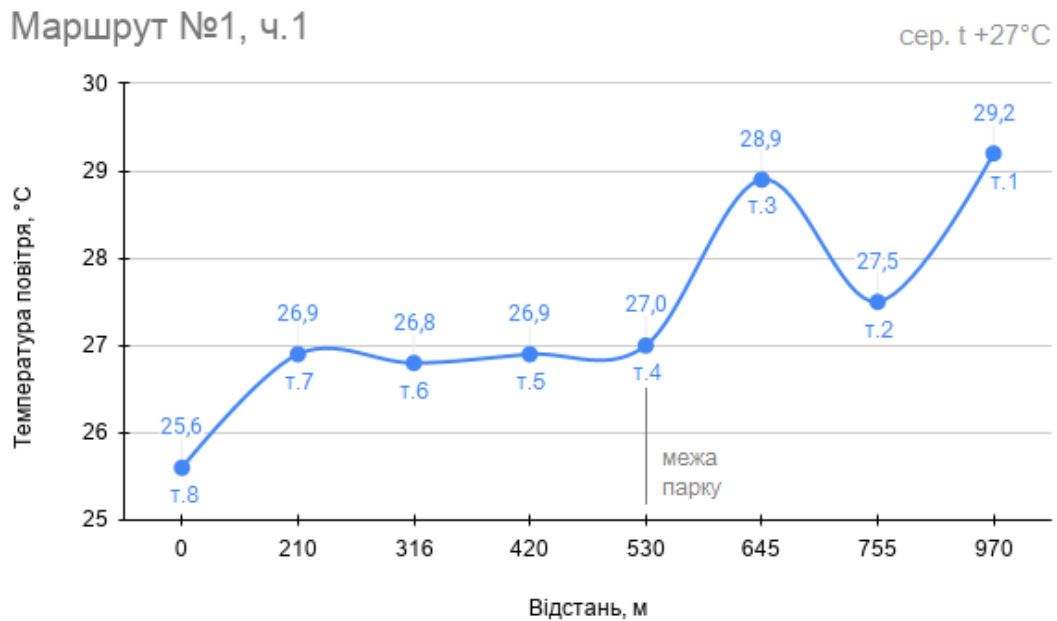
**Рис. 4.4.** Картосхема проведення вимірів в межах маршруту №4

Отже, з метою дослідження охолоджуючого ефекту зелених насаджень в межах Києва були проведені спостереження у чотирьох різних районах міста. Польові вимірювання відбувались протягом 4 днів за ясної погоди при температурі повітря від  $+27^{\circ}\text{C}$  за допомогою мобільного термогігрографа. Загалом було зроблено 47 вимірів. Зібрана статистика показала, що зелені зони створюють затінення, достатнє для істотного охолодження повітря в середньому на  $3,5^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.2. Аналіз впливу зелених зон на зміну температури повітря**

Для детального дослідження впливу зелених зон на температурний режим прилеглих територій було побудовано графіки змін температурних показників середовища по мірі віддаленості від точки з найнижчими показниками температури, що була зафіксована в межах зеленої зони.

В рамках Маршруту №1 досліджувались охолоджувальні властивості Парку Перемоги. Його площа становить 66,09 га. Деревна рослинність представлена соснами та дубами. В якості точки відліку була обрана т.8, оскільки там була зафіксована найнижча температура в межах парку в день дослідження –  $25,6^{\circ}\text{C}$ . Для детального аналізу маршрут був розділений на 2 частини: в межах першої частини проаналізовано швидкість втрати парком охолоджувальних властивостей у напрямку на пд.-сх. до ст.м. «Дарниця» та ТЦ «DOMA Center» (рис. 4.5); в межах другої частини – у напрямку на пн.-зх. до житлової забудови з автостоянкою (рис. 4.6).

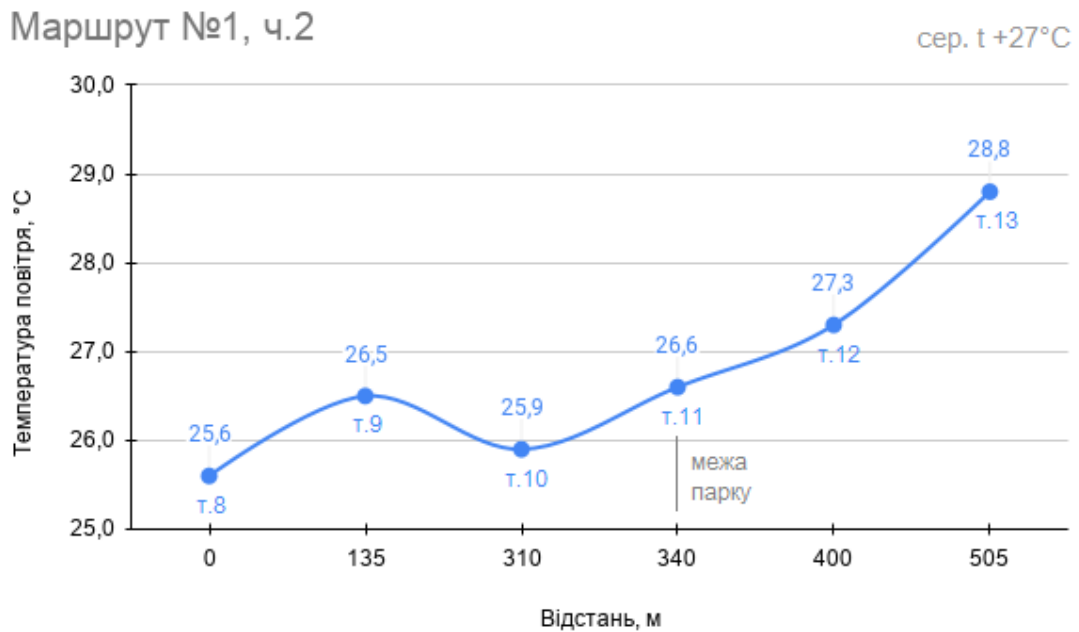


**Рис. 4.5. Графік перепаду температур в межах маршруту №1, ч.1**

В межах першої частини маршруту (рис. 4.5) зниження температури спостерігається лише у точці 8, показники якої були зафіксовані серед дубових насаджень. Через 210 м температура зросла до середньої по Києву і не змінювалась протягом ще 320 м до кінцевої межі парку. Дані показники говорять про те, що у своїй південній частині Парк Перемоги практично не впливає на температурні параметри середовища та не створює охолоджувального ефекту для прилеглих зон. Це пояснюється тим, що в даній частині парку основною рослинністю є сосни, які не створюють достатньо затінку для зменшення температури, а також тут знаходиться багато інфраструктурних об'єктів та заасфальтованих пішохідних доріг.

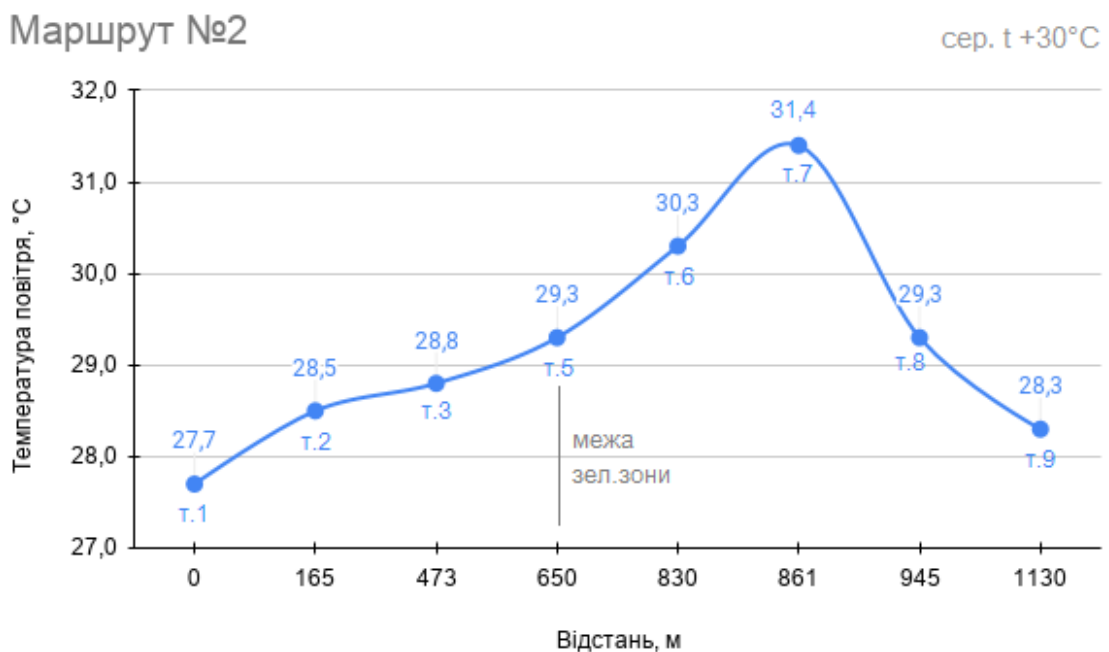
Звернувши увагу на т.2, бачимо помітне зниження температури до 27,5°C в межах невеликого скверу. Сквер з усіх боків оточений щільною забудовою, дорогою, лініями метрополітену. Його площа становить не більше 1 га, однак рослинність є щільною з переважанням клену, тополі та верби, що знижує температуру в межах скверу на 1,7°C в порівнянні з прилеглими зонами і досягає практично таких же показників, як і у пд. частині Парку Перемоги, де переважають сосни. Це дає підстави говорити про те, що склад деревних порід

зеленої зони відіграє важливішу роль у формуванні потужності охолоджувального ефекту, ніж її площа.



**Рис. 4.6. Графік перепаду температур в межах маршруту №1, ч.2**

З рис. 4.6. бачимо, що в напрямку на пд.-сх. ситуація зовсім інша, адже в даній частині маршруту розташоване озеро, а переважаючою деревною рослинністю були дуби з домішками сосен. Саме тому, охолоджуючий ефект парку поширювався ще 140 м за його межами, після чого температура почала підвищувати на  $0,7^{\circ}\text{C}$  кожні 50 м.



**Рис. 4.7. Графік перепаду температур в межах маршруту №2**

В межах маршруту №2 було досліджено вплив Голосіївського лісу на територію ВДНГ. Голосіївський ліс має площу 4521 га, рослинність представлена широколистяними лісами – найбільшу площу займають грабові та грабово-дубові ліси.

З рис. 4.7. бачимо, що охолоджувальний ефект лісу триває ще 180 м за його межами до т.6. Далі відбувається стрімке підвищення температури на  $1,1^{\circ}\text{C}$  у т.7, що територіально відповідає бізнес-центру розташованому в центрі транспортної розв'язки. Після цього починається зниження температури в бік навчальних корпусів Географічного факультету КНУ ім. Шевченка. Це пояснюється тим, що ця територія є добре озелененою, а близьке розташування Голосіївського лісу підсилює охолоджувальні властивості невеликих скверів. Дана ситуація дозволяє висунути припущення, що озеленення території поруч з бізнес-центром та дорогою допомогло б продовжити охолоджувальну здатність Голосіївського лісу до 1 км і далі, а перепад температур становив би не більше  $1,5^{\circ}\text{C}$ , замість наявних  $3,7^{\circ}\text{C}$  при середній температурі повітря  $+30^{\circ}\text{C}$ .

Для детального аналізу Маршруту №3 його було розділено на 2 частини: частина 1 – парк «Молодіжний» (рис. 4.8), частина 2 – озеро Верхнє Вигурівське (рис. 4.9).

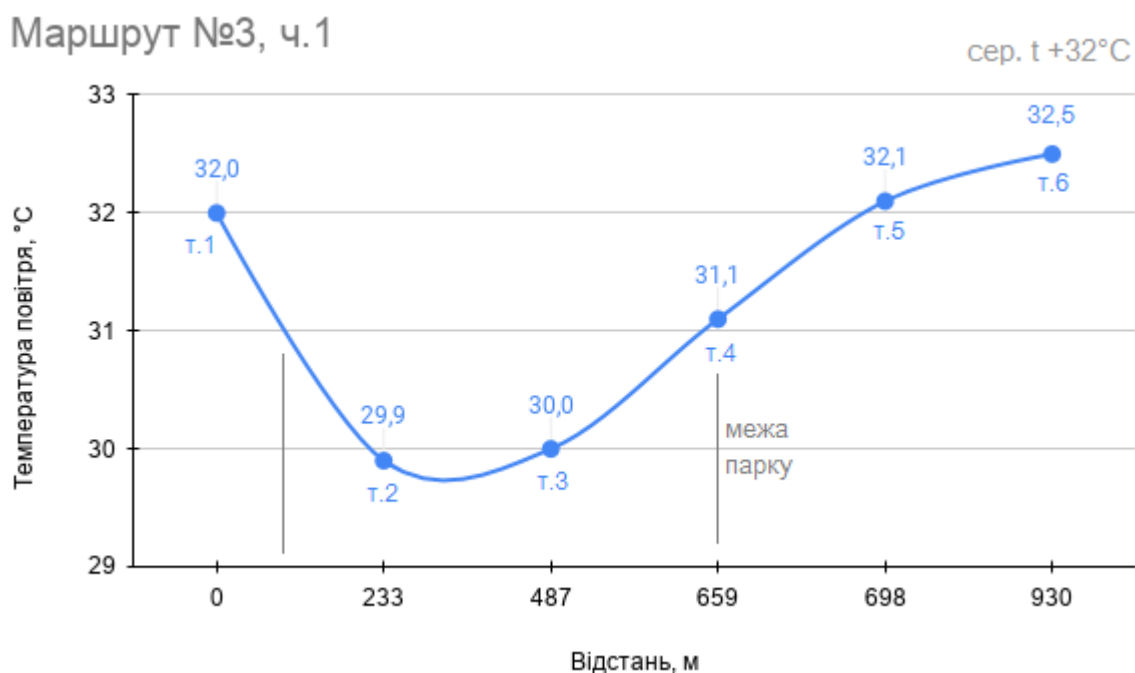
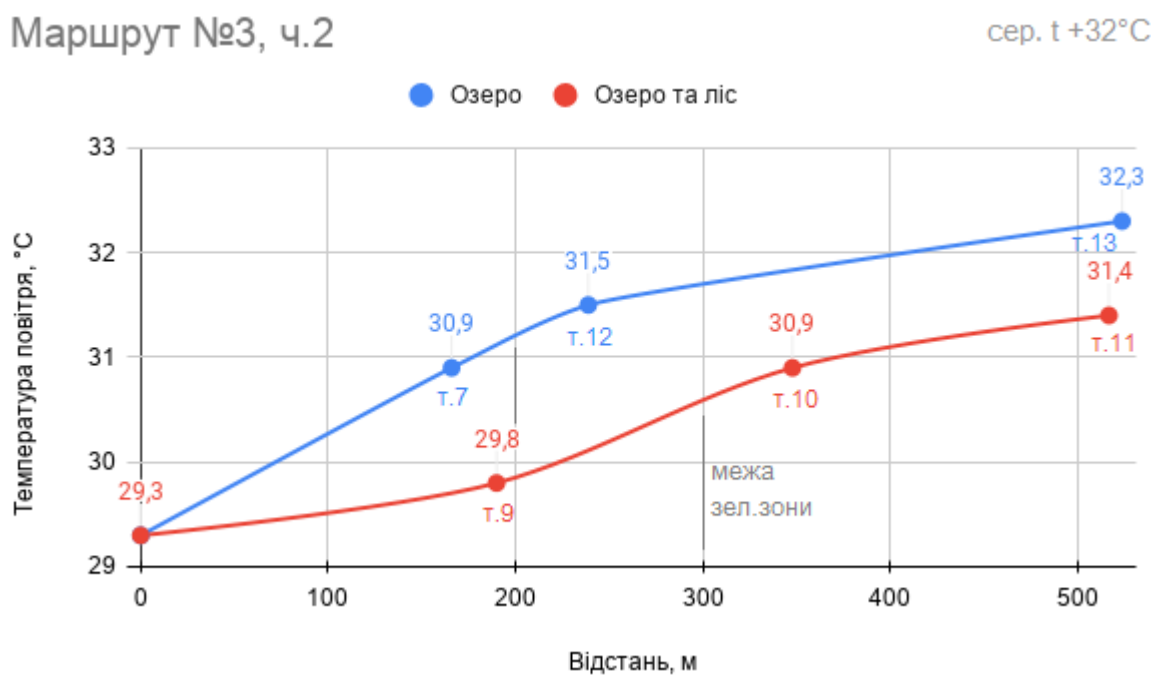


Рис. 4.8. Графік перепаду температур в межах маршруту №3, ч.1

Площа парку «Молодіжний» становить 9,7 га, переважаюча рослинність – широколистяні дерева. В середньому в парку температура повітря менша на 2,3°C. Стрімке зниження температури від т.1 до т.2 на 2,1°C за 230 метрів пояснюється різкою зміною заасфальтованої поверхні вулиць зеленими газонами та деревними насадженнями парку. Подальше плавне підвищення температури в бік промзони (т.6) викликане поступовим вклинюванням у межі зеленої зони різних споруд, таких як лікарня, школа мистецтв тощо і відповідним зменшенням кількості дерев та газонів. Ця ситуація сильно впливає на «потужність» охолоджувальних можливостей парку. Зокрема, з *рис. 4.8.* бачимо, що на межі парку (т.4) температура повітря становить 31°C, а уже через 40 м досягає 32°C.



**Рис. 4.9. Графік перепаду температур в межах маршруту №3, ч.2**

Графік на *рис. 4.9.* ілюструє вплив на перепад температур частини озера, що обрамлена заасфальтованою поверхнею (синій графік), та частини озера, що оточена лісом (червоний графік). Площа озера - 4,8 га, загальна площа зеленої зони – 30 га; порідний склад деревної рослинності – верби, тополі, ясени. Бачимо, що в сукупності з лісом озеро дає більший та триваліший охолоджувальний ефект, ніж без нього. Зокрема, з синього графіка видно, що температура повітря доходить до 31,5°C (т.12) уже через 240 м, в свою чергу зі сторони лісу такі

показники фіксуються лише через 520 м (т.11). Загалом, озеро охолоджує навколишній простір на 3°C при T повітря +32°C, а його охолоджувальний ефект триває ще близько 300 м, що є найвищим показником серед досліджених місць.

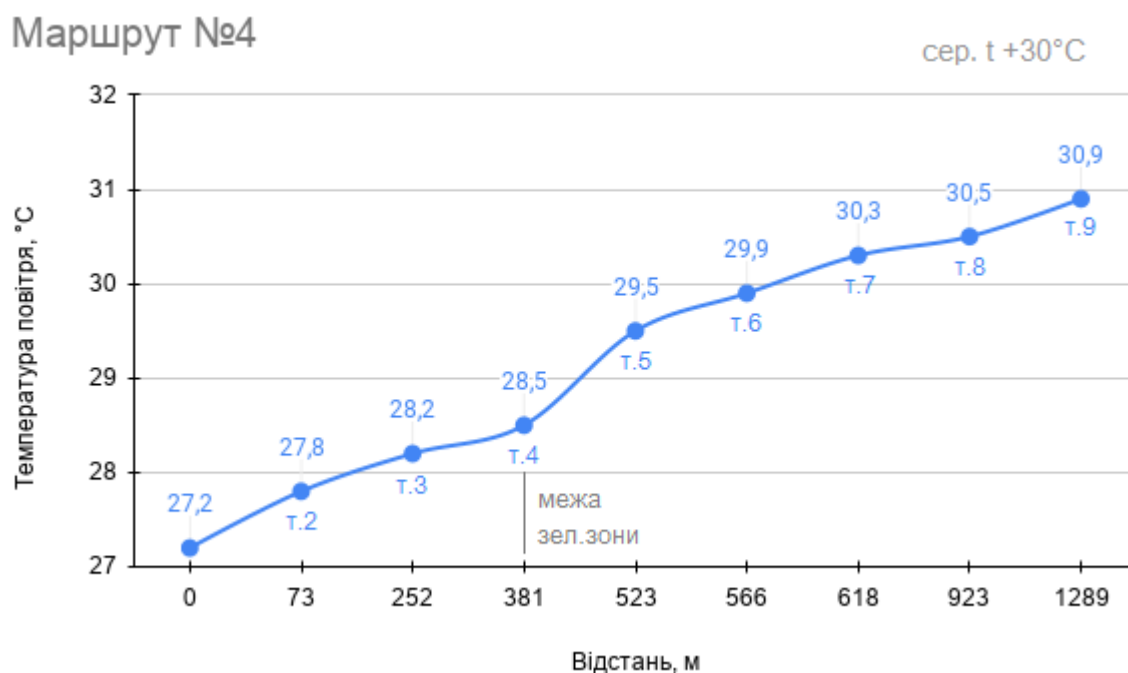


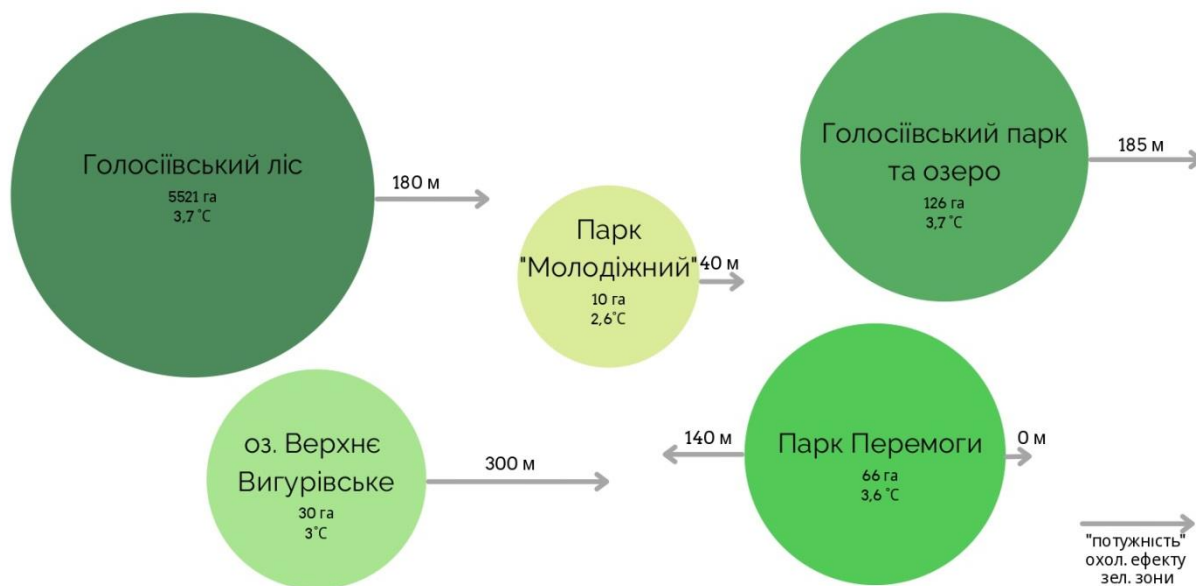
Рис. 4.10. Графік перепаду температур в межах маршруту №4

Маршрут №4 пролягав вздовж верхнього озера Оріхуватських ставків до Бібліотеки ім. Вернадського. Площа озера – 2,3 га, площа прилягаючого до нього Голосіївського парку – 126,32 га, породний склад – тополя, бук, береза, клен, граб, дуб тощо.

З рис. 4.10. бачимо, що парк охолоджує температуру середовища в середньому на 2,8°C при T повітря 30°C. Максимальний перепад температур: 3,7°C. Охолоджувальні властивості починають зменшуватись у т.6, тобто приблизно на відстані 185 м від парку, з інтенсивністю 0,15°C кожні 100 м, що є порівняно доволі низьким показником і підтверджує те, що при взаємодії з водними об'єктами зелена зона може мати потужніший та триваліший охолоджуючий ефект.

Отже, аналіз впливу зелених зон на температурний режим прилеглих територій в межах Києва показав, що найбільш тривалий охолоджувальний ефект серед досліджених об'єктів (понад 300 м) був зафіксований в межах зеленої зони з оз. Верхнє Вигурівське, розташованих в ж/м Троєщина; найменш тривалий – в

межах парку «Молодіжний» та пд. частини парку «Перемога» - 40 і 0 метрів відповідно (рис. 4.11).



**Рис. 4.11. Інфографік потужності охолоджувальних властивостей досліджених зелених зон**

З інфографіку на рис. 4.11. бачимо, що площа зеленої зони не відіграє ключової ролі у формуванні «потужності» охолоджувального ефекту. Визначальними при цьому є наступні фактори:

1) *Порідний склад зеленої зони*: широколистяні насадження, в яких переважають дуби, клени, граби, тополі, верби тощо, формують більший затінок та не дають сонячному промінню досягти поверхні, на відміну від соснових та ялинових насаджень.

2) *Щільність насаджень*: чим щільніше розташовані дерева, тим більшим буде охолоджувальний ефект. Парки та сквери, де дерева розташовані на значній відстані один від одного, практично не охолоджують навколишній простір.

3) *Наявність в межах зеленої зони інфраструктурних об'єктів*, таких як магазини, кав'ярні, гральні майданчики, заасфальтовані пішохідні доріжки – все це сильно впливає на охолоджувальну здатність парку не тільки за його межами, а й в самому парку.

4) *Розташування поруч або в межах зеленої зони водних об'єктів*. Завдяки своїм властивостям повільно нагріватися і так же повільно віддавати тепло, влітку

водні об'єкти добре охолоджують навколишній простір, чим підсилюють і охолоджувальні властивості самих зелених зон.

5) *Наявність поруч з зеленою зоною інших природних об'єктів* – парків, скверів, газонів тощо. Проведені дослідження показали, що навіть невеликий сквер з щільною широколистяною рослинністю може помітно зменшувати температуру навколишнього середовища. А при формуванні «буферної зони» з декількох невеликих скверів чи парків, охолоджувальну здатність великої зеленої зони, що містить в собі перераховані вище фактори, можна продовжити до 1 км і більше, звівши при цьому перепад температур до мінімуму, таким чином нівелювавши прояв ефекту ОТ.

Формування даних умов не потребує значних витрат, розробки чи прийняття нових законодавчих актів, однак може не тільки зменшити прояви ефекту ОТ, а й підвищити загальний рівень життя мешканців міста, їх працездатність, покращити стан здоров'я, зменшити витрати на кондиціонування повітря, створити більше місць для прогулянок та відпочинку, покращити загальний пейзаж міста.

### **4.3. Аналіз перепаду температури повітря в межах острова тепла**

Важливими для розуміння природи ефекту острова тепла є дослідження перепаду температури повітря в середині самої температурної аномалії. Ці дані надалі доречно використовувати при розробці планів ефективного озеленення районів для покращення термічного комфорту жителів міста. Задля виявлення тенденцій у змінах температур в межах островів тепла в якості об'єкта дослідження був обраний ОТ №1.

Острів тепла №1 сформувався в районі ст. метро «Оболонь», Мінського масиву, ст. метро «Почайна» та Подолу. Основними причинами його формування є наявні у цій зоні щільна забудова, великі торговельні комплекси, заводи та потужна транспортна розв'язка, що з'єднана з Північним мостом. Ця зона була і

залишається однією із найспекотніших зон міста, оскільки температура поверхні в серпні тут може доходити до 40-42°C.

**Маршрут №5.** День 1: ст. м. «Героїв Дніпра» - ст. м. «Почайна».

Дата: 13.09.2020.

Середня Т повітря по Києву: +28°C.

Час: 14:00-16:00.

Знято проб: 13.

**Таблиця 4.5. Опис маршруту №5 (День 1)**

<i>№</i>	<i>Координати точки</i>	<i>Температура повітря, С</i>
1	50.527600,30.499705	27.8
2	50.521794,30.500211 (ст. м. Героїв Дніпра)	28.7
3	50.521794,30.500211 (ст. м. Мінська)	29.0
4	50.505672, 30.499718 (ТРЦ «Дрім Таун»)	29.2
5	50.501962,30.499549 (ст. м. Оболонь)	29.0
6	50.500841,30.504179	28.5
7	50.495728,30.509028	28.2
8	50.493915,30.512645 (житлова забудова)	27.7
9	50.490763,30.515260 (оз. Вербне)	26.5 (min)
10	50.489338,30.503902 (АЗС «КЛЮ»)	29.0
11	50.488470,30.501696 (біля транспортної розв'язки)	29.3 (max)
12	50.486726,30.498348 (ст. м. Почайна)	28.9
<i>Значення перепаду температур</i>		2,8

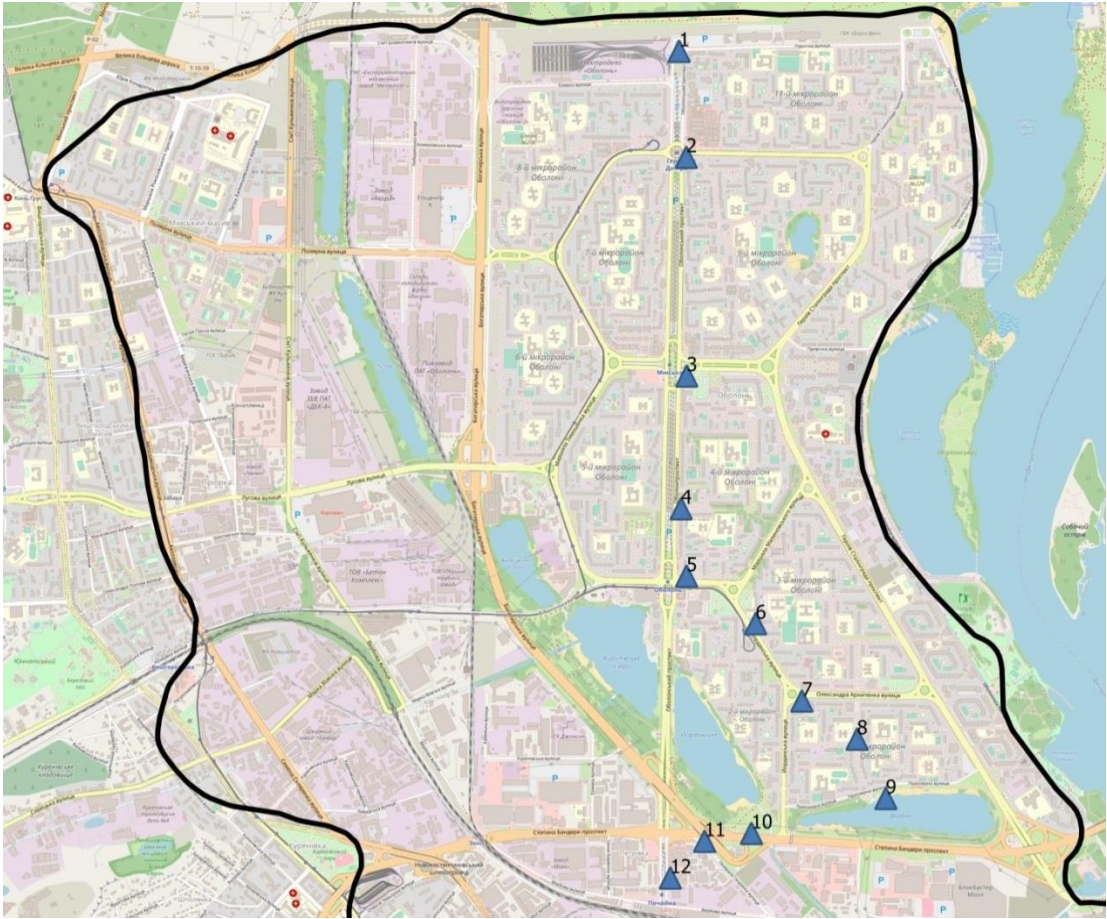


Рис. 4.12. Картосхема проведення вимірів в межах маршруту №5 (день 1)

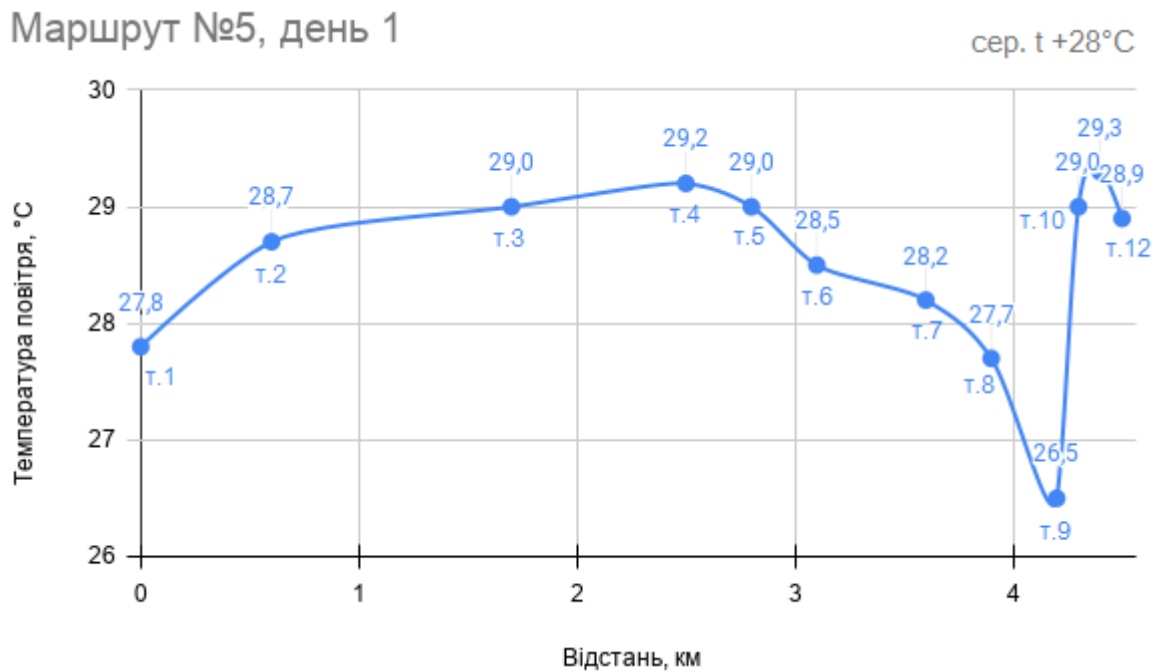


Рис. 4.13. Графік перепаду температур в межах маршруту №5, день 1

З графіку на рис. 4.13. бачимо, що навіть в межах ОТ водні об'єкти та зелені зони помітно впливають на зниження температури оточуючого середовища. Так,

від т.2 до т.5 протягом декількох кілометрів температура повітря залишається підвищеною і починає знижуватись тільки від т.6 до т.9, в зв'язку з потраплянням у зону впливу озер. При цьому спостерігається зниження температури в середньому на  $2,5^{\circ}\text{C}$ , що є нижчим показником, ніж у зелених зон, які розташовані за межами ОТ, однак охолоджувальний ефект є тривалішим – близько 350 м.

#### Маршрут №5. День 2: Поділ.

Дата: 16.09.2020.

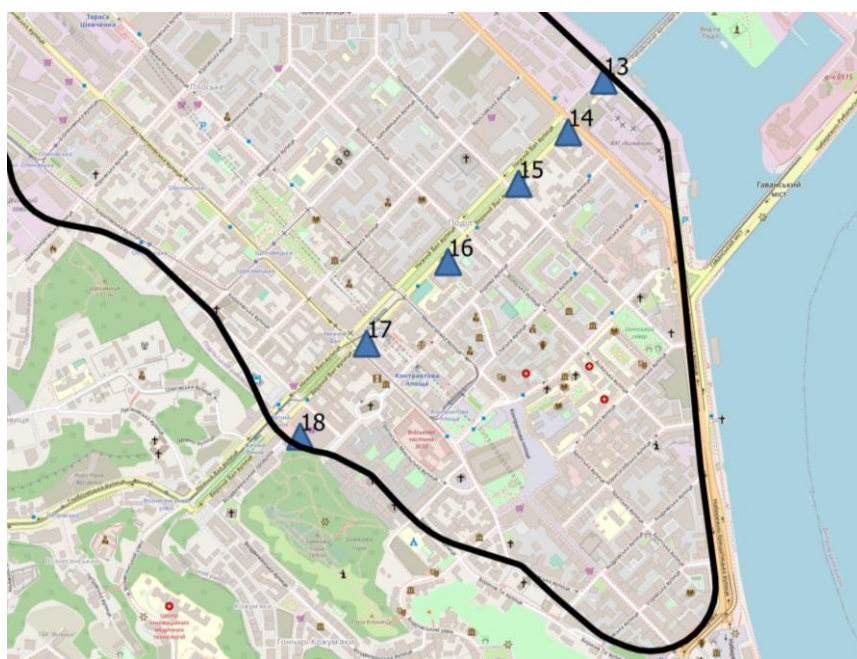
Середня Т повітря по Києву:  $+27^{\circ}\text{C}$ .

Час: 14:00-15:20.

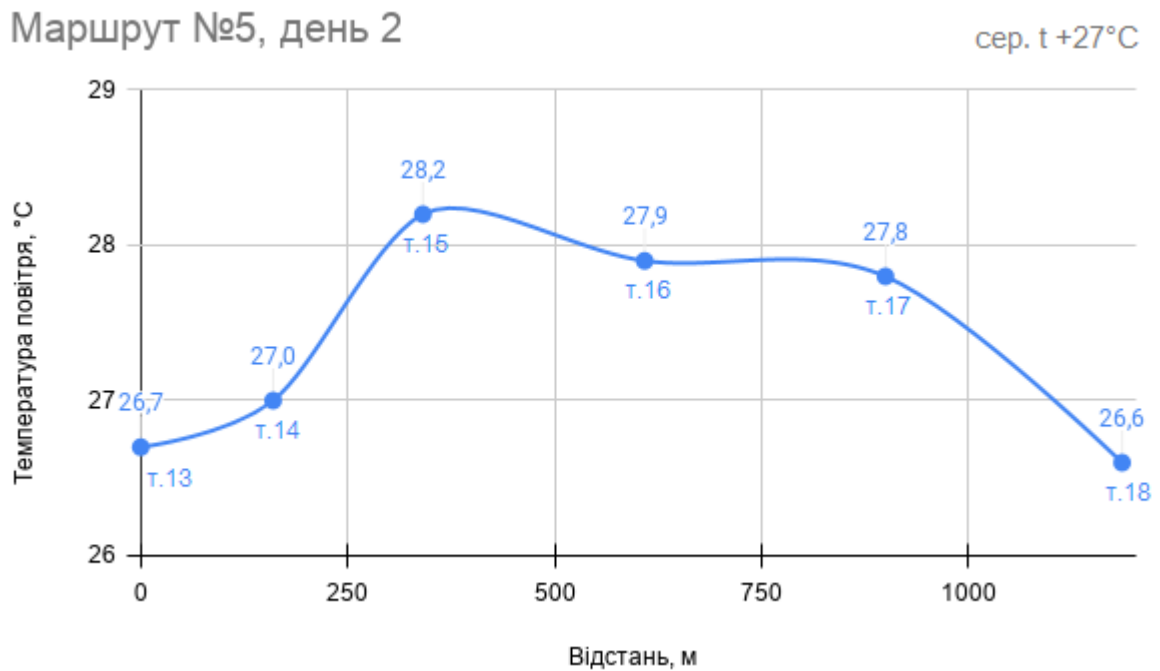
Знято проб: 6.

**Таблиця 4.6. Опис маршруту №5 (День 2)**

№	Координати точки	Температура повітря, $^{\circ}\text{C}$
13	50.472560,30.522310 (біля берега Дніпра)	26,7
14	50.471523,30.520980 (дорога)	27,0
15	50.469728,30.518849 (житлова та комерційна забудова)	28,2 (max)
16	50.467633, 30.515233	27,9
17	50.466170,30.513084 (центр Подолу)	27,8
18	50.462552, 30.508806 (підніжжя Замкової гори)	26,5 (min)
Значення перепаду температур		1,7



**Рис. 4.14. Картосхема проведення вимірів в межах маршруту №5 (день 2)**



**Рис. 4.15. Графік перепаду температур в межах маршруту №5, день 2**

Аналіз графіку на *рис. 4.15* показав, що в межах Подолу найбільший вплив на зниження температури також здійснюють водний об'єкт (р. Дніпро з пн.-сх. сторони) та зелена зона (Замкова гора з пд.-зх. сторони). Загалом, вони однаково знижують температуру в середньому на  $1.5^{\circ}\text{C}$ , а їх охолоджувальний ефект триває 150-200 м. Значних же температурних перепадів в середині виділеної частини ОТ не спостерігається.

Отже, дослідження перепаду температур в межах острова тепла №1 показали, що зелені зони в межах ОТ дещо втрачають силу своїх охолоджуючих властивостей, однак на загальному фоні все ще впливають на зниження температури оточуючого середовища. Зокрема, з отриманих даних можна зробити висновок, що в межах ОТ №1 наявні всі умови для вирішення проблеми сильного нагрівання даної місцевості – ліс на півночі, р. Дніпро на сході, зелені зони на пд.-зх., а також озера в межах самого ОТ. Перешкоджаючим фактором нині є тільки відсутність достатньої кількості зелених насаджень в середині острова тепла, які б могли пролонгувати дію природних об'єктів, що знаходяться за межами ОТ, а також озер, які без наявності зелених зон не можуть створити потужний охолоджуючий ефект. Отже, вирішення даної проблеми вбачається у збільшенні газонів, скверів, парків в межах ОТ №1.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання даної роботи було досліджено феномен острова тепла, причини його виникнення, вплив на здоров'я населення, розглянуто методи сучасних досліджень міських островів тепла, проаналізовано особливості поширення ефекту острова тепла у світі та у містах України, причини формування ОТ у місті Києві, проведено зонування території міста Києва за ступенем теплового навантаження, а також визначено вплив зелених зон на зміну температури повітря та закономірності перепаду температур в межах ОТ.

Зокрема, було з'ясовано, що ефект міського острова тепла – це локальний метеорологічний феномен різниці температур між центром міста та його периферією, який являє собою одну з найбільш значних змін клімату міста, викликаних людиною. Вперше ефект острова тепла був досліджений Люком Говардом у 1818 році, а активне дослідження ефекту по всьому світу почалось з 90-х років ХХ ст., що було пов'язано з розвитком геоінформаційних технологій.

Найпоширенішими чинниками, які спричинюють виникнення ОТ є щільна забудова, переважання штучних матеріалів у містобудуванні, відсутність зелених насаджень та забруднення повітряного басейну над містом.

Цей феномен викликає зниження термічного комфорту та тепловий стрес, негативно впливає на здоров'я людей, зниження працездатності, викликає погіршення якості води та інфраструктури міста, призводить до збільшення рівня витрат енергії системами клімат-контролю та викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Сучасна методологічна база досліджень ОТ є широкою і дозволяє оперувати різними інструментами та техніками, однак наразі найефективнішим способом виявлення та дослідження ОТ стали зображення Землі в тепловому інфрачервоному діапазоні (теплові знімки).

При дослідженні поширення ефекту ОТ у світі було встановлено, що поштовхом для його виникнення у містах на різних континентах стали швидкі теми урбанізації та глобальне потепління. Однак, на особливості, конфігурацію,

умови виникнення та подальшого розвитку ОТ впливають саме локальні чинники, які можуть бути виявлені лише при аналізі внутрішнього середовища міста. Це, в першу чергу, стосується показника концентрації промислових підприємств, міського трафіку, форми забудови, кількості зелених зон, топографії тощо. Разом ці фактори створюють унікальні умови для виникнення та розвитку ефекту острова тепла, який в кожному місті матиме свої особливості. Загалом, проблема виникнення ефекту ОТ нині фіксується у різних містах по всій планеті, не обмежуючись лише середніми широтами чи великими містами.

В Україні, як і у світі, цей феномен, тією чи іншою мірою, проявляється практично у всіх містах. Аналіз «українських» островів тепла проводився на основі досліджень проведених у 2016 році для Одеси, Дніпра, Львова та Харкова за допомогою оцінки температури поверхні та індексу рослинності (NDVI). Була виявлена чітка закономірність між показником індексу рослинності та показником температури поверхні: там, де індекс NDVI становить менше 0,15, формуються острови спеки, де температура поверхні в серпні може доходити до 35-40°C, створюючи температурні перепади на 10-20°C порівняно зі спальними районами або зеленими зонами.

На основі аналізу просторово-часових рядів даних супутникової зйомки у тепловому діапазоні в період з 1992 року по 2018 рік в межах Києва було виділено 10 стійких проявів феномена ОТ, які займають 23,5% території міста. Аналіз їхніх характеристик показав, що багаторічний тренд має загальну тенденцію до збільшення як просторових характеристик, так і сили прояву явища. Загалом площа ОТ у м. Києві збільшилась більш ніж на 25%, а середні відмінності поверхневих температур цих зон від приміських складають від 10 до 15°C.

Порівняння характеристик даних островів тепла з природними та антропогенними змінами в їхніх межах дозволили визначити найсуттєвіші причини формування локальних ОТ у м. Києві. Ними є: щільна житлова та промислова забудова, що стали головною причиною формування ОТ № 1, 5 та 7, низький відсоток зелених насаджень (ОТ № 2, 6), «поховання» ґрунтів під

бетонним покриттям (ОТ № 4, 8), переважання штучних матеріалів у будівництві (керамічна плитка, асфальт, бетон) та потужні транспортні розв'язки (ОТ № 3).

Таким чином - формування ефекту острова тепла у м. Києві напряду залежить від характеру покриття поверхні. Поверхневий прогрів територій зростає зі зменшенням площ природного ґрунтового–рослинного покриву і ущільненням міської забудови, а також за відсутності «буферних» зон з природною рослинністю. Наявність поруч з островом тепла таких зон значно пом'якшує прояв даного явища (прикладом є ОТ № 7). Нерегульована забудова в центральних частинах міста лише посилює несприятливу екологічну ситуацію, пов'язану з проявом ОТ в місті, в той час як відновлення природного рослинного покриву дозволяє досить швидко знизити, чи навіть повністю припинити прояви ОТ у місті (прикладом є ОТ № 10).

Після аналізу просторово-часових рядів даних супутникової зйомки у тепловому діапазоні для міста Києва була виконана характеристика території за ступенем теплового навантаження на основі градації теплового навантаження на територію за п'ятьма ступенями – дуже незадовільний; незадовільний; нормальний; задовільний; дуже добрий. На основі цих даних була розроблена карта теплового навантаження для міста Києва. Відтак, території, де сформувались потужні острови спеки, а саме Петрівка, Оболонь, Дарниця, Позняки та ін., мають вкрай незадовільний стан теплового навантаження, оскільки об'єкти, що знаходяться в цих зонах мають максимальне значення теплового випромінювання. Відповідно відбувається перевищення температури поверхні на 10-15°C в порівнянні лісопарковими зонами. В свою чергу, задовільний ступінь теплового навантаження характерний для місцевостей, де переважає нещільна або одноповерхова забудова серед великої кількості лісопаркових зон та озер, що виступають стабілізаційним елементом теплового поля, тому його значення є незначним і не призводить до формування островів тепла. Сюди відносяться садово-дачні ділянки «Нижні Сади», Русанівка, Лісовий масив, селище Троєщина, масив Виноградар та ін.

З метою виявлення ролі зелених насаджень у зменшенні теплового навантаження в мікрорайонах Києва, були проведені польові вимірювання поверхневої температури повітря в межах зелених зон та прилеглих територій. Польові вимірювання відбувались протягом 4 днів за ясної погоди при температурі повітря від  $+27^{\circ}\text{C}$  за допомогою мобільного термогігрографа у 4-х районах Києва. За отриманими результатами були створені графіки перепаду температур, детальний аналіз яких показав, що в середньому зелені зони охолоджують температуру повітря на  $3-3,5^{\circ}\text{C}$ . Найбільш тривалий охолоджувальний ефект серед досліджених об'єктів (понад 300 м) був зафіксований в межах зеленої зони з оз. Верхнє Вигурівське, розташованих в ж/м Троєщина; найменш тривалий – в межах парку «Молодіжний» та пд. частини парку «Перемога» - 40 і 0 метрів відповідно.

Отримані результати говорять про те, що площа зеленої зони не відіграє ключової ролі у формуванні «потужності» охолоджувального ефекту. Визначальними при цьому є наступні фактори:

1) Порідний склад зеленої зони: широколистяні насадження, в яких переважають дуби, клени, граби, тополі, верби тощо, формують більший затінок та не дають сонячному промінню досягти поверхні, на відміну від соснових та ялинових насаджень.

2) Щільність насаджень: чим щільніше розташовані дерева, тим більшим буде охолоджувальний ефект. Парки та сквери, де дерева розташовані на значній відстані один від одного, практично не охолоджують навколишній простір.

3) Наявність в межах зеленої зони інфраструктурних об'єктів, таких як магазини, кав'ярні, гральні майданчики, заасфальтовані пішохідні доріжки – все це сильно впливає на охолоджувальну здатність парку не тільки за його межами, а й в самому парку.

4) Розташування поруч або в межах зеленої зони водних об'єктів. Завдяки своїм властивостям повільно нагріватися і так же повільно віддавати тепло, влітку водні об'єкти добре охолоджують навколишній простір, чим підсилюють і охолоджувальні властивості самих зелених зон.

5) Наявність поруч з зеленою зоною інших природних об'єктів – парків, скверів, газонів тощо. Проведені дослідження показали, що навіть невеликий сквер з щільною широколистяною рослинністю може помітно зменшувати температуру навколишнього середовища. А при формуванні «буферної зони» з декількох невеликих скверів чи парків, охолоджувальну здатність великої зеленої зони, що містить в собі перераховані вище фактори, можна продовжити до 1 км і більше, звівши при цьому перепад температур до мінімуму, таким чином нівелювавши прояв ефекту ОТ.

Дослідження перепаду температур в межах острова тепла №1 показали, що зелені зони в межах ОТ дещо втрачають силу своїх охолоджуючих властивостей, однак на загальному фоні все ще впливають на зниження температури оточуючого середовища. Важливе значення відіграють і зелені зони, що знаходяться за межами ОТ – вони також впливають на зменшення температури, саме тому в центрі ОТ температури є вищими, ніж на його крайніх частинах. Зокрема, з отриманих даних був зроблений висновок, що перешкоджаючим фактором у подоланні прояву ефекту ОТ №1 нині є тільки відсутність достатньої кількості зелених насаджень в середині острова тепла, які б могли пролонгувати дію природних об'єктів, що знаходяться як в межах, так і за межами ОТ.

Отже, було встановлено, що ефект острова тепла нині є поширеною проблемою, яка проявляється у містах на всіх континентах. Фактори, що призводять до його виникнення, у кожному місті є різними, однак негативні наслідки для населення, навколишнього середовища та економіки є однаковими для всіх – погіршення здоров'я, якості вод та повітря, збільшення економічних втрат. З кожним роком ця проблема прогресує та створює необхідність пошуку способів її подолання. Дослідження, проведені в межах даної роботи, показали, що зелені зони міст, а саме їх площа та порідний склад, визначають внутрішні кліматичні параметри міста, а збільшення кількості зелених зон у місцях з найбільшими показниками нагріву поверхні є простим та ефективним способом зменшення або повного усунення проявів ОТ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адаптація до змін клімату: зелені зони на варті прохолоди. Казанцев Т. та ін.; К: Зелена Хвиля. 2016. 40 с.
2. Быкова М. Ученые открыли над Москвой остров тепла. *МК.ru*: веб-сайт. 2016. URL: <http://www.mk.ru/moscow/2016/04/05/uchenye-otkryli-nad-moskvoyu-ostrov-tepla.html> (дата звернення: 08.11.2020).
3. Грищенко М. Ю. Аэрокосмические исследования городского острова тепла. *Геоинформатика, картография, дистанционное зондирование Земли*. 2014. Вып. 19. С. 22–28.
4. Грищенко М. Ю. Изучение городских островов тепла по космическим снимкам. *Вестник МГУ*. 2014. №2. С. 21–26.
5. Грищенко М., Константинов П. Дешифрирование поверхностного острова тепла Москвы по тепловым космическим снимкам с ресурсных спутников. *Збірник наукових праць*. Харків. 2016. №23. С. 27–34.
6. Дослідження показало, що зелені насадження зменшують температуру повітря у місті у спеку. *Хмарочос*: веб-сайт. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2016/10/26/doslidzhennya-pokazalo-shho-zeleni-nasadzhennya-zmenshuyut-temperaturu-povitrya-u-misti-u-speku/> (дата звернення: 21.03.2020).
7. Исаков С.В., Шкляев В. А. Определение суммарного влияния антропогенноизменных поверхностей на возникновение эффекта «Городского острова тепла» с использованием геоинформационных систем. *Вестник ОГУ*. 2014. №1 (162). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-summarnogo-vliyaniya-antropogennoizmennyh-poverhnostey-na-vozniknovenie-effekta-gorodskogo-ostrova-tepla-s-ispolzovaniem> (дата звернення: 15.10.2020).
8. Иностраный опыт: Раскопанная река в Сеуле. *The Village*: веб-сайт. URL: <https://www.the-village.ru/village/city/abroad/123305-inostrannyu-opyt-raskopannaya-reka-v-seule> (дата звернення: 08.11.2020).

9. Казанцев Т., Халаїм О., Василюк О. Дослідження теплового поля м.Києва за даними космічного зондування в ІЧ-діапазоні, як складової аналізу екологічного стану урбанізованої території. Київ: УЕК "Зелена Хвиля". 2014. 39 с.

10. Корогода, Н., Бричник, В. (2019). GIS analysis of the phenomenon of urban heat island on the example of Kyiv for 1992-2018. *Physical Geography and Geomorphology*, 96(4-6), 29–35.

11. Крылова А. Б. Мониторинг формирования и развития “теплового острова” города Киева / А. Б. Крылова. // *Український журнал дистанційного зондування Землі*. – 2014. – №2. – С. 35–37.

12. Лансберг Г. Е. Климат города / За ред. А. С. Дубова. Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 242 с.

13. Маринин И.Л., Драничер О.Р. Некоторые оценки характеристик острова тепла г. Одесса. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2013. Вип. №12. С. 54-61.

14. Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку: Збірник матеріалів 6-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Картографування в науковій, освітянській та управлінській діяльності» / Відп. за вип. А.А. Москалюк. – К.: ДНВП «Картографія», 2014. – Вип. 6. – 122 с.

15. Українська бетонна пустеля. Texty.org: веб-сайт. URL: <http://texty.org.ua/d/urban-heat-web/> (дата звернення: 08.11.2020).

16. Філіпович В. Є., Крилова Г. Б. Дослідження теплового поля м. Києва за даними космічного зондування в ІЧ-діапазоні, як складової аналізу екологічного стану урбанізованої території. *XIII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях»*. Київ, 2014. С. 16–28

17. Шевченко О.Г., Сніжко С.І., Самчук Є.В. Температурні аномалії великого міста. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2011. Вип. №8. С. 67-73.

18. Що це таке – індекс NDVI? *IRLEN*: веб-сайт. URL: <https://www.irlen.com.ua/ndvi-index> (дата звернення: 08.11.2020).

19. Analysis of Heat Waves and Urban Heat Island Effects in Central European Cities and Implications for Urban Planning / Simpson Z. and other. World Bank Group: веб-сайт. 2020. URL: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/740251596528336330> (дата звернення: 08.11.2020).

20. Bristow R., Blackie R., Brown N. Parks and the urban heat island: A longitudinal study in Westfield, Massachusetts. *Northeastern Recreation Research Symposium*. 2010. №94. P. 224 – 230.

21. Chandler T. J. The climate of London. London : Hutchinson, 1965. 150 p.

22. Clark T. Eco-Strategies to Reduce the Hazardous Effect of Urban Heat Island [Електронний ресурс] / Том Clark // Virily. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://virily.com/home-gardening/eco-strategies-to-reduce-the-hazardous-effect-of-urban-heat-island/>.

23. Cool Cities Network [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://www.c40.org/networks/cool\\_cities](http://www.c40.org/networks/cool_cities).

24. Hewston R. Heat stress threatens to cut labour productivity in SE Asia by up to 25% within 30 years. *Verisk Maplecroft*. 2015. URL: <https://maplecroft.com/portfolio/new-analysis/2015/10/28/heat-stress-threatens-cut-labour-productivity-se-asia-25-within-30-years-verisk-maplecroft/> (дата звернення: 11.10.2020).

25. Howard L. The climate of London. London, 1991. – 285 p.

26. Hot and Getting Hotter: Heat Islands Cooking U.S. Cities. *Climate Central*: веб-сайт. URL: <https://www.climatecentral.org/news/urban-heat-islands-threaten-us-health-17919> (дата звернення: 08.11.2020).

27. Kolokotroni M., Giridharan R. Urban heat island intensity in London: An investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer. *Solar Energy*. 2008. Vol. 82 (11). P. 32-39.

28. Land Viewer : веб-сайт. URL: <https://eos.com/landviewer/>. (дата звернення: 17.10.2020).

29. Lung N. Making Singapore cool again: A conversation with Professor Gerhard Schmitt. *OpenGov*. 2018. URL: <https://www.opengovasia.com/articles/exclusive-making-singapore-cool-again-a-conversation-with-professor-gerhard-schmitt> (дата звернення: 11.10.2020).

30. Loomis B. In Dallas as in Phoenix, people look to trees for relief from Urban Heat Islands. *Azcentral*: веб-сайт. 2018. URL: <https://www.azcentral.com/story/news/local/arizona-environment/2017/12/29/> (дата звернення: 08.11.2020).

31. Martin-Vide J., Moreno-Garcia M. Probability values for the intensity of Barcelona's urban heat island (Spain). *Elsevier. Atmospheric Research*. 2020. Vol. 240. P. 1-9.

32. Nastrana M., Kobala M., Eler K. Urban heat islands in relation to green land use in European cities. *Elsevier. Urban Forestry & Urban Greening*. 2019. Vol. 37. P. 33-41.

33. NASA Landsat Program, Landsat TM сцена LT41810251992233AAA02, L1T, USGS, 1992.08.20 – Режим доступу: <https://earthexplorer.usgs.gov>

34. NASA Landsat Program, Landsat OLI/TIRS сцена LC81810252018216LGN00, L1T, USGS, 2018.08.04 – Режим доступу: <https://earthexplorer.usgs.gov>

35. NASA Landsat Program, Landsat TM сцена LT51810252001217MTI00, L1T, USGS, 2001.08.05 – Режим доступу: <https://earthexplorer.usgs.gov>

36. NASA Landsat Program, Landsat TM сцена LT51810252008221MTI00, L1T, USGS, 2008.08.08 – Режим доступу: <https://earthexplorer.usgs.gov>

37. OpenStreetMap: веб-сайт. URL: <https://www.openstreetmap.org/> (дата звернення: 21.03.2020).

38. Salem E. Urban Heat Island Effect Is Caused By ‘Grid-Like’ Urban Layout. *PROGRSS*. 2018. URL: <https://progrss.com/design/20180302/urban-heat-island-effect-grid-like-layout/> (дата звернення: 11.10.2020).

39. Sobstyl J., Emig T. and other. Role of city texture in Urban Heat Islands at nighttime. *Physical Review Letters*. 2018. Vol. 120. P. 12-18.

40. Urban population (% of total population). *The Worldbank*: веб-сайт. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS> (дата звернення: 09.10.2020).

41. Urban Heat Islands. NASA Earth Observatory: веб-сайт. URL: [https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=47704&eocn=image&eoci=related\\_image](https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=47704&eocn=image&eoci=related_image) (дата звернення: 17.10.2020).

42. Urban Land Institute report proposes ideas to Alleviate Urban Heat Island effect in Gowanus. *Bklyner*: веб-сайт. URL: <https://bklyner.com/urban-land-institute-report-proposes-ideas-alleviate-urban-heat-island-effect-gowanus/> (дата звернення: 08.11.2020).

43. Using the USGS Landsat Level-1 Data Product [Електронний ресурс] // USGS – Режим доступу до ресурсу: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product>.

44. 2014 revision of the World Urbanization Prospects. *United Nations*: веб-сайт. URL: <https://www.un.org/en/development/desa/publications/2014-revision-world-urbanization-prospects.html> (дата звернення: 09.10.2020).