

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ,  
ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ Тамара ДУДАР  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 101 «ЕКОЛОГІЯ»,  
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ  
«ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»

**Тема: «Картування та оцінка впливу міських островів тепла,  
посиленого змінами клімату (на прикладі міста Києва)»**

Виконавець: здобувач групи ЕК 201М Рожко Віталій Валеріанович  
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: доктор технічних наук, професор Дудар Тамара Вікторівна  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: \_\_\_\_\_  
(підпис)

Катерина КАЖАН  
(П.І.Б.)

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_  
(підпис)

Андріан ЯВНЮК  
(П.І.Б.)

КИЇВ 2023

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра екології

Спеціальність, освітньо-професійна програма: спеціальність 101 «Екологія»,  
ОПП «Екологія та охорона навколишнього середовища»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Тамара ДУДАР

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Рожка Віталія Валеріановича

1. Тема роботи «Картування та оцінка впливу міських островів тепла, посиленого змінами клімату (на прикладі міста Києва)» затверджена наказом ректора від «10» липня 2023 р. №1096/ст
2. Термін виконання роботи: з 02.10.2023 р. по 26.12.2023 р.
3. Вихідні дані роботи: багатоспектральні космічні знімки LANDSAT-8, Google Earth Engine
4. Зміст пояснювальної записки: Застосування даних ДЗЗ для оцінки стану міських островів тепла. Картування міських островів тепла міста Києва.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки,.

## 6. Календарний план-графік

| № з/п | Завдання  | Термін виконання | Підпис керівника |
|-------|---|------------------|------------------|
| 1     | Вибірка супутникового знімку та пошук інформаційних джерел за темою дистанційного зондування  | 16.10.2023       |                  |
| 2     | Аналіз літературних та електронних джерел щодо ДЗЗ, міських островів тепла                    | 30.10.2023       |                  |
| 3     | Обробка знімків за допомогою скриптів Google Earth Engine                                     | 13.11.2023       |                  |
| 4     | Початок розробки практичної частини дипломної роботи, покращення знань та навичок у сфері ДЗЗ | 20.11.2023       |                  |
| 5     | Початок формування структурованої дипломної роботи  | 27.11.2023       |                  |
| 6     | Фіналізація дипломної роботи  | 14.12.2023       |                  |
| 7     | Підготовка до захисту дипломної роботи, презентації   | 25.12.2023       |                  |

## 7. Консультація з окремого(мих) розділу(ів):

| Розділ        | Консультант (посада, П.І.Б.) | Дата, підпис   |                  |
|---------------|------------------------------|----------------|------------------|
|               |                              | Завдання видав | Завдання прийняв |
| Охорона праці | Консультант Катерина КАЖАН   |                |                  |

## 8. Дата видачі завдання: «02» жовтня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи (проекту):

\_\_\_\_\_

(підпис керівника)

Тамара ДУДАР

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання:

\_\_\_\_\_

(підпис випускника)

Віталій РОЖКО

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Картування та оцінка впливу міських островів тепла, посиленого змінами клімату (на прикладі міста Києва)»: 60 с., 12 рис., 1 табл. , 25 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: формування міського острова тепла на прикладі міста Києва.

Мета роботи: картування та оцінка впливу островів тепла міста Києва методом обробки інфрачервоних знімків LANDSAT 8.

Методи дослідження: оброблення, аналіз супутникових знімків досліджуваної території, дистанційний метод визначення міських островів тепла, аналітика та картування міських островів тепла.

ОСТРОВИ ТЕПЛА, ІНФРАЧЕРВОНЕ ЗНІМАННЯ, БАГАТОСПЕКТРАЛЬНІ КОСМІЧНІ ЗНІМКИ, ТЕПЛОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ, УРБАНІЗАЦІЯ

## ЗМІСТ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>ВСТУП.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>РОЗДІЛ 1. Феномен міських островів тепла: причини виникнення та розповсюдження.....</b>                                | <b>10</b> |
| 1.1. Причини виникнення міських островів тепла.....   | 10        |
| 1.2. Теплове навантаження в містах.....   | 13        |
| 1.2.1. в Європейських містах.....   | 18        |
| 1.2.2. у США та світі.....  | 21        |
| 1.3. Вплив від міських островів тепла на навколишнє середовище, живі істоти та рослинність.....                           | 23        |
| 1.4. Заходи зі зменшення негативного впливу від островів тепла.....   | 29        |
| 1.5. Висновки до розділу 1.....   | 32        |
| <b>РОЗДІЛ 2. КАРТУВАННЯ І ОЦІНКА ВПЛИВУ.....</b>  | <b>34</b> |
| 2.1. Методи.....  | 34        |
| 2.2. Картування та оцінка впливу.....   | 36        |
| 2.3 Висновки до розділу 2.....  | 49        |
| <b>РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ. ОЦІНКА ІНТЕНСИВНОСТІ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ ФАХІВЦЯ-ЕКОЛОГА.....</b> | <b>50</b> |
| 3.1. Вимоги до параметрів мікроклімату.....   | 50        |
| 3.2. Нормування ІЧ випромінювань.....   | 54        |
| 3.3. Основні вимоги до засобів нормалізації мікроклімату та теплозахисту.....   | 55        |
| 3.4. Висновки до розділу 3.....   | 56        |
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>  | <b>57</b> |
| <b>СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ....</b>  | <b>59</b> |

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

МОТ – міські острови тепла;

ІЧ – інфрачервоне.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Супутникове та космічне зондування поверхні Землі є одним із найбільш перспективних та незасвоєних напрямків у екології. Використання «космосу» для «панування» на Землі допомагає зберегти багато часу та ресурсів для швидкого, а головне точного отримання необхідних результатів. Методика дистанційного зондування надає нам можливість проводити аналіз та моніторинг на іншому кінці світу, сидячі за робочим або домашнім комп'ютером.

Використовуючи супутниковий моніторинг, ми можемо отримувати багато різноманітних даних для оброблення. Одним з таких є дослідження міських островів тепла. Саме тепло є непомітним вбивцею, про існування якого людство дізналось лише у процесі пришвидшеної урбанізації. Супутники з легкістю допомагають виокремити та оцінити основні ареали забруднення, які неозброєним оком помітити не надається змоги.

Багато країн світу, включаючи країни-лідерки у сфері екології, такі як США, країни Європи, Японія вже давно опікаються проблемами теплового забруднення на урбанізованих територіях. Використання існуючих наробок для імплементації у нашій країні, розвиток нових напрямків для покращення стану навколишнього середовища та збереження людського здоров'я – ось яка користь від супутникового моніторингу.

### ***Мета і завдання виконання кваліфікаційної роботи.***

Мета роботи – картування та оцінка впливу островів тепла міста Києва методом обробки інфрачервоних знімків LANDSAT 8.

Завдання роботи:

1. Пошук та вибірка супутникових зображень за допомогою каталогу LANDSAT;
2. Обробка даних зі знімку за допомогою інструментального набору Google Earth Engine;
3. Опрацювання отриманих даних та визначення основної інформації

(температура, місця розташування, періодичність);

4. Картування основних теплових зон міста Києва;

5. Формування висновків та рекомендацій на основі проаналізованих даних.

**Об'єкт дослідження** – формування міського острову тепла на прикладі міста Києва.

**Предмет дослідження** – Дослідження поширення та впливу островів тепла в місті Києві.

**Методи дослідження** – оброблення, аналіз супутникових знімків досліджуваної території, дистанційний метод визначення міських островів тепла, аналітика та картування міських островів тепла.

**Наукова новизна отриманих результатів.** За результатами проведеного дослідження міських островів тепла на прикладі міста Києві було закартовано, описано ареали міських островів тепла та надано рекомендації з покращення екологічного стану на проаналізованих ділянках м. Києва.

**Практичне значення отриманих результатів.** За результатами проведеної роботи, була сформована мапа міських островів тепла з наведеними висновками та рекомендаціями. Мапа та аналітична частина може бути використана у порівнянні міських островів тепла м. Києва, для аналітичної та статистичної діяльності, дослідницької діяльності.

**Особистий внесок випускника:** за допомогою не прямого (дистанційного метода) отримання інформації зони дослідження проводився аналіз та картування міських островів тепла на прикладі міста Києва, відзначивши їх ареали та надавши рекомендації щодо покращення стану навколишнього середовища.

**Апробація отриманих результатів.** Результати кваліфікаційної роботи доповідалися на Міжнародному науковому симпозіумі «Тиждень еколога – 2021» 18-20 жовтня 2021; IV Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» 7-8 грудня 2023 року; 6-му Міжнародному молодіжному конгресі «Сталий розвиток захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» 09-10 лютого 2021 року;

**Публікації у:** VIII International Science Conference «Impact of modernity on



science and practice» 6-7 квітня 2021 року;

Міжнародному науковому симпозиумі «Тиждень еколога – 2021» 18-20 жовтня 2021;

IV Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» 7-8 грудня 2023 року;

6-му Міжнародному молодіжному конгресі «Сталий розвиток захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» 09-10 лютого 2021 року;

XIV Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Екологічна безпека держави» 23 квітня 2020 року;

XV Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Екологічна безпека держави» 22 квітня 2021 року;

XVI Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Екологічна безпека держави» 21 квітня 2022 року;

VIII Міжнародній науковій конференції молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» 26-27 листопада 2020 року;

# РОЗДІЛ 1

## ФЕНОМЕН МІСЬКИХ ОСТРОВІВ ТЕПЛА: ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ТА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ

### 1.1. Причини виникнення міських островів тепла

Міські райони зазвичай відчувають ефект міських теплових островів (МОТ), тобто вони значно тепліші, ніж навколишні сільські або природні райони. Різниця температур зазвичай більша вночі, ніж вдень, і найбільш помітна, коли вітри слабкі, в блокових умовах, помітно влітку та взимку. Основною причиною ефекту МОТ є модифікація поверхні землі, тоді як відпрацьоване тепло, що утворюється в результаті використання енергії, є другорядним фактором. Дослідження показало, що на острови тепла може впливати близькість до різних типів ґрунтового покриву, так що близькість до безплідної землі призводить до того, що міська земля стає гарячішою, а близькість до рослинності робить її холоднішою. Коли населений пункт росте, він має тенденцію до розширення своєї площі та підвищення середньої температури. Використовується також термін тепловий острів; цей термін можна використовувати для позначення будь-якої території, яка є відносно гарячішою, ніж навколишнє, але, як правило, відноситься до територій, де турбує людина [1].

Місячна кількість опадів більша за вітром від міст, частково через МОТ. Підвищення температури в міських центрах збільшує тривалість вегетаційних періодів і зменшує кількість слабких торнадо. МОТ знижує якість повітря, збільшуючи вироблення забруднюючих речовин, таких як озон, і погіршує якість води, оскільки тепліші води надходять у місцеві потоки та створюють навантаження на їхні екосистеми.

Це явище було вперше досліджено та описано Люком Ховардом у 1810-х роках, хоча він не був тим, хто дав назву феномену. В описі самого першого звіту УНІ Люка Говарда говориться, що вночі в міському центрі Лондона було тепліше, ніж у навколишній сільській місцевості на 2,1 °С.

Дослідження міської атмосфери тривали протягом усього дев'ятнадцятого століття. У період між 1920-ми та 1940-ми роками дослідники у новій галузі місцевої кліматології або мікомасштабної метеорології в Європі, Мексиці, Індії, Японії та Сполучених Штатах шукали нові методи розуміння цього явища.

У 1929 році Альберт Пеплер використав цей термін у німецькій публікації, яка вважалася першим випадком еквівалента міського теплового острова: *städtische Wärmeinsel* (що німецькою мовою означає міський тепловий острів). Між 1990 і 2000 роками щорічно публікувалося близько 30 досліджень; до 2010 року ця кількість зросла до 100, а до 2015 року перевищила 300.

У 1969 році Леонард О. Міруп опублікував першу всебічну чисельну обробку для прогнозування ефектів міського теплового острова (УНІ). Його стаття досліджує УНІ та критикує існуючі на той час теорії як надмірно якісні.

Не всі міста мають чіткий міський тепловий острів, а характеристики теплового острова сильно залежать від фонового клімату місцевості, в якій розташоване місто. Ефекти в межах міста можуть значно відрізнятися залежно від місцевих екологічних умов. Тепло можна зменшити за допомогою деревного покриву та зелених насаджень, які діють як джерела тіні та сприяють охолодженню через випаровування. Інші варіанти включають зелені дахи, застосування пасивного денного радіаційного охолодження та використання поверхонь світлішого кольору та менш поглинальних будівельних матеріалів у міських районах, щоб відбивати більше сонячного світла та поглинати менше тепла.

Зміна клімату не є причиною міських теплових островів, але вона спричиняє частіші та більш інтенсивні теплові хвилі, які, у свою чергу, посилюють ефект міського теплового острова в містах. Компактна щільна міська забудова може посилити ефект міського теплового острова, що призведе до підвищення температури та збільшення впливу [2].

Є кілька причин міського теплового острова; наприклад, темні поверхні поглинають значно більше сонячного випромінювання, через що міські скупчення доріг і будівель нагріваються більше, ніж приміські та сільські райони протягом дня;

матеріали, які зазвичай використовуються в міських районах для тротуарів і дахів, такі як бетон і асфальт, мають суттєво інші термічні об'ємні властивості (включаючи теплоємність і теплопровідність) і радіаційні властивості поверхні (альbedo і коефіцієнт випромінювання), ніж навколишні сільські райони. Це спричиняє зміни в енергетичному бюджеті міської території, що часто призводить до вищих температур, ніж у навколишніх сільських районах.

Тротуари, паркінги, дороги або, загалом кажучи, транспортна інфраструктура, значною мірою сприяють ефекту міського теплового острова. Наприклад, інфраструктура тротуарів є головним джерелом спеки в містах вдень у Фініксі, Сполучені Штати [3].

Іншою основною причиною є відсутність випаровування (наприклад, через відсутність рослинності) у міських районах. У 2018 році Лісова служба США виявила, що міста Сполучених Штатів втрачають 36 мільйонів дерев щороку. Зі зменшенням кількості рослинності міста також втрачають тінь і охолоджуючий ефект випаровування дерев.

Інші причини, пов'язані з геометричними ефектами. Високі будинки в багатьох міських районах забезпечують численні поверхні для відбиття та поглинання сонячного світла, підвищуючи ефективність обігріву міських територій. Це називається «ефект міського каньйону». Іншим ефектом будівель є блокування вітру, який також перешкоджає охолодженню за рахунок конвекції та перешкоджає розсіюванню забруднюючих речовин. Відпрацьоване тепло від автомобілів, кондиціонерів, промисловості та інших джерел також сприяє МОТ.

Високий рівень забруднення в міських районах також може збільшити МОТ, оскільки багато форм забруднення змінюють радіаційні властивості атмосфери. МОТ не тільки підвищує міську температуру, але й збільшує концентрацію озону, оскільки озон є парниковим газом, утворення якого прискорюється з підвищенням температури.

Зміна клімату є не причиною, а підсилювачем ефекту міського теплового острова. Шостий звіт про оцінку МГЕЗК від 2022 року відповідно узагальнив доступні дослідження: «Зміна клімату збільшує ризик теплового стресу в містах і

посилює міський острів тепла в містах Азії на рівнях потепління на 1,5°C і 2°C, обидва значно більші, ніж за нинішнього клімату.

У світі, що потеплішає, підвищення температури повітря посилює ефект міського теплового острова в містах. Одним із ключових ризиків є хвилі спеки в містах, які, ймовірно, вразять половину майбутнього глобального міського населення, що негативно позначиться на здоров'я людини та економічна продуктивність.

Існують марні взаємодії між теплом та побудованою інфраструктурою: ці взаємодії підвищують ризик теплового стресу для людей, які живуть у містах.

Різниця температур міського теплового острова не тільки зазвичай більша вночі, ніж вдень, але також більша взимку, ніж влітку. Це особливо вірно в районах, де часто буває сніг, оскільки міста, як правило, тримають сніг коротше. періодів часу, ніж навколишні сільські території (це пов'язано з вищою ізоляційною здатністю міст, а також людською діяльністю, наприклад оранкою). Це зменшує альбедо міста і тим самим посилює ефект нагрівання. Вищі швидкості вітру в сільській місцевості, особливо взимку, також можуть спричиняти прохолоду, ніж у містах. Регіони з чітко вираженими вологим і сухим сезонами демонструватимуть більший ефект міського теплового острова під час сухого сезону.

Існують марні взаємодії між теплом та побудованою інфраструктурою: ці взаємодії підвищують ризик теплового стресу для людей, які живуть у містах.

## **1.2. Теплове навантаження в містах**

Ефект теплового острова значною мірою спричинений цеглою, асфальтом та іншими міськими будівельними матеріалами, які поглинають сонячну енергію вдень і віддають її у вигляді тепла вдень і ввечері. Цей ефект можна порівняти з прогулянкою через автостоянку в спекотний день. Ви можете відчути жахливу спеку, що випромінює асфальт, і приплив теплого повітря, коли ви проходите повз машину, що працює. Високі споруди блокують вітер, який може охолодити стоянку, змушуючи вас пітніти. У масштабах міста, ці фактори — тверді поверхні, відпрацьоване тепло від транспортних засобів і кондиціонерів, відсутність крон дерев

і бризу — у сукупності роблять міста на 4 градуси Цельсія спекотнішими, ніж у навколишніх областях протягом дня.

Спека збільшує фізичне напруження та навантаження; загострює наявні проблеми з диханням, нирками та печінкою; і, як було показано, викликає передчасні пологи. Спека також збільшує економічний тягар: кілька градусів можуть бути різницею між тим, щоб залишити кондиціонер вимкненим і ввімкнути його [4].

У межах міста дерева та парки можуть зменшити ефект теплового острова, але такі зручності найчастіше зустрічаються в елітних «зелених» районах. Проблема міської спеки та диспропорції, які вона посилює, лише зростають, оскільки зміна клімату збільшує частоту та інтенсивність хвиль літньої спеки, а урбанізація робить міста ще теплішими.

У всьому світі більше половини людей живе в містах, і, за прогнозами, частка міських жителів буде зростати. Міста часто страждають від «островів тепла», коли температури в містах вищі, ніж у сусідніх сільських районах. Це посилює ефект спеки в містах і підвищує ризик для здоров'я людей.

Глобальність дослідження та висока роздільна здатність просторового аналізу дають змогу порівнювати міста в різних кліматичних зонах і навіть у різних частинах мегаполісів.

У глобальних мегаполісах, таких як Токіо, Нью-Йорк, Париж і Лондон, дослідження спостерігало дуже високу мінливість температури всередині міста. Гарячі точки часто зустрічаються в промислових зонах, де відпрацьоване тепло, використання темних будівельних матеріалів і відсутність рослинності можуть призвести до дуже високих температур поверхні землі. Наприклад, у Парижі гарячі точки знаходяться на схід від Сен-Дені та поблизу Шевільї-Ларю, навколо великих промислових комплексів.

Дослідження підкреслює, що нетрі також можуть утворювати гарячі точки тепла через їх хаотичну, щільну та нерегульовану урбанізацію. Інтенсивний вплив тепла в поєднанні з бідністю, поганими житловими умовами та обмеженим доступом до охолодження створює серйозну загрозу здоров'ю людей.

З іншого боку, міські парки та зелені зони часто забезпечують нижчу

температуру (наприклад, Булонський ліс і Венсенський ліс у Парижі). Водні об'єкти, як річка Дунай у Будапешті, також можуть пом'якшити ефект міського теплового острова.

Ефект міського теплового острова, як правило, найсильніший у районах з помірним і вологим кліматом, а також у густій сільській рослинності. Навпаки, там, де сільська місцевість має лише мізерну рослинність, особливо в пустелях, у таких містах, як Каїр у Єгипті, влітку температура поверхні часто нижча, ніж у сусідніх неміських районах. Однією з потенційних причин є сильніша присутність рослинності в містах, ніж за їх межами.

Нарешті, в мусонних регіонах різниця між містами та їхніми сільськими районами є меншою, оскільки велика кількість опадів пом'якшує різницю між містом і селом.

Міська кліматологія тісно пов'язана з дослідженнями глобального потепління. Будучи центрами соціально-економічної діяльності, міста виробляють велику кількість парникових газів, особливо CO<sub>2</sub> в результаті людської діяльності, такої як транспорт, розвиток, відходи, пов'язані з вимогами до опалення та охолодження тощо.

Очікується, що у всьому світі міста виростуть у 21-му столітті - у міру зростання та розвитку ландшафтів, у яких вони мешкають, змінюватиметься й атмосфера над ними, збільшуючи викиди парникових газів, що сприяє глобальному парниковому ефекту [5].

Нарешті, багато міст вразливі до прогнозованих наслідків зміни клімату (підвищення рівня моря, зміни температури, опади, частота штормів), оскільки більшість з них розвиваються на або поблизу узбережжя, майже всі створюють чіткі міські острови тепла та забруднення атмосфери: як території, в яких там сконцентровано людське проживання, ці наслідки потенційно матимуть найбільший і найдраматичніший вплив (наприклад, хвиля спеки в Європі 2003 року, яка була особливо смертоносною у Франції), і, отже, є головною темою для міської кліматології.

Глобальне потепління впливає на всі частини кліматичної системи Землі.

Глобальна температура поверхні піднялася на 1,1 °С. Вчені кажуть, що в майбутньому вони зростуть і далі. Зміни клімату на всій Землі нерівномірні. Зокрема, більшість ділянок суші нагрілися швидше, ніж більшість океанів. Арктика нагрівається швидше, ніж більшість інших регіонів. Нічні температури зростали швидше, ніж денні. Вплив на природу і людей залежить від того, наскільки більше нагріється Земля [6].

Вчені використовують кілька методів для прогнозування наслідків зміни клімату, спричиненої діяльністю людини. Один з них полягає в дослідженні минулих природних змін клімату. Щоб оцінити зміни клімату Землі в минулому, вчені досліджували кільця дерев, керни льоду, корали, а також океанські та озерні відкладення. Вони показують, що останні температури перевищили будь-які показники за останні 2000 років. До кінця 21 століття температура може зрости до рівня, який востаннє спостерігався в середині пліоцену. Це було близько 3 мільйонів років тому. У той час середня глобальна температура була приблизно на 2–4 °С вище, ніж доіндустріальна температура. Глобальний середній рівень моря був на 25 метрів вищим, ніж сьогодні. Сучасне підвищення температури та концентрації CO<sub>2</sub> було швидким. навіть раптові геофізичні події в історії Землі не наближаються до сучасних темпів.

Наскільки нагріється світ, залежить від викидів парникових газів, які викидає людина, і від того, наскільки клімат чутливий до парникових газів. Чим більше вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) буде викидано в 21 столітті, тим спекотніше буде у світі до 2100 року. Для подвоєння концентрації парникових газів глобальна середня температура підвищиться приблизно на 2,5–4 °С. Що було б, якби викиди CO<sub>2</sub> раптово припинилися і не було б використання технологій негативних викидів? Клімат Землі не почне повертатися до свого доіндустріального стану. Температура залишатиметься на тому ж високому рівні протягом кількох століть. Приблизно через тисячу років від 20% до 30% CO<sub>2</sub>, що викидається людиною, залишиться в атмосфері. Океан і земля не взяли б їх. Це призведе до того, що клімат стане теплішим ще довго після припинення викидів [7].

Завдяки поточній політиці пом'якшення наслідків температура до 2100 року



буде приблизно на 2,7 °C вище доіндустріального рівня. Вона підвищиться до 2,4 °C, якщо уряди досягнуть усіх безумовних обіцянок і цілей, які вони взяли. Якщо всі країни, які встановили або розглядають цілі чистого нуля, досягнуть їх, температура підвищиться приблизно на 1,8 °C. Існує великий розрив між національними планами та зобов'язаннями та діями, які вживають уряди в усьому світі.

Починаючи з 1950-х років у зв'язку зі зміною клімату, хвилі спеки над сушею стали більш частими та більш інтенсивними майже в усіх регіонах світу. Хвилі спеки частіше виникають одночасно з посухами. Морська спека вдвічі більша, ніж у 1980 році. Зміна клімату призведе до збільшення кількості дуже спекотних днів і зменшення кількості дуже холодних днів. Холодних хвиль менше.

Експерти часто можуть пов'язувати інтенсивність окремих теплових хвиль з глобальним потеплінням. Деякі екстремальні події були б майже неможливі без впливу людини на кліматичну систему. Теплова хвиля, яка виникала раз на десять років до початку глобального потепління, тепер трапляється в 2,8 рази частіше. З подальшим потеплінням хвилі спеки почастишають. Подія, яка відбуватиметься кожні десять років, відбуватиметься кожні два роки, якщо глобальне потепління досягне 2 °C [8].

Тепловий стрес пов'язаний з температурою. Він також збільшується, якщо вологість вище. Вологий термометр вимірює як температуру, так і вологість. Людина не може адаптуватися до температури за вологим термометром вище 35 °C. Цей тепловий стрес може вбити людей. Якщо глобальне потепління утримуватиметься на рівні нижче 1,5 або 2 °C, можливо, буде можливо уникнути цієї смертоносної спеки та вологості в більшості тропіків. Але негативний вплив на здоров'я все одно може бути [9].

Є деякі докази того, що зміна клімату призводить до ослаблення полярного вихору. Це зробить струменевий потік більш хвилястим. Це призведе до спалахів дуже холодної зимової погоди в деяких частинах Євразії та Північної Америки та проникнення дуже теплого повітря в Арктику.

**Кілометри твердих темних поверхонь поглинають, а потім випромінюють**

**тепло назад у міста.** Альbedo — це частка вхідного сонячного світла (сонячного випромінювання), відбитого поверхнею. З усіх факторів, які використовуються для розрахунку значень індексу MOT, альbedo, як правило, має найбільший вплив.

**Щільність населення має значення.** Викиди тепла можуть походити від багатьох аспектів міського життя, включаючи транспорт, промислові об'єкти, а також опалення та охолодження будівель. Під час літньої спеки кондиціонування повітря з міських будівель може нагріти зовнішнє повітря на 20% більше.

**Менше рослинності означає менше охолодження через випаровування.** Частково завдяки процесу, який називається випаровуванням, рослини допомагають охолоджувати повітря.

**Форма та висота будівель можуть впливати на потік повітря.** Розмір і розміри будівель впливають на те, як повітря рухається містом протягом дня, відіграючи значну роль у захопленні або розсіюванні тепла.

### **1.2.1. в Європейських містах**

Понад чотири відсотки смертей у містах у літні місяці спричинені міськими тепловими островами, і одну третину цих смертей можна запобігти, досягнувши 30% деревного покриву, згідно з моделюванням, опублікованим у The Lancet під керівництвом Барселони. Результати дослідження, отримані з використанням даних з 93 європейських міст, підкреслюють значні переваги посадки більшої кількості дерев у містах для пом'якшення впливу зміни клімату.

Вплив тепла пов'язують із передчасною смертю, кардіореспіраторними захворюваннями та госпіталізаціями. Це особливо вірно для хвиль спеки, але також трапляється з помірно високими температурами влітку. Міста особливо вразливі до високих температур. Менша рослинність, вища щільність населення та непроникні поверхні для будівель і доріг, у тому числі асфальт, призводять до різниці температур між містом і прилеглими районами. Враховуючи постійне глобальне потепління та зростання міст, очікується, що цей ефект посилиться протягом наступних десятиліть

[10].

Велика частина Європи страждає від спекотної хвилі Харона. Ці екстремальні погодні явища стають дедалі сильнішими та частішими внаслідок зміни клімату, і принаймні для західних країн це був страшний погляд у майбутнє.

Дні, що побивають рекорди, показали, наскільки невдало обладнані наші міста, щоб витримувати температуру вище 40°C. Навпаки, вони також змусили нас більше цінувати частини, які забезпечують полегшення: обсажені деревами вулиці, зелені парки та кондиціонуванні громадські місця [11].

Через ефект «міського теплового острова» в містах стає набагато спекотніше, ніж в інших частинах країни, оскільки тепло затримується між високими будинками та поглинається асфальтом і бетоном. Тому для їх охолодження потрібні інноваційні заходи. Від Лондона до Лісабона не всі міста однаково пережили спеку.

Відповідно до Global Liveability Index від Economist Intelligence Unit, Відень є найзручнішим містом у світі.

Він також має високі оцінки на фронті пом'якшення клімату, оскільки австрійська столиця вперше створила кліматичний план у 1999 році, а в 2018 році стала одним із перших міст Європи, яке розробило стратегію виявлення міської спеки та боротьби з нею. Коли спека стає надто сильною, жителі можуть ходити вулицями, які охолоджують їх «туманними дощами» з дрібного туману. Ці «холодні вулиці» (cool straßen) є лише частиною плану громадської інфраструктури муніципального уряду. Він також запровадив нову мережу велосипедних маршрутів, щоб зробити відмову від автомобілів, які виробляють тепло та забруднюють навколишнє середовище, більш привабливим, і пообіцяв висаджувати 4500 нових дерев щороку. Крім додавання нових елементів у місто, Відень тримається того, що працює. Тут досі є понад 1000 громадських питних фонтанчиків і збереглася розгалужена мережа муніципальних басейнів, вперше побудованих у 1920-х роках [12].

Дубровник — це ще одне місто з прекрасними питними фонтанами. Оскільки воно розташоване на березі моря, щоб жителі та туристи мали швидкий доступ, коли їм потрібно охолодитися.

Колишній переможець конкурсу «Європейське місто дерев» Франкфурт уже

досяг успіху, коли йдеться про зелене покриття. Згідно з супутниковим дослідженням, дерева можуть знижувати температуру на поверхні до 12°C влітку, тому наявність близько 200 000 дерев у громадських місцях є безсумнівним благом для фінансового капіталу. Будучи одним із найтепліших міст у Німеччині, воно також потребувало серйозних змін. У Франкфурті є вентиляційні коридори (Luftleitbahnen): ділянки землі, де немає високих будівель або великих смуг дерев, щоб втягувати холодне повітря з навколишніх територій. Люфтляйтбан на річці Нідда, наприклад, пропускає в місто до 40 000 м<sup>3</sup> холодного повітря в секунду в літні ночі [13].

Крім того, Франкфурт вимагає, щоб деякі нові будівлі мали «зелені» дахи, вкриті рослинами. У сонячні дні вони можуть зберігати температуру на 40°C нижчою, ніж їхні традиційні «темні» аналоги.

У 2022 році, Іспанія зрівнялася зі своїм історичним рекордом тепла в 40,7°C, який був встановлений лише роком раніше. Метеостанції, яка це зафіксувала, понад 100 років. І хоча жителі Середземномор'я вже давно пристосували свою роботу та соціальне життя до спеки, починаючи раніше та післяобідню сієсту – це свобода, доступна не всім. 60-річний мадрридський прибиральник трагічно загинув від теплового удару минулого року, втративши свідомість на роботі напередодні. Не всі громадяни відчувають спеку однаково.

Мешканці районів з низьким рівнем доходу також мають набагато менше шансів мати належним чином ізольоване житло та доступ до прохолодних зелених зон.

Щоб спробувати покращити свій рекорд, Мадрид відкрив кліматичні притулки в громадських місцях з кондиціонером, таких як бібліотеки та громадські центри під час нинішньої спеки, і встановив додаток, щоб пришвидшити доступ до муніципальних басейнів міста, які сильно субсидуються. Також існує довгострокова стратегія охолодження міста. Відповідно до плану «Кольоровий Мадридський острів» 2019 року навколо столиці будується «зелений пояс» лісів довжиною 75 км. Термографічні зображення з прилеглих районів показують, що температура землі вже знизилася на 2°C за два роки, повідомляє Politico.

Є багато інших способів, як міста «стримують ртуть» у надто спекотні дні. У

Нюрнберзі, наприклад, трамвайні лінії покрили травою, щоб охолодити їх. У той час як архітектори Норвіча побудували 100 об'єктів соціального житла, орієнтованих з півночі на південь, з горизонтальними шторами над вікнами, що виходять на південь, щоб захистити від найгіршої спеки. Голдсміт-стріт є рідкісним прикладом у Великій Британії будинків, ефективних як влітку, так і взимку.

### **1.2.2. в США та світі**

Законопроект S.4280, поданий до Сенату США у 2020 році, уповноважує Національну інтегровану міжвідомчу систему інформаційної системи охорони здоров'я (NIHHS) боротися з екстремальною спекою в Сполучених Штатах. Успішне ухвалення цього закону фінансуватиме NIHHS протягом п'яти років і запровадить її в дію. Програма грантів у розмірі 100 мільйонів доларів США в рамках NIHHS для заохочення та фінансування проектів зі зменшення тепла в містах, у тому числі тих, що використовують охолодження дахів і тротуарів, а також тих, що покращують системи ОВК. Станом на 22 липня 2020 року законопроект не був поданий до Конгресу.

Місто Нью-Йорк визначило, що потенціал охолодження на територію був найвищим для вуличних дерев, за якими йдуть живі дахи, світла покрита поверхня та насадження на відкритому просторі. З точки зору економічної ефективності, світлі поверхні, легкі дахи та насадження бордюрів мають менші витрати на зниження температури [14].

### **Лос-Анджелес**

Гіпотетична програма «прохолодних громад» у Лос-Анджелесі в 1997 році спрогнозувала, що міські температури можна було б знизити приблизно на 3 °C після посадки десяти мільйонів дерев, перекриття п'яти мільйонів будинків і фарбування однієї чверті доріг у оціночна вартість становить 1 мільярд доларів США, що дає орієнтовну річну вигоду в 170 мільйонів доларів США від зменшення витрат на

кондиціонування повітря та 360 мільйонів доларів США від економії здоров'я, пов'язаної зі смогом.

У дослідженні басейну Лос-Анджелеса в 1998 році моделювання показало, що навіть якщо дерева не мають стратегічного розташування на цих міських теплових островах, вони все одно можуть допомогти мінімізувати забруднювачі та скоротити енергію. За підрахунками, завдяки такому широкомасштабному впровадженню місто Лос-Анджелес може щорічно заощаджувати 100 мільйонів доларів США, причому більша частина економії надходить від прохолодних дахів, більш світлого тротуару та посадки дерев. При загальному запровадженні додаткові переваги від зниження рівня смогу призведуть до економії принаймні одного мільярда доларів на рік [15, 16].

Los Angeles TreePeople є прикладом того, як посадка дерев може розширити можливості громади. Tree People надає людям можливість об'єднатися, наростити потенціал, гордість спільноти та можливість співпрацювати та спілкуватися один з одним.

### **Афінська ініціатива зелених насаджень**

Афіни, столиця Греції, виступили з ініціативами щодо зменшення ефекту міського теплового острова та зменшення впливу забруднення від транспортних засобів. Щоб створити зелені зони, які пропонують охолодження, невеликі невикористані ділянки землі перебудовують у кишенькові парки.

### **Сідней, Австралія**

Сідней, Австралія, має один із найгірших міських островів тепла. Одним із прикладів може бути 4 січня 2020 року, коли західне передмістя Сіднея вважалось «найспекотнішим місцем на Землі». У передмістях, таких як Бенкстаун і Парраматта, зафіксовано температури 47,3 °C і 47,0 °C, а в Observatory Hill – 43,7 °C. Найспекотнішим передмістям на той час був Пенріт, який мав показники 48,9 °C. Незважаючи на все це, температура в центральному Сіднеї була комфортною — 35 °C, а температура в прибережних районах рідко досягала 30 °C.

Численні фактори, які спричиняють це, можуть бути пов'язані з віддаленістю

від узбережжя, кілометрами однакових будинків із чорними дахами разом із зеленню, заміненою асфальтом і чорним асфальтом (що поглинає більше тепла та випромінює його), а також мало місця для подвір'їв, де ростуть дерева ( тому менше тіні).

Хоча це не єдиний раз, коли міський острів тепла відіграє свою роль на заході Сіднея, ртутний стовпчик піднявся до 45,2 °C 1 січня 2006 року та до 42,9 °C 23 січня 2010 року. , 46,5 °C 18 січня 2013 р., 46,9 °C 11 лютого 2017 р. та 47,3 °C 7 січня 2018 р. [17].

Ці відмінності міського тепла зазвичай коливаються лише від 2 °C до 7 °C, рідко перевищуючи 10 °C. Найбільша різниця в міському тепловому острові Сіднея була зареєстрована 1 лютого 2020 року, приблизно через місяць після максимального рекорду Пенріта. У Сіднейській обсерваторії Хілл було зафіксовано показник 34,8 °C, тоді як ртутний стовпчик піднявся до 46,9 °C в озерах Пенріт. Що робить це примітним, так це той факт, що ця різниця становить 12,1 °C, а в південно-західних/середньозахідних районах Сіднея рідко досягає 37 °C.

### **1.3. Вплив від міських островів тепла на навколишнє середовище, живих істот та рослинність**

#### **Вплив на погоду та клімат**

Крім впливу на температуру, МОТ може спричинити вторинний вплив на місцеву метеорологію, включаючи зміну місцевих моделей вітру, розвиток хмар і туману, вологості та швидкості опадів. Додаткове тепло, яке забезпечує МОТ, призводить до більшого висхідного руху, що може спричинити додаткову зливу та грозу. Крім того, МОТ створює протягом дня локальну область низького тиску, куди збирається відносно вологе повітря з сільських околиць, що, можливо, створює більш сприятливі умови для формування хмар. Рівень опадів під вітром від міст зростає від 48% до 116%. Частково в результаті цього потепління місячна кількість опадів приблизно на 28% більша на відстані від 32 км до 64 км за вітром від міст, ніж проти вітру. У деяких містах загальна кількість опадів збільшилася на 51%.

Одне дослідження дійшло висновку, що міста змінюють клімат на території, яка в 2–4 рази перевищує їхню територію. Одне порівняння між міськими та сільськими районами, проведене в 1999 році, показало, що ефекти міських теплових островів мало впливають на тенденції глобальної середньої температури. Інші припустили, що міські острови тепла впливають на глобальний клімат, впливаючи на струменевий потік.

### **Вплив на людське здоров'я**

МОТ мають потенціал безпосередньо впливати на здоров'я та добробут міських жителів. Оскільки МОТ характеризується підвищенням температури, вони потенційно можуть збільшити величину та тривалість хвиль спеки в містах. Кількість людей, які піддаються впливу екстремальних температур, збільшується через потепління, спричинене МОТ. Нічний ефект МОТ може бути особливо шкідливим під час хвилі спеки, оскільки він позбавляє міських жителів прохолоди, яка спостерігається в сільській місцевості вночі.

Повідомлялося, що підвищення температури викликає теплові захворювання, такі як тепловий удар, теплове виснаження, тепловий синкопе та теплові судоми.

Висока інтенсивність МОТ корелює з підвищеними концентраціями забруднювачів повітря, які зібралися вночі, що може вплинути на якість повітря наступного дня. Ці забруднювачі включають летючі органічні сполуки, оксид вуглецю, оксиди азоту та тверді частинки. Виробництво цих забруднюючих речовин у поєднанні з вищими температурами в МОТ може прискорити виробництво озону. Озон на поверхні вважається шкідливим забруднювачем. Дослідження показують, що підвищення температури в МОТ може збільшити кількість забруднених днів, але також зауважують, що інші фактори (наприклад, атмосферний тиск, хмарний покрив, швидкість вітру) також можуть впливати на забруднення.

Дослідження, проведені в Гонконзі, показали, що райони міста з поганою зовнішньою міською вентиляцією повітря, як правило, мали сильніший ефект міських теплових островів і мали значно вищу смертність від усіх причин порівняно з районами з кращою вентиляцією. Інше дослідження з використанням передових



статистичних методів у місті Бабол, Іран, виявило значне збільшення інтенсивності поверхневих міських теплових островів (SUHI) з 1985 по 2017 рік під впливом як географічного напрямку, так і часу. Це дослідження, покращуючи розуміння просторових і часових варіацій SUHI, підкреслює необхідність точного міського планування для пом'якшення впливу міських теплових островів на здоров'я.

Отримання кращих результатів для здоров'я внаслідок екстремального теплового впливу значною мірою залежить від адаптивної здатності людини, яка, у свою чергу, залежить від демографічного, соціально-економічного статусу та географічного розташування місця проживання людини. Характеристика вразливих груп населення на рівні громади є важливою для розробки програмних втручань або подальших змін у політиці. Результати екологічного дослідження районів Фінікса та Філадельфії показали, що найважливіші фактори ризику від спеки залежать від місця. Інші фактори ризику, виявлені під час дослідження, включають більшу частку темношкірих мешканців, низьку вартість житла та мовну та соціальну ізоляцію жителів. Фактор часу також може вступати в дію при розгляді негативних наслідків для здоров'я. Хоча попереднє дослідження з використанням даних за шість років (2001–2006) з повідомлень Пожежної служби Фенікса, пов'язаних із спекою, не показало сезонності в день тижня, аналізуючись із кліматичними даними; однак дані свідчать про те, що медичні відправлення, пов'язані з високою спекою, відбуваються між «часом пікового сонячного опромінення та максимальною добовою температурою, а також під час підвищених індексів комфорту людини (комбінована температура та вологість)».

Відбите сонячне випромінювання може збільшити потенційний ризик для здоров'я людини. Хоча світловідбиваючі тротуари в основному підвищують свою здатність відбивати видиме світло, деякі світловідбиваючі матеріали, такі як біла глина, можуть збільшити інтенсивність відбитого ультрафіолетового (УФ) випромінювання для людей. Ультрафіолетове випромінювання шкідливе для живих клітин і може призвести до сонячних опіків, прискореного старіння шкіри та раку шкіри, ушкодження якого накопичуються роками. Вплив сонця в дитинстві може відігравати важливу роль у розвитку раку шкіри пізніше в дорослому житті. Тому

кількість відбитого випромінювання слід враховувати при плануванні ґрунту та тротуарів, особливо на шкільних подвір'ях та майданчиках. Крім того, світловідбиваючі поверхні тротуарів можуть спричинити відблиски та візуальне забруднення, що може завдати шкоди зору після тривалого періоду впливу. Віддзеркалення від світлих поверхонь може заважати мешканцям високих сусідніх будинків, якщо їх відбити на дахах; завдавати шкоди пішоходам на прилеглих тротуарах, якщо наносити їх на стіни; і забезпечують меншу демаркацію смуг через погану видимість білих ліній на світлих дорогах, потенційно збільшуючи ризики водіння.

Стратегії пом'якшення можуть допомогти звести до мінімуму потенційні відмінності в результатах індивідуального здоров'я. Сільва та ін. вивчав виклики служби екстреної допомоги у Феніксі, штат Арізона, у 2002–2006 роках. Вони виявили, що використання різних стратегій пом'якшення УНІ може призвести до загального скорочення на 48% щорічних викликів служби екстреної допомоги, пов'язаної зі спекою. Збільшення альbedo було названо однією з ефективних стратегій пом'якшення МОТ.

В окремому дослідженні вплив заходів щодо пом'якшення наслідків, пов'язаних із зменшенням рівня озону, призведе відповідно до зниження середньозваженої глобальної концентрації населення на поверхні на 23–34% та 7–17% і запобігання передчасних смертей на 0,6–4,4 та 0,04–0,52 мільйонів щорічно у всьому світі у 2030 році.

Окрім наслідків для здоров'я, існують також соціально-економічні та поведінкові аспекти міського клімату. Взаємозв'язок між чинниками, що впливають на міський клімат, і здатністю існуючої міської інфраструктури та екосистем співіснувати неминуче вимагатиме змін управління та політики, що охоплюватиме питання соціальної справедливості, міграції та безпеки, екологічної справедливості, якості життя, поведінки та продуктивності. Вимірювання граничних внесків підходів до пом'якшення/адаптації в порівнянні з їх відповідними витратами, розуміння шляхів кожного підходу до покращення результатів здоров'я як для населення в цілому, так і для окремих субпопуляцій, а також переносимість підходів, тобто

застосовність за географічним розташуванням, може бути представлені як альтернативні способи привернення необхідної уваги до зміни міського клімату чи зміни клімату в цілому.

### **Вплив на водне середовище**

МОТ також погіршують якість води. Гарячі поверхні тротуарів і дахів передають надлишок тепла зливовій воді, яка потім стікає в зливову каналізацію та підвищує температуру води, потрапляючи в струмки, річки, ставки та озера. Крім того, підвищення температури води в містах призводить до зменшення різноманітності води. Наприклад, у серпні 2001 року дощі над Сідар-Рapidс, штат Айова, призвели до підвищення температури на 10,5С у сусідньому потоці протягом однієї години, що призвело до загибелі риби, яка вплинула приблизно на 188 риб. Оскільки температура дощу була відносно прохолодною, це можна було пояснити гарячим тротуаром міста. Подібні події були задокументовані на Середньому Заході Америки, а також в Орегоні та Каліфорнії. Швидкі зміни температури можуть бути стресовими для водних екосистем.

Коли температура в прилеглих будівлях іноді досягає різниці понад 28 °С від температури повітря на поверхні, опади швидко нагріватимуться, спричиняючи стікання в сусідні струмки, озера та річки (або інші водойми), щоб забезпечити надмірну теплове забруднення. Збільшення теплового забруднення може призвести до підвищення температури води на 11-17 °С. Це збільшення призведе до того, що риби, що мешкають у водоймі, зазнають термічного стресу та шоку через швидку зміну температури їхнього середовища проживання.

Проникні тротуари можуть зменшити ці ефекти шляхом просочування води крізь тротуар у підземні сховища, де вона може розсіюватися шляхом поглинання та випаровування.

### **Вплив на тваринний світ**

Види, які добре колонізуються, можуть використовувати умови, створені міськими тепловими островами, щоб процвітати в регіонах за межами їх нормального

ареалу. Прикладами цього є сіроголова летюча лисиця (*Pteropus poliocephalus*) і звичайний домашній gekon (*Hemidactylus frenatus*). Сіроголові літаючі лисиці, знайдені в Мельбурні, Австралія, колонізували міські середовища існування після підвищення там температури. Підвищення температури, що спричинило тепліші зимові умови, зробило місто більш схожим за кліматом на більш північну дику місцевість існування виду.

У помірному кліматі міські острови тепла подовжують вегетаційний період, таким чином змінюючи стратегії розмноження видів, що мешкають. Найкраще це можна спостерігати за впливом міських теплових островів на температуру води.

Міські острови тепла, спричинені містами, змінили процес природного відбору. Вибірковий тиск, як-от часові коливання в їжі, хижацтві та воді, послаблюється, що призводить до появи нового набору вибіркових сил. Наприклад, у міських середовищах проживання комах більше, ніж у сільській місцевості. Комахи - ектотерми. Це означає, що вони залежать від температури навколишнього середовища для контролю температури свого тіла, що робить тепліший клімат міста ідеальним для їхньої здатності процвітати. Дослідження, проведене в Ралі, штат Північна Кароліна, на *Parthenolecanium quercifex* (дубова луска), показало, що цей конкретний вид віддає перевагу теплішому клімату, і тому їх було виявлено у більшій кількості в міських середовищах існування, ніж на дубах у сільській місцевості. З часом, проведеним у міських середовищах існування, вони пристосувалися до процвітання в теплішому кліматі, ніж у прохолоднішому.

### **Вплив на кондиціонування та охолодження приміщень**

Іншим наслідком міських теплових островів є збільшення енергії, необхідної для кондиціонування повітря та охолодження в містах, які знаходяться у відносно жаркому кліматі. Ефект теплового острова коштує Лос-Анджелесу близько 100 мільйонів доларів США на рік у вигляді енергії (у 2000 році). Завдяки впровадженню стратегій зменшення теплових островів було підраховано значну річну чисту економію енергії для північних регіонів, таких як Чикаго, Солт-Лейк-Сіті та Торонто.

Щороку в США 15% енергії йде на кондиціонування повітря в будівлях у цих

міських теплових островах. У 1998 році повідомлялося, що «за останні 40 років попит на кондиціонери зріс на 10%.

### **Економічні наслідки**

Очевидно, що високі літні температури призводять до більшого попиту на кондиціонування повітря та, як наслідок, до вищих витрат на електроенергію. Однак ці додаткові витрати на кондиціонування повітря можна компенсувати зниженням витрат на опалення взимку. У дослідженні потенціалу енергозбереження стратегій пом'якшення MOT було повідомлено, що економія енергії на охолодження від різноманітних стратегій пом'якшення УНІ була приблизно еквівалентною додатковим вимогам до опалення взимку для міст у кліматичних умовах з охолодженням менше ~1000 градусоднів. Відповідно до Annual Energy Outlook Управління енергетичної інформації США, на опалення припадає 14% річного первинного споживання енергії комерційними будівлями, тоді як на кондиціонування повітря у Сполучених Штатах припадає лише 8%. Рада зеленого будівництва США також визначає, що в Сполучених Штатах більше енергії споживається на опалення будівель, ніж на їх охолодження. Таким чином, прямі економічні наслідки MOT сильно залежать від клімату та обмежені відносно теплими кліматичними зонами. Непрямі економічні наслідки, такі як забруднення повітря та води, кількісно оцінені недостатньо й потребують подальших досліджень [18, 19].

### **1.4. Заходи зі зменшення негативного впливу від островів тепла**

Стратегії підвищення стійкості міст шляхом зменшення надмірної спеки в містах включають: посадку дерев у містах, білі дахи та світлий бетон, зелену інфраструктуру (включаючи зелені дахи), пасивне радіаційне охолодження вдень.

Різниця температур між міськими районами та навколишніми приміськими або сільськими районами може досягати 5 °С. Майже 40 відсотків цього збільшення пояснюється поширеністю темних дахів, а решта — темним тротуаром і зменшенням

присутності рослинності. Ефект теплового острова можна дещо нейтралізувати, використовуючи білі або відбиваючі матеріали для будівництва будинків, дахів, тротуарів і доріг, таким чином збільшуючи загальне альbedo міста [20].

### **Зелені насадження у містах**

Посадка дерев навколо міста може бути ще одним способом збільшити альbedo та зменшити ефект міського теплового острова. Рекомендується висаджувати листяні дерева, оскільки вони можуть забезпечити багато переваг, наприклад більше тіні влітку та не блокувати тепло взимку. Дерев є необхідною ознакою для боротьби з більшою частиною ефекту міського теплового острова, оскільки вони знижують температуру повітря на 5,6 °C, а температуру поверхні на 11–25 °C.

### **Білі дахи та світлий бетон**

Фарбування дахів у білий колір стало звичайною стратегією зменшення ефекту теплового острова. У містах є багато темних поверхонь, які поглинають тепло сонця, у свою чергу знижуючи альbedo міста. Білі дахи будинків забезпечують високий коефіцієнт відбиття сонця та високий коефіцієнт сонячного випромінювання, збільшуючи альbedo міста чи району, де відбувається ефект.

Порівняно з усуненням інших джерел проблеми, заміна темної покрівлі вимагає найменших інвестицій для негайного повернення. Прохолодний дах, виготовлений із світловідбиваючого матеріалу, такого як вініл, відбиває принаймні 75 відсотків сонячних променів і випромінює принаймні 70 відсотків сонячного випромінювання, поглиненого огорожувальним покриттям будівлі. Для порівняння, дахи з асфальтового покриття (BUR) відбивають від 6 до 26 відсотків сонячної радіації.

Використання світлого бетону довело ефективність у відображенні на 50% більше світла, ніж асфальт, і зниженні температури навколишнього середовища. Низьке значення альbedo, характерне для чорного асфальту, поглинає великий відсоток сонячного тепла, створюючи більш теплі температури біля поверхні. Влаштування бруківки зі світлого бетону, на додаток до заміни асфальту на світлий бетон, громади можуть знизити середні температури. Проте дослідження взаємодії

між світловідбиваючими тротуарами та будівлями виявили, що, якщо сусідні будівлі не оснащені відбиваючим склом, сонячне випромінювання, відображене від світлих тротуарів, може підвищити температуру в будівлі, збільшуючи вимоги до кондиціонування повітря.

Існують спеціальні фарби для радіаційного охолодження вдень, які відбивають до 98,1% сонячного світла.

### **Зелена інфраструктура**

Інший варіант - збільшити кількість добре политих рослин. Ці два варіанти можна поєднати з виконанням зелених дахів. Зелені дахи є чудовими ізоляторами в теплу погоду, а рослини охолоджують навколишнє середовище. Якість повітря покращується, оскільки рослини поглинають вуглекислий газ із супутнім виробництвом кисню.

Зелені дахи можуть зменшити ефект міського теплового острова. Озеленення покрівлі — це практика розміщення рослинності на даху; наприклад мати дерева чи сад. Рослини на даху збільшують альбедо та зменшують ефект міського теплового острова. Цей метод вивчали та критикували через те, що на зелені дахи впливають кліматичні умови, змінні зелених дахів важко виміряти, і це дуже складна система.

Економічна ефективність зелених дахів досить висока з кількох причин. По-перше, зелені дахи мають удвічі більший термін служби, ніж звичайні дахи, що фактично зменшує кількість замін дахів щороку. На додаток до терміну служби даху, зелені дахи додають дощової води, зменшуючи плату за комунальні послуги. Вартість зелених дахів на початку є вищою, але з часом їх ефективність приносить фінансові переваги, а також переваги для здоров'я. Однак «звичайний дах оцінюється в 83,78 доларів США/м<sup>2</sup>, тоді як зелений дах оцінюється в 158,82 доларів США/м<sup>2</sup>».

На зелених паркінгах використовується рослинність і поверхні, відмінні від асфальту, щоб обмежити ефект міського теплового острова.

Зелена інфраструктура або синьо-зелена інфраструктура відноситься до мережі, яка забезпечує «інгредієнти» для вирішення міських і кліматичних проблем шляхом будівництва з природою. Основні компоненти цього підходу включають управління

зливовими стоками, адаптацію до клімату, зменшення теплового стресу, збільшення біорізноманіття, виробництво їжі, покращення якості повітря, стале виробництво енергії, чисту воду та здорові ґрунти, а також більш антропоцентричні функції, такі як підвищення якості життя через відпочинок і надання тіні та притулку в містах та навколо них. Зелена інфраструктура також служить для забезпечення екологічної основи для соціального, економічного та екологічного здоров'я навколишнього середовища. Нещодавно вчені та активісти також закликали до зеленої інфраструктури, яка сприятиме соціальній інтеграції та рівності, а не зміцненню вже існуючих структур нерівного доступу до природних послуг.

### **Пасивне денне радіаційне охолодження**

Застосування пасивного денного радіаційного охолодження даху може подвоїти економію енергії в порівнянні з білим дахом, що пояснюється високим коефіцієнтом відбиття сонця та тепловим випромінюванням в інфрачервоному вікні, з найвищим потенціалом охолодження в жарких і сухих містах, таких як Фенікс і Лас-Вегас. При встановленні на дахах у густонаселених міських районах панелі пасивного денного радіаційного охолодження можуть значно знизити температуру зовнішньої поверхні на рівні пішоходів.

## **1.5. Висновки до розділу 1**

Людство по всьому світі страждає від міських островів тепла. Від України до Японії, від США до Нової Зеландії – всі стикаються з цією неминучою проблемою. Одним з основних причин виникнення цих островів тепла є урбанізація. У процесі збільшення міст та територій заселених людьми, збільшується і кількість штучних матеріалів, якими вкривається поверхня землі на якій були зелені насадження, які адаптовані до температурного впливу. Саме тому, людям теж треба адаптувати свої будівельні матеріали до співіснування з природою.

Краще житло та гуманне середовище, зелений транспорт, дерева та водойми; це



ключові принципи адаптованих до клімату міст.

Одна з «найпередовіших природних технологій кондиціонування повітря» - є звичайні зелені насадження. Більше дерев — це перемога на багатьох екологічних фронтах. Але треба врахувати, що на рівні з бетоном та цеглою, потрібне 40-відсоткове зелене покриття вулиць, щоб справді максимізувати переваги стратегії озеленення.

## РОЗДІЛ 2

### КАРТУВАННЯ І ОЦІНКА ВПЛИВУ

#### 2.1. Методи

Картування та оцінка впливу міських островів тепла, посиленого змінами клімату (на прикладі міста Києва), здійснювалося за допомогою знімків отриманих із супутникової системи LANDSAT 8. Супутникові знімки оброблювалися у програмі Google Earth Engine [21].

Важливою складовою геоекологічного моніторингу є тепловий моніторинг земної поверхні, який дає інформацію про рівень теплового навантаження на природне або міське середовище. На основі теплового моніторингу можна формувати різноманітні оцінки: динаміки змін землекористування, ефективності озеленення міст, впливу на здоров'я населення та ін.

Поверхні протягом сонячного дня активно акумулюють тепло, яке в нічний час віддається навколишньому повітрю, постійно підтримуючи його температуру вище ніж поза містом, тим самим впливаючи на формування міських «островів тепла». Крім накопичувачів сонячного тепла, існує велика кількість штучних об'єктів, які під час своєї діяльності виділяють тепло: автомобілі, погано ізольовані теплові мережі, енергетичні комплекси, промислові виробництва.

В даний час основним джерелом даних про теплових полях земної поверхні є супутникові знімки, отримані в далекому інфрачервоному діапазоні електромагнітного випромінювання 8-13 мкм. Інфрачервоні зображення супутникових систем серії Landsat (5, 7, 8) тепер доступні та розповсюджуються безкоштовно через веб-ресурси Геологічної служби США (USGS). Інфрачервоні зображення датчиків TM і ETM+ супутників Landsat-5 і Landsat-7 мають просторову роздільну здатність 60 м, а дводіапазонні зображення датчика TIRS супутника Landsat-8 мають просторову роздільну здатність 100 м. із зображеннями інших спектральних діапазонів цих супутникових систем. На сьогоднішній день активний тільки Landsat-8. Landsat-8 — американський супутник дистанційного зондування

Землі, восьмий у програмі Landsat.

Landsat-8 знімає зображення у видимому діапазоні довжин хвиль, у ближньому та далекому інфрачервоному діапазоні, з роздільною здатністю зображення від 15 до 100 метрів на точку. Проводиться обстеження суші та полярних регіонів. За день знімається близько 400 сцен. Датчики OLI і TIRS мають більш високе співвідношення сигнал/шум (SNR) і дозволяють знімати до 12 біт на точку.

Landsat 8 був запусканий 11 лютого 2013 року з бази ВПС Ванденберг, штат Каліфорнія, на ракеті Atlas-V 401 із розширеним обтічником корисного навантаження (EPF) від United Launch Alliance, LLC. Корисне навантаження супутника Landsat 8 складається з двох наукових інструментів — Operational Land Imager (OLI) і Thermal Infrared Sensor (TIRS). Ці два датчики забезпечують сезонне покриття глобальної суші з просторовою роздільною здатністю 30 метрів (видимий, NIR, SWIR); 100 метрів (теплова); і 15 метрів (панхроматичний). Landsat 8 був розроблений у співпраці між NASA та Геологічною службою США (USGS). NASA очолювало етапи проектування, будівництва, запуску та калібрування на орбіті, протягом яких супутник називався Landsat Data Continuity Mission (LDCM). 30 травня 2013 року USGS перейняла рутинні операції, і супутник став Landsat 8. USGS керує діями з калібрування після запуску, роботою супутників, створенням даних і архівуванням даних у Центрі спостереження та науки про ресурси Землі (EROS).

Earth Engine — це платформа для наукового аналізу та візуалізації наборів геопросторових даних для академічних, некомерційних, бізнес-користувачів і державних користувачів. Вона дозволяє використовувати величезні обчислювальні потужності компанії Google для вивчення різноманітних проблем: втрат лісів, посухи, стихійних лих, епідемій, продовольчої безпеки, управління водними ресурсами, зміни клімату та захисту навколишнього середовища. Щоб уникнути плутанини в назвах, одразу визначимо, що Google Earth (він же – Google Планета Земля) та Google Earth Engine – це два різні продукти. Перший, не вимагаючи від користувачів спеціальних комп'ютерних навичок, призначений для візуалізації супутникових знімків і дозволяє подорожувати та досліджувати світ, взаємодіючи з віртуальним глобусом. Другий, якому присвячена ця стаття, це передусім інструмент для аналізу даних.

Використання Earth Engine передбачає знання прикладної області та вміння писати програмний код.

Earth Engine — платформа унікальна, оскільки розширює можливості не лише вчених, які займаються дистанційним зондуванням Землі, а й ширшої аудиторії, якій не вистачає технічних можливостей для використання традиційних інструментів обробки великих даних. До появи Earth Engine аналізом великих геоданих могли займатися лише вузькопрофільні фахівці з доступом до високопродуктивних обчислювальних ресурсів.

## 2.2 Картування

Нище наведені результати картування міських островів тепла на прикладі міста Києва (Рис. 2.1). На лівому рисунку зображений Київ неозброєним оком за допомогою супутника Landsat 8. На правому рисунку ми можемо побачити Київ оброблений за допомогою Google Earth Engine.

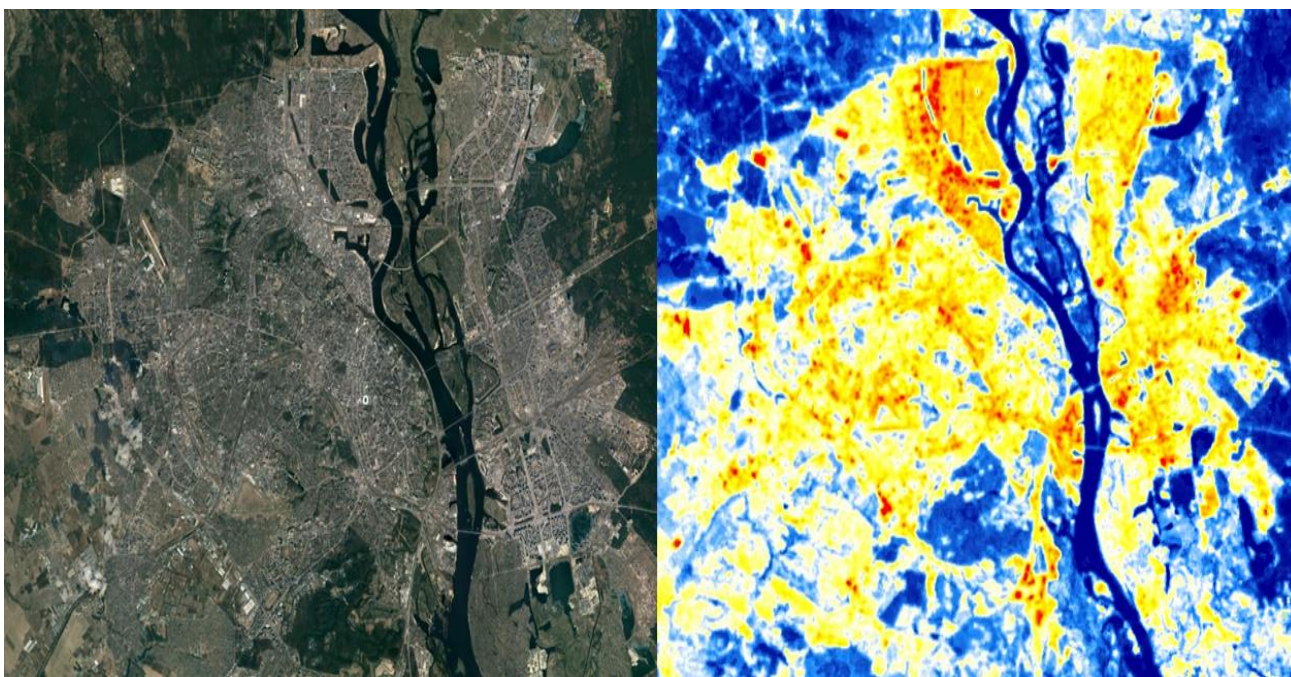


Рис. 2.1 Вид міста Київ до та після оброблення супутникового знімку

Оброблене зображення презентує нам інформацію яка була скрита для неозброєного ока, а саме – теплові зони (міські острови тепла). Як ми можемо

побачити територія Києва повністю покрита червоними, помаранчевими, жовтими та синіми зонами.

Червоні зони – зони з найбільшим тепловим забрудненням ( $>50$  °C). Такі райони в основному відрізняються сукупністю будівель з великою площею даху та побудованих з теплоприймаючих, дешевих, неекологічних матеріалів. Наприклад: дах торговельного центру, дах ангару, дах багатоповерхової будівлі старого типу. До «червоних зон» відносяться в основному промислові, щільно забудовані житлові райони або ж великі площі з максимальною кількістю штучних матеріалів та мінімумом рослинності.

Помаранчеві зони – зони з некритичним, але відчущасим негативним тепловим впливом ( $>40$  °C). Як можна побачити на Рис. 1, це в основному житлові забудови без спеціально обладнаних дахів, які дуже непогано поглинають тепло та накопичують його протягом сонячного дня. Оскільки це житлові зони, то існує прямий, а головне постійний негативний вплив на соціальну складову та навіть може викликати дискомфорт або проблеми зі здоров'ям у вразливих груп населення.

Жовті зони – характеризують найменше теплове забруднення спричинене людською діяльністю ( $\sim 30$  °C). Жовта відмітка – це те до чого треба прагнути. Адже це саме той мінімальний вплив на навколишнє середовище у якому може співіснувати як природа так і людина. Жовті зони в більшості свої представлені або не дуже щільною забудовою, або ж забудовою з використанням сучасних екологічних, теплопоглинаючих та теплозахисних рішень. Також, жовті зоні можуть на мапі спричиняти орані землі, але цей вплив лише тимчасовий і незначний.

Сині зони – в основному представлені природними ландшафтами без прямого людського втручання, водними об'єктами з глибиною, достатньою аби не висихати та суттєво прогріватися. Температура таких природних території влітку може навіть не перевищувати  $20$  °C, адже рослини мають властивість поглинати тепло.

Таким чином, виходить що Київ – це урбанізоване місто з явними «проблемними» зонами. Також, можна зазначити що Лівий берег має більшу щільність забудови та меншу площу ніж Правий, тому концентрація теплових полів набагато більша саме на Лівобережній частині Києва. Але Правобережна частина

Києва хоч і трохи більша ніж Ліва, але більше потерпає від промислових районів та старої щільної забудови. Для більш детального розуміння мапи теплових ареалів та структури самого Києва, нам треба поділити Київ на його адміністративні райони (Рис. 2.2).

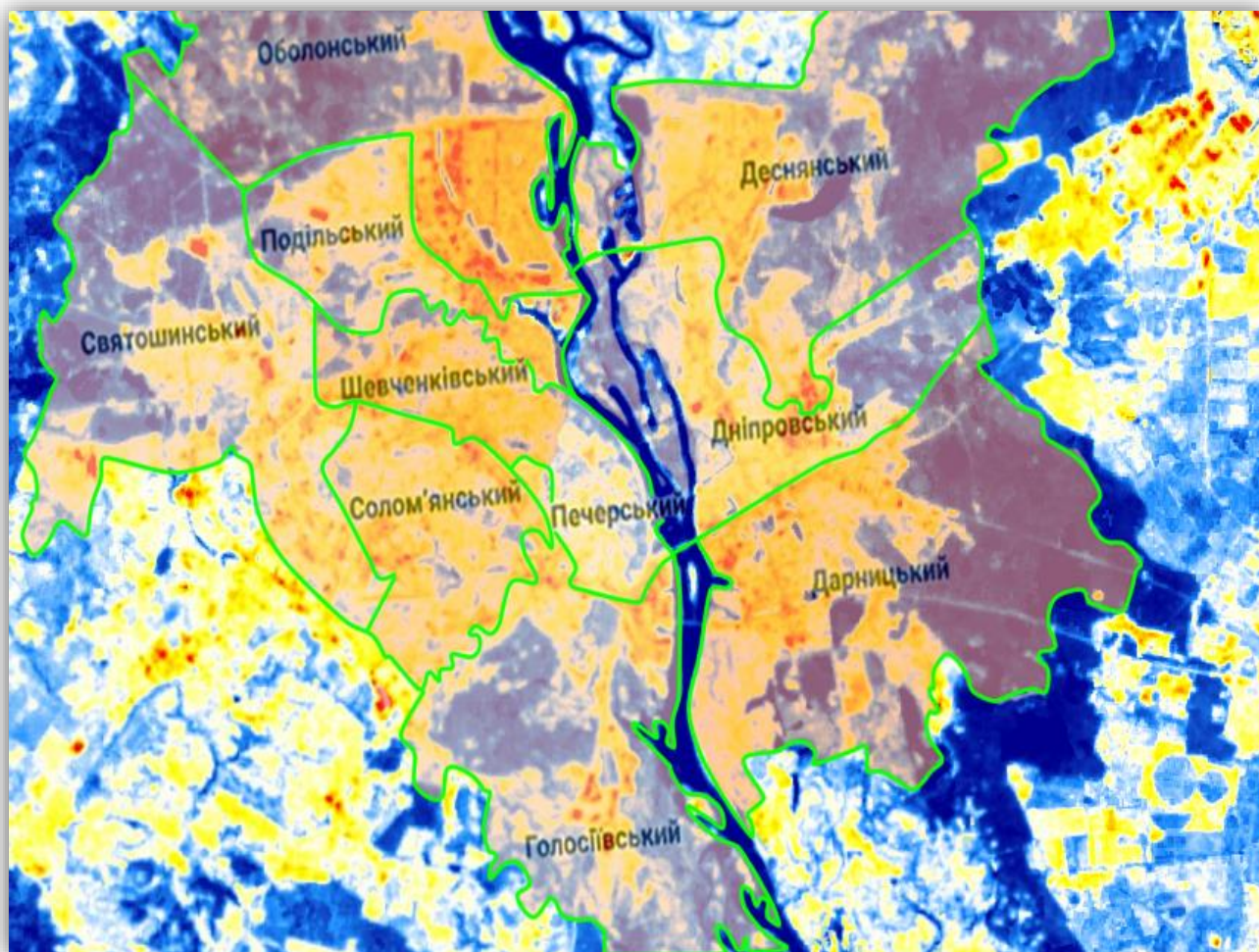


Рис. 2.2. Районування міських островів тепла м. Києва

Відповідно до Рис. 2.2., Київ поділений на 10 адміністративних районів: Оболонський, Святошинський, Подільський, Шевченківський, Солом'янський, Печерський, Голосіївський, Деснянський, Дніпровський, Дарницький. Кожний з них характеризується своєю спеціалізацією. Одні райони є великими «мурашниками» для населення, коли в свою чергу інші райони можуть бути великими промисловими зонами чи вузлами.

Для більш детального розуміння треба розглянути кожен з районів окремо:

**Оболонський район** – район можна характеризувати як: більша частина – промисловий, а інша – житлова забудова. На площі 110,2 км<sup>2</sup> станом на 2021 проживає 320 300 осіб (густота населення 2913 осіб/км<sup>2</sup>). На Рис. 2.3. можна побачити величезні площі (концентрація червоних плям) промислових підприємств, які займають Західну частину району. Житлова забудова розташована біля набережної на Сході. На півночі району знаходиться лісова, не урбанізована зона (синій простір).

За урбанізованою площею та концентрацією міських островів тепла, можна впевнено сказати, що Оболонський район – один з найбільш навантажених тепловим забрудненням районів Києва. Саме тут, можна використати «обілення» промислових об'єктів для зниження теплопоглинання дахів заводів та підприємств або збільшення кількості зелених зон. Створення зелених зон на великих паркуваннях, також позитивно відобразиться на загальній картині теплових зон. Адже великі підприємства завжди облаштовані великими паркуваннями.

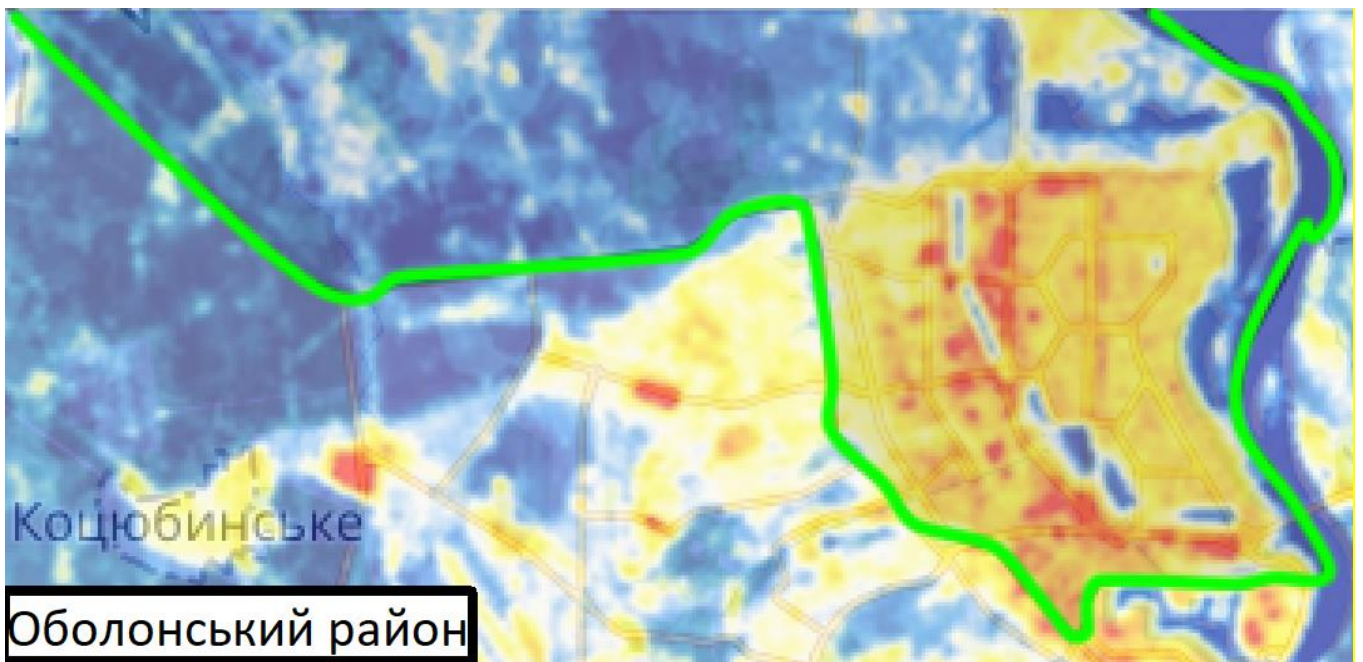


Рис. 2.3. Острови тепла Оболонського району

**Святошинський район** – відповідно до Рис 2.4., Північно-західна частина району густо заліснена. На площі 110 км<sup>2</sup> станом на 2021 проживає 340 673 осіб (густота населення 3373 осіб/км<sup>2</sup>). Наявні два ареали теплового забруднення, одне з яких від торгівельного центру, а інше від міської забудови. Переважно, район слабо

навантажений міськими островами тепла. Тому, можна сказати, що Святошинський район забруднений нижче середньої позначки. Впровадження зелених зон у найбільш забруднених зонах та реструктуризація дахів ТЦ позитивно відобразяться на екологічному стані району.



Рис. 2.4. Острови тепла Святошинського району

**Подільський район** – можна віднести до звичайної міської забудови, без великого скупчення промислових об'єктів. На площі 34,04 км<sup>2</sup> станом на 2021 проживає 208 281 осіб. На Півночі (Рис 2.5) сильно виділяється червоний



прямокутник – торгівельний центр «Ретровіль». Якраз на прикладі цього ТЦ можна наочно побачити різницю між фоговою температурою та міським островом тепла. Дах цієї конструкції влітку нагрівається до +60 °С. Тому впровадження технології «обілення» даху або озеленення лаконічно впишеться та значно покращить ситуацію з нагрівом даху.

Окрім чітко помітної території ТЦ, можна також відмітити прибережну зону району. На Рис 3.3. дуже виділяється скупчення червоних плям, які представляють собою ангари та склади.

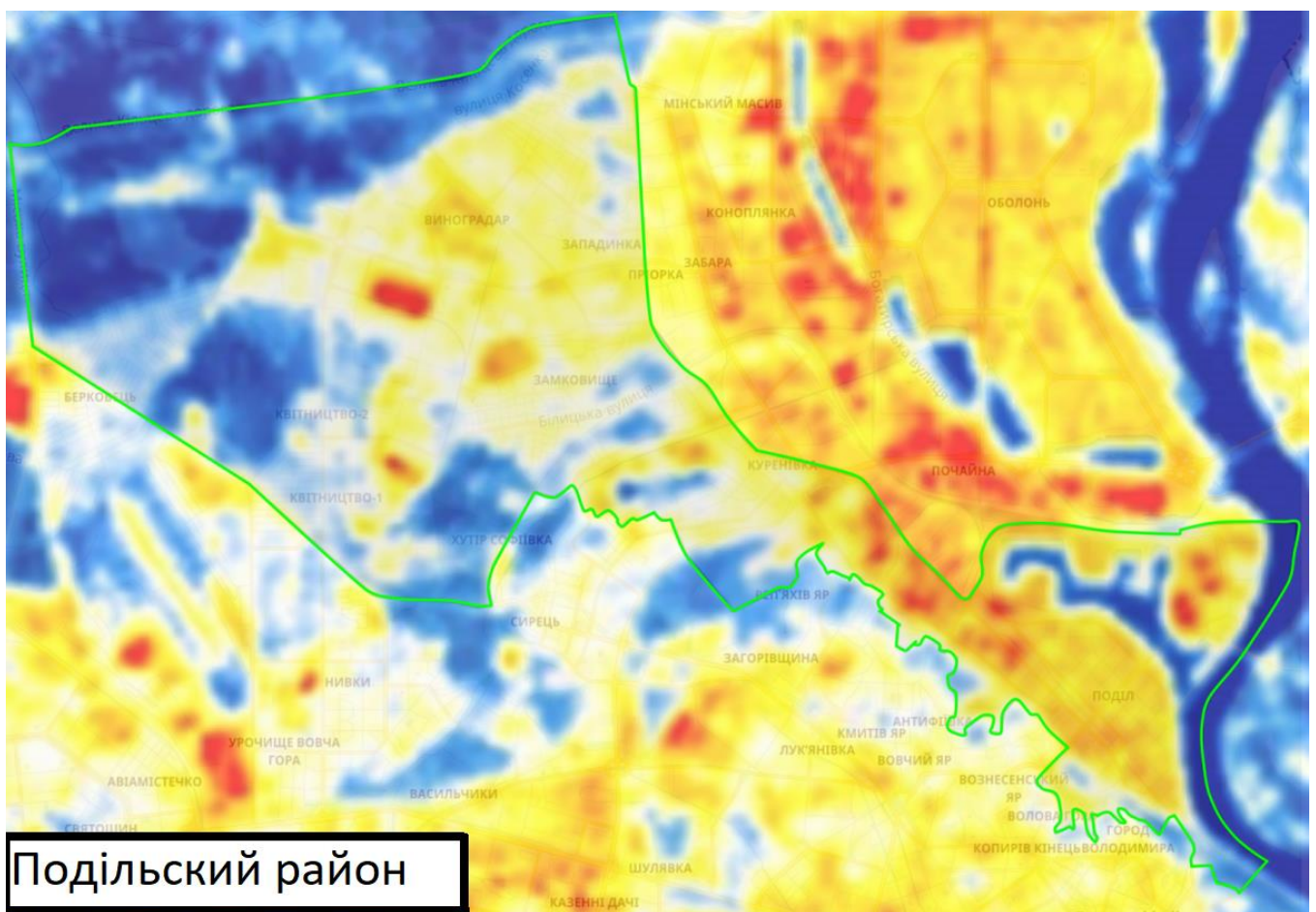


Рис. 2.5. Острови тепла Подільського району

**Шевченківський район** – житловий район, який можна віднести до одного з найнавантажених за співвідношенням кількості урбанізованих площ та тепловим забрудненням. На площі 27 км<sup>2</sup> станом на 2021 проживає 220 077 осіб. Можна помітити незначне теплове забруднення через дахи будівель та дорожні розв'язки

(Рис 2.6.). Також, можна відмітити контраст між урбаністичною забудовою та зеленими зонами (сині плями).

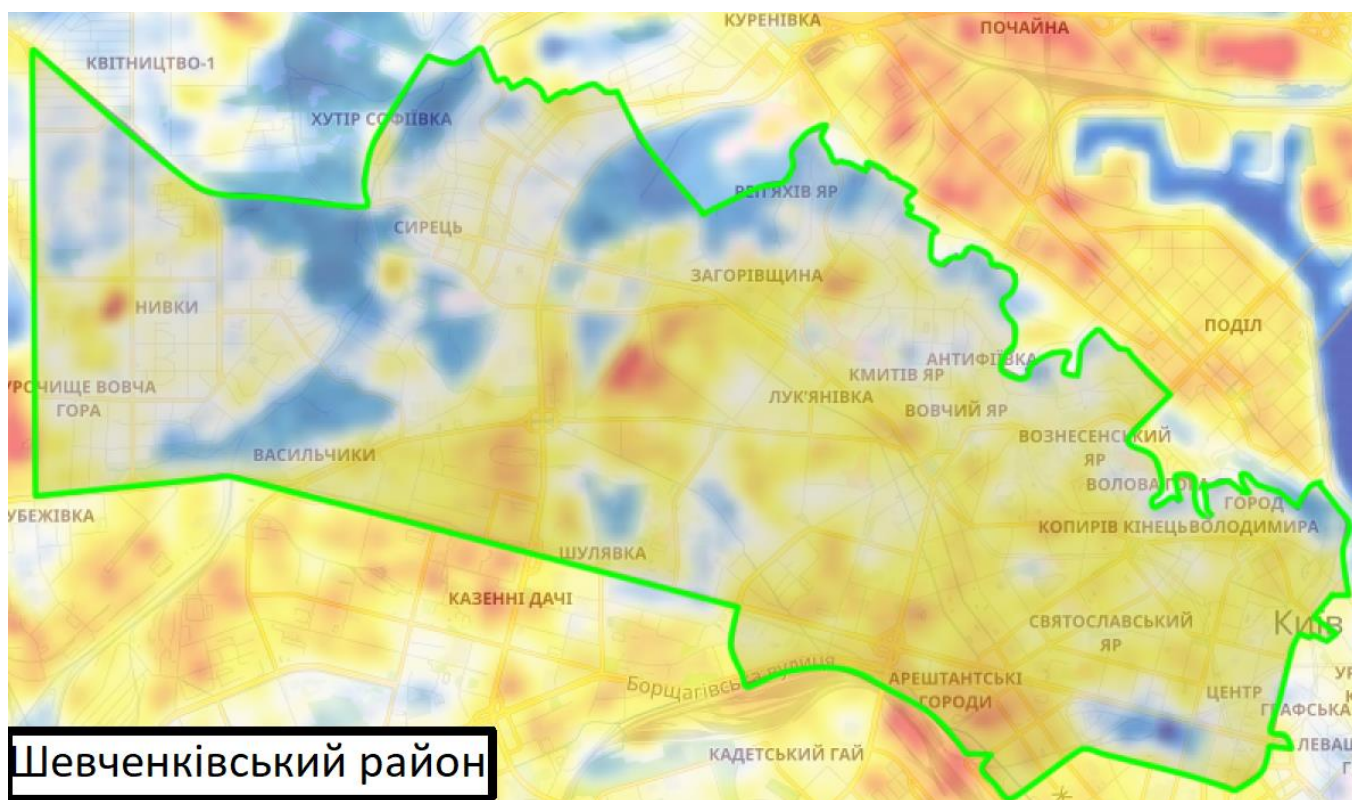


Рис. 2.6. Острови тепла Шевченківського району

**Солом'янський район** – один з найбільш урбанізованих та забруднених тепловими полями районів Києва. На площі 40,05 км<sup>2</sup> станом на 2021 проживає 364 785 осіб (густота населення 9120 осіб/км<sup>2</sup>). Район характеризується щільною забудовою та величезною кількістю широких доріг. Червоні зони були помітні біля району залізної дороги (ангари, будівлі обслуговування та ремонту потягів) та повсюдні дахи великих залізобетонних будівель та конструкцій (Рис 2.7). Солом'янський район можна віднести до високо забруднених житлових масивів. Найбільший показник щільності населення відіграє ключову роль у розумінні теплових полів цього району. Впровадження та розвиток зелених зон, використання менш теплоємних матеріалів для дахів, озеленення будівель – все це позитивно відобразиться на екологічному стані району.

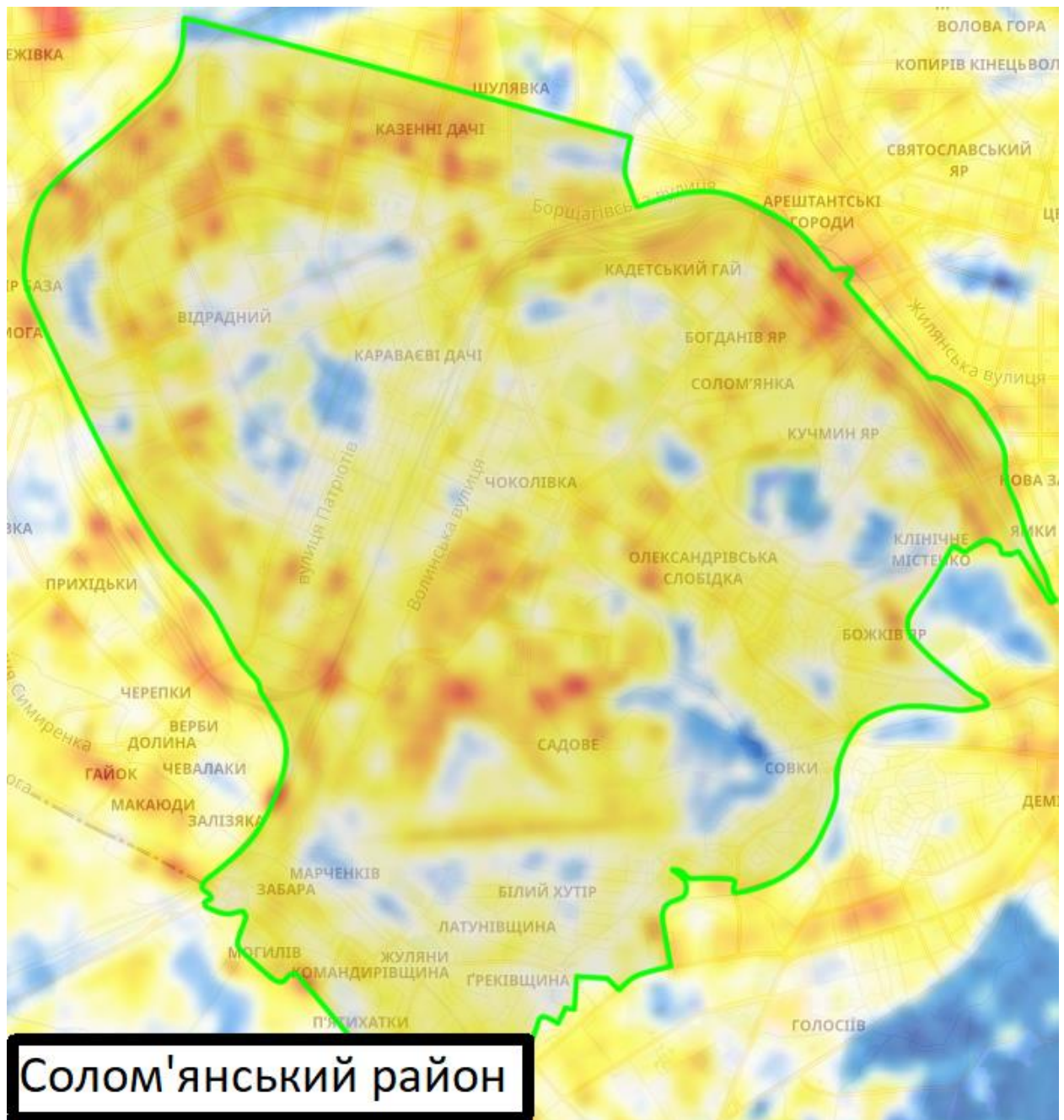


Рис 2.7. Острови тепла Солом'янського району

**Печерський район** – можна віднести до районів з одним із найнижчих теплових забруднень у всьому Києві. На площі 27 км<sup>2</sup> станом на 2021 проживає 151 977 осіб та діє 30 промислових підприємств (Рис 2.8). Район характеризується великою кількістю зелених зон та насаджень і досить низькою щільністю забудови. Незначна концентрація «червоних» зон помічена на Півдні району, де розташовані дорожні розв'язки та прибережна портова зона.

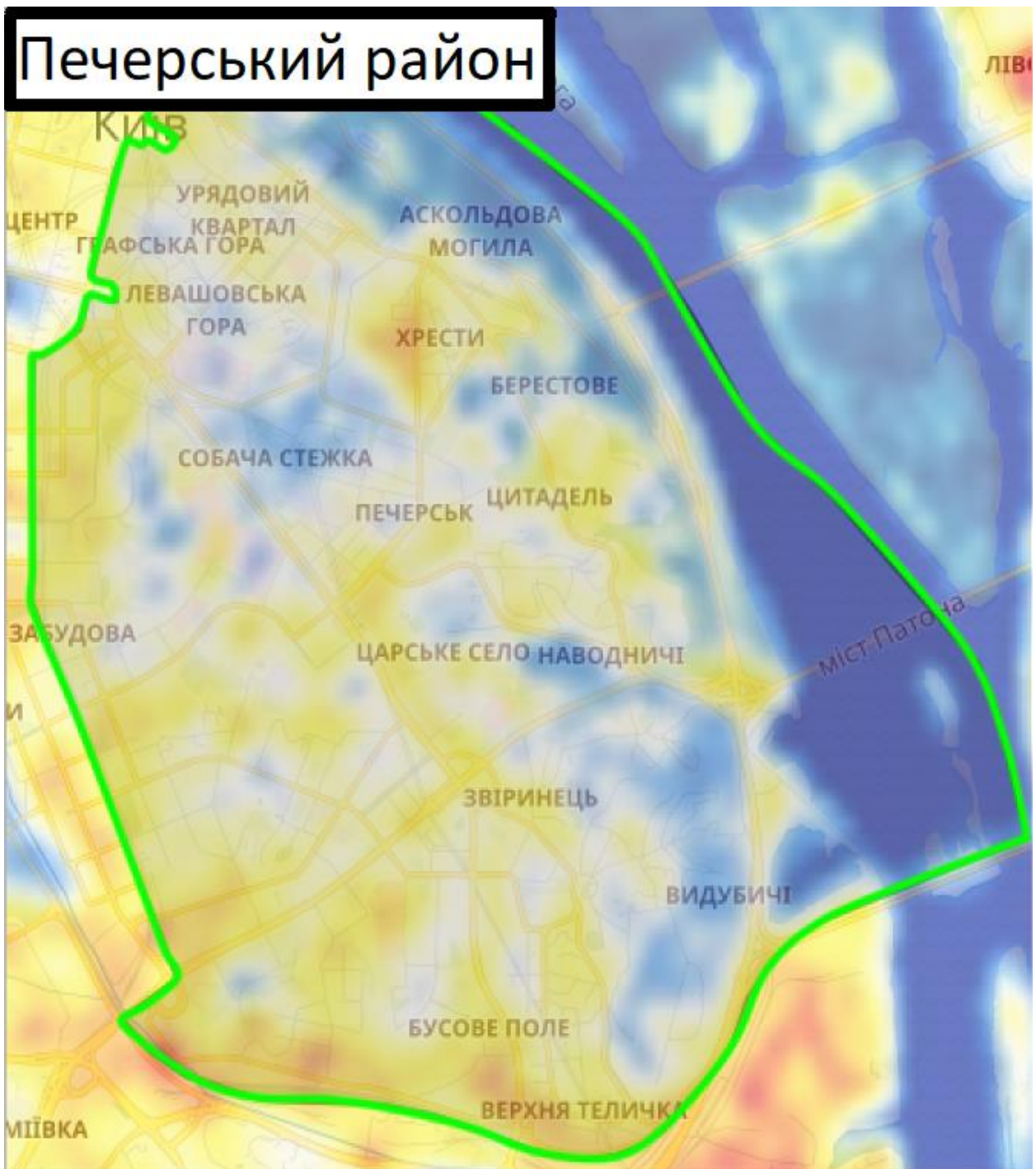


Рис 2.8. Острови тепла Печерського району

**Голосіївський район** – характеризується великою кількістю паркових зон, саме тому так багато «синіх» зон на Рис 2.9. На площі 156,35 км<sup>2</sup> станом на 2021 проживає 254 014 осіб (густота населення 1605 осіб/км<sup>2</sup>). Теплове забруднення утворене через наявний торговельний центр (Західна червона пляма), прибережну зону зі складами (Північно-східна частина), на Півдні розташовані торговельно-розважальні центри, паркування та дорожня розв'язка. Застосування методу

озеленення та «обілення» дахів позитивно відобразиться на температурному фоні регіону.



Рис 2.9. Острови тепла Голосіївського району

**Деснянський район** – має сильне концентроване забруднення на Півдні. Воно виражене великою промисловою зоною (включаючи об'єкти енергетичної та логістичної інфраструктури). Житлова забудова має свої пікові точки, але в більшості виражена помірним тепловим забрудненням (Рис 2.10.). На площі 148 км<sup>2</sup> станом на 2021 проживає 368 400 осіб (густота населення 2489 осіб/км<sup>2</sup>). «Екологізація»

місцевості, а саме озеленення території, дахів, стін будівель може значно знизити температурні діапазони Деснянського району.

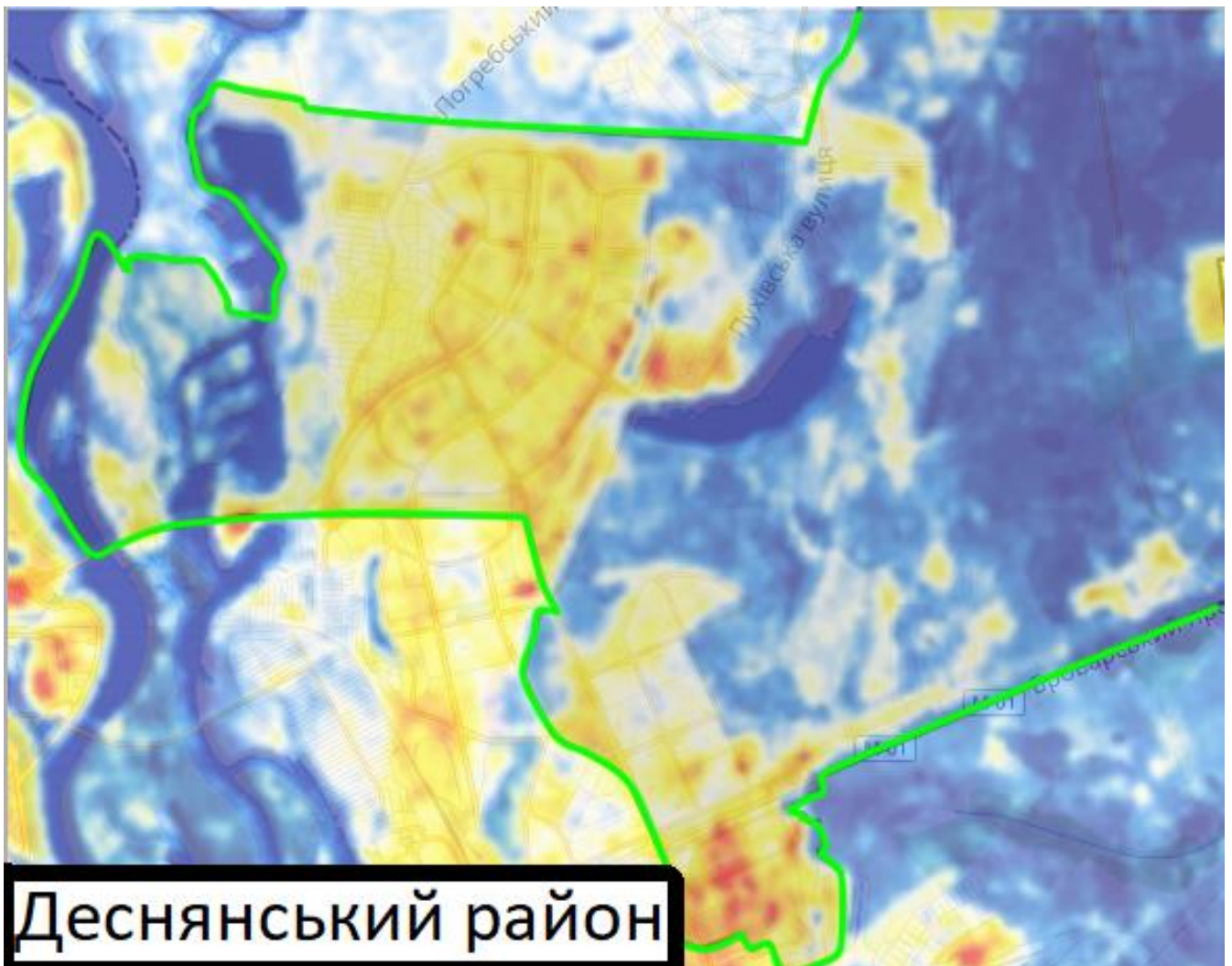


Рис 2.10. Острови тепла Деснянського району

**Дніпровський район** – наявне сильне забруднення через розташування того самого «кластеру» підприємств, що і у Деснянському районі. На площі 148 км<sup>2</sup> станом на 2021 проживає 368 400 осіб (густота населення 2489 осіб/км<sup>2</sup>). Житловий масив в середньому не сильно навантажений тепловим забрудненням (Рис 2.11.). Також варто відмітити червоне забруднення на Лівобережному масиві. Велика промислово-торгівельна зона створює великий острів тепла з температурою до 60 °С у літній період.

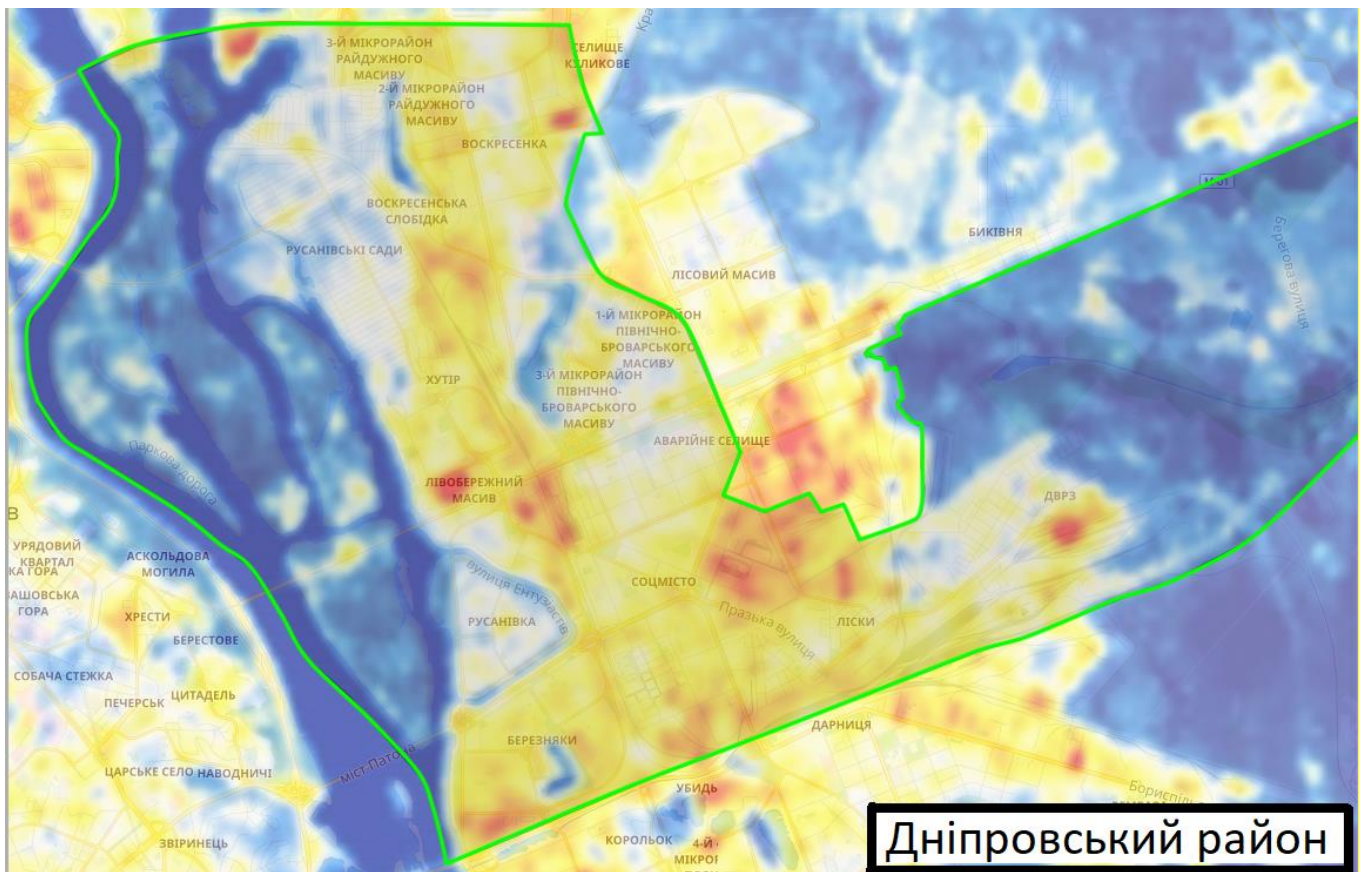


Рис 2.11. Острови тепла Дніпровського району

**Дарницький район** – житловий район з яскраво виділеними тепловими зонами, викликаними торгівельними центрами, місцями паркування та гаражними кооперативами (Рис 2.12.). На площі 134 км<sup>2</sup> станом на 2021 проживає 343 384 осіб (густота населення 2480 осіб/км<sup>2</sup>). Варто звернути увагу, що Бортницька станція аерації не має ярко вираженого теплового поля.

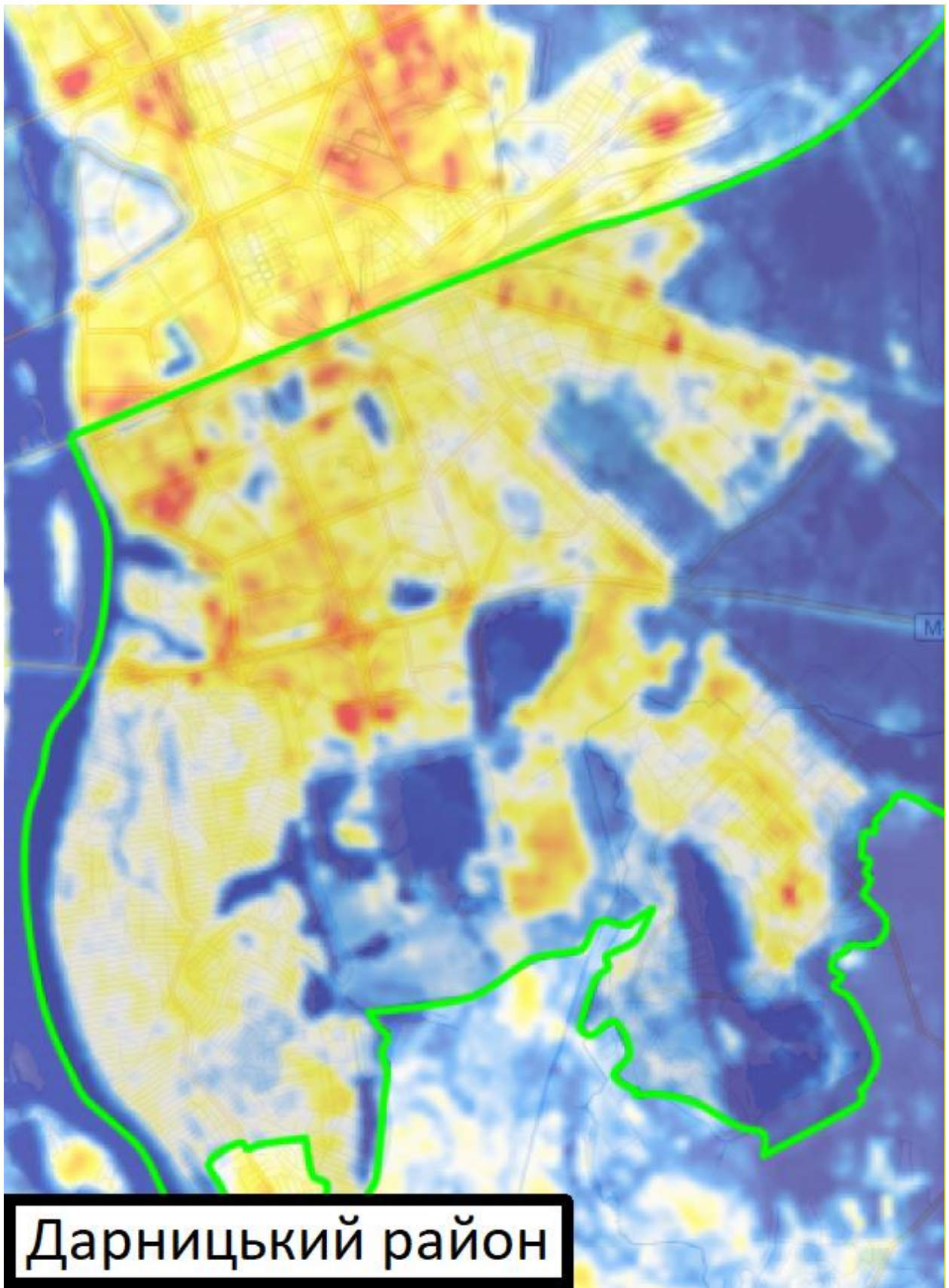


Рис 2.12. Острови тепла Дарницький району



### 2.3. Висновки до розділу

За результатами проведеного дослідження міських островів тепла м. Києва за допомогою методу дистанційного зондування, можна визначити наступне:

1. Всі 10 районів Києва локально страждають від сильних ареалів міських островів тепла;

2. Найбільшими тепловими забрудниками є – торговельні, торговельно-розважальні центри, складські приміщення, території великих підприємств, автостоянки та логістичні вузли (в.т.ч. залізнодорожні);

3. Найбільша площа забрудненої урбанізованої території – Оболонський район, найменша - Голосіївський та Печерський райони. На прикладі цих районів можна побачити користь від парків та зелених зон у місті;

4. Були закартовані та проаналізовані всі міські острови тепла у районах м. Києва.

5. Найменш забрудненим міськими островами тепла районом, визначено – Печерський, найбільш – Оболонський. Це напряду пов'язано з характером діяльності самого району, кількістю та щільністю населення та кількістю «теплоємних» об'єктів.

За допомогою комбінації супутникової системи LANDSAT 8 та платформи Google Earth Engine, можна з легкістю знайти супутниковий знімок, його обробити та отримати необхідні дані для розуміння стану навколишнього середовища. Саме «дистанційність», простота та потенціал розвитку є основними плюсами методу дистанційного зондування.

## РОЗДІЛ 3

### ОХОРОНА ПРАЦІ. ОЦІНКА ІНТЕНСИВНОСТІ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ ФАХІВЦЯ-ЕКОЛОГА

#### 3.1. Вимоги до параметрів мікроклімату

Мікроклімат на робочому місці є важливою частиною робочого процесу, адже від нього залежить здоров'я та життя працівника. Ефективність та якість виконання роботи напряду залежить від самопочуття працівника. Тому підтримання сприятливого мікроклімату на робочому місці є важливим аспектом, який визначає рівень працездатності.

Фахівець-еколог може виконувати різні види робіт, як в офісному приміщенні так і поза ним. Але варто визначити, що фахівець-еколог в більшості своїй може працювати у наступних умовах: польові роботи, офісне приміщення, лабораторія. Тому визначення умов мікроклімату проводиться відповідно до норм офісного приміщення.

Мікрокліматичні умови виробничих приміщень характеризуються такими показниками:

- температура повітря,
- відносна вологість повітря,
- швидкість руху повітря,
- інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення,
- температура поверхні.

За ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичної умови поділяють на оптимальні та допустимі.

Для робочої зони виробничих приміщень встановлюються оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови з урахуванням важкості виконуваної роботи та періоду року. При одночасному виконанні в робочій зоні робіт різної категорії важкості рівні показників мікроклімату повинні встановлюватись з урахуванням найбільш чисельної групи працівників.

Людина завжди піддається впливу іонізуючого та неіонізуючого випромінювання, що походить від різних джерел. Випромінювання в електромагнітному спектрі з довжинами хвиль від 780 нм до 1 мм відоме як інфрачервоне випромінювання. Інфрачервоне випромінювання поглинається практично всіма структурами ока. Випромінювання IR-A (від 770 до 1400 нм) поглинається лінзами, а довжини хвиль понад 1400 нм (IR-C ТА IR-B) поглинаються рогівкою, і вони перетворюються на тепло в рогівці та викликають катаракту.

Контроль випромінювання для захисту здоров'я робочої сили зменшує витрати, спричинені травмами робочої сили. Ультрафіолетове випромінювання є іншою частиною променів електромагнітного спектру з довжиною хвилі від 100 до 400 нм, де його довжини хвилі становлять від 280 до 40 нм (УФ-В ТА УФ-А), які перевищують інші довжини хвиль і пошкоджують очі. Вплив ультрафіолетового випромінювання на очі може призвести до катаракти та пошкодження сітківки. Ультрафіолетове випромінювання може створювати вільні радикали, які призводять до зміни клітинного білка та перекисного окислення ліпідів. Недавні дослідження показали, що вплив на рогівку ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання викликає деякі патологічні зміни в його структурі. Сильний вплив ультрафіолетового випромінювання на рогівку спричиняє кон'юнктивіт, тоді як хронічне та повторюване опромінення певним чином впливає на епітелій і передню частину рогівки.

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь технологічного устаткування, освітлювальних приладів, інсоляція від зашкленних огорожень не повинна перевищувати  $35,0 \text{ Вт/м}^2$  - при опроміненні 50 % та більше поверхні тіла,  $70 \text{ Вт/м}^2$  – при величині опромінюваної поверхні від 25 до 50 %, та  $100 \text{ Вт/м}^2$  - при опроміненні не більше 25 % поверхні тіла працюючого. При наявності джерел з інтенсивністю  $35,0 \text{ Вт/м}^2$  і більше температура повітря на постійних робочих місцях не повинна перевищувати верхніх меж оптимальних значень для теплового періоду року, на непостійних - верхніх меж допустимих значень для постійних робочих місць.

Джерелом інфрачервоного випромінювання є будь-яке тіло, температура поверхні якого перевищує температуру абсолютного нуля ( $-273 \text{ К}$ ). Спектральний

склад випромінювань інфрачервоного діапазону залежить від температури поверхні тіла. Чим вища температура тіла, тим коротша довжина випромінюваної електромагнітної хвилі. Вплив інфрачервоного випромінювання на людину залежить від довжини хвилі, що випромінюється, й від глибини проникнення променів. В залежності від цього інфрачервоне випромінювання поділяють на три ділянки:

А – ближня (короткохвильова), яка характеризується високою проникністю крізь шкіру;

В – середня (середньохвильова) – поглинається шарами дерми та підшкірною жировою тканиною;

С – далека (довгохвильова) – поглинається епідермісом [22].

Інфрачервоне випромінювання, що потрапляє на тіло людини, впливає, перш за все, на незахищені його ділянки (обличчя, руки, шию, груди, очі). Основним його проявом є тепло, яке проникає на деяку глибину в тканини. Тіло людини може витримувати інфрачервоне випромінювання певної густини потоку енергії, яка вимірюється в Вт/м<sup>2</sup>. Так, за густини потоку випромінювання величиною 280 – 260 Вт/м<sup>2</sup> відчувається ледь помітне тепло, яке людський організм може витримувати тривалий час без будь-яких змін у його функціональному стані. За густини потоку випромінювання величиною 560 – 1050 Вт/м<sup>2</sup> настає межа, коли людина не витримує дію інфрачервоного випромінювання.

Довгохвильові ІЧ випромінювання поглинаються в епідермісі, а короткохвильові – в шарах дерми і підшкірній жировій клітковині. Дія ІЧ випромінювань у разі поглинання їх у різних шарах шкіри зводиться до нагрівання останньої. В такому випадку збільшується обмін речовин, збільшується вміст натрію і фосфору в крові, зменшується число лейкоцитів, відбувається поляризація шкіри людини. ІЧ випромінювання впливає на функціональний стан центральної нервової системи, призводить до змін у серцево-судинній системі, частішає пульс і дихання, підвищується температура тіла, підсилюється потовиділення. ІЧ випромінювання діють на слизову оболонку очей, кришталик і можуть привести до патологічних змін в органах зору: помутніння рогівки і кришталика, кон'юнктивіту, опіку сітківки. Найбільш тяжкі ураження зумовлюються короткими ІЧ випромінюваннями. У разі

інтенсивного впливу цих випромінювань на непокриту голову може статися так званий сонячний удар – головний біль, запаморочення, частішання пульсу і дихання, непритомність, порушення координації рухів, ураження мозкових тканин аж до менінгіту й енцефаліту.

У разі тривалого перебуванні в зоні ІЧ випромінювань відбувається порушення теплового балансу в організмі. Порушується робота терморегулюючого апарату, підсилюється діяльність серцево-судинної і дихальної систем, підсилюється потовиділення, відбувається втрата потрібних організму солей. Втрата організмом солей позбавляє кров здатності утримувати воду, що призводить до швидкого виділення з організму знову випитої рідини. Порушення теплового балансу викликає захворювання, що називається гіпотермією. Температура в цьому випадку може досягати 40 °С (температура живої людини 26- 43 °С) із запамороченнями, частішанням пульсу і дихання, втратою свідомості, зміною зорового відчуття. При систематичних перегріваннях підвищується сприйнятливність до застуд. Спостерігається зниження уваги, підвищується стомлюваність, знижується продуктивність праці.

Інтенсивність інфрачервоного випромінювання характеризується густиною потоку енергії, яка визначається за формулами 3.1. [23]:

$$\begin{array}{ll}
 \text{при } l \geq \sqrt{S} & \text{при } l \leq \sqrt{S} \\
 Q = \frac{0,91 \cdot S \cdot \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - A \right]}{l^2} & Q = \frac{0,91 \cdot S \cdot \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - A \right]}{l}
 \end{array} \quad (3.1)$$

де Q – густина потоку енергії, Вт/м<sup>2</sup>; S – площа випромінювання, м<sup>2</sup>; T – температура поверхні випромінювання, К; l – відстань від джерела випромінювання, м; A – константа (для шкіри людини та бавовняної тканини A = 85; для сукна A = 110).

Нормована допустима густина потоку енергії інфрачервоного випромінювання на робочому місці залежить від ділянки випромінювання.

Для ділянки А нормована густина потоку енергії не повинна перевищувати 100 Вт/м<sup>2</sup> при опроміненні 50 % тіла і більше.

Для ділянки В – 120 Вт/м<sup>2</sup> при опроміненні поверхні тіла в межах 25 – 50 %.

Для ділянки С – 150 Вт/м<sup>2</sup>, якщо опромінюється не більше 25 % поверхні тіла.

Нормами передбачено тривалість опромінення, перерв, які залежать від густини потоку опромінення.

### 3.2. Нормування ІЧ випромінювань

Інтенсивність ІЧ радіації необхідно вимірювати на робочих місцях або у робочій зоні поблизу джерела випромінювання. Нормування ІЧ випромінювань здійснюється згідно санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99, ГОСТ 12.4.123-83. Припустима тривалість дії ІЧ на людину наведена у таблиці 1. [25]:

Таблиця 3.1

Допустима тривалість дії на людину теплової радіації

| Теплова радіація, Вт/м <sup>2</sup> | Тривалість дії радіації, с |
|-------------------------------------|----------------------------|
| 280-560 (слабка)                    | Довготривала               |
| 560-1050 (помірна)                  | 180-300                    |
| 1050-1600 (середня)                 | 40-60                      |
| Більше 3500 (дуже сильна)           | 2-5                        |

Теплова радіація з густиною випромінювання 560-1050 Вт/м<sup>2</sup> є межею, яка переноситься людиною. Згідно діючим санітарним нормам допустима густина потоку ІЧ випромінювань не повинна перевищувати 350 Вт/м<sup>2</sup>. Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь технологічного устаткування, освітлювальних приладів та інсоляція від зашкленних огорожень не повинна перевищувати 35 Вт/м<sup>2</sup> – у разі опромінення 50% та більше поверхні тіла, 70 Вт/м<sup>2</sup> – при величині опромінюваної поверхні від 25 до 50%, та 100 Вт/м<sup>2</sup> – при опроміненні не більше 25% поверхні тіла працюючого.

За наявності джерел з інтенсивністю 35 Вт/м<sup>2</sup> і більше температура повітря на

постійних робочих місцях не повинна перевищувати верхніх меж оптимальних значень для теплого періоду року, на непостійних – верхніх меж допустимих значень для постійних робочих місць.

За наявності відкритих джерел випромінювання (нагрітий метал, скло, відкрите полум'я) допускається інтенсивність опромінення до 140 Вт/м<sup>2</sup>. Величина опромінюваної площі не повинна перевищувати 25% поверхні тіла працюючого з обов'язковим використанням індивідуальних засобів захисту (спецодяг, окуляри, щитки).

Для виміру густини потоку випромінювання на робочому місці застосовують актинометр (алюмінієва пластина, що має в шаховому порядку почорніння; термопари, приєднані до гальванометра). Для визначення спектральної інтенсивності випромінювань застосовують інфрачервоні спектрометри (ІЧС-10).

Захист від ІЧ випромінювань. Способи захисту від ІЧ випромінювань наступні: захист часом; захист відстанню; усунення джерела тепловиділень; теплоізоляція; екранування й охолодження гарячих поверхонь; індивідуальні засоби захисту.

### **3.3. Основні вимоги до засобів нормалізації мікроклімату та теплозахисту**

Нормалізація несприятливих мікрокліматичних умов здійснюється за допомогою комплексу заходів та способів, які включають: будівельно-планувальні, організаційно-технологічні, санітарно-технічні та ін. заходи колективного захисту. Для профілактики перегрівань та переохолоджень робітників використовуються засоби індивідуального захисту, медико біологічні тощо.

У приміщеннях із значними площами закслених поверхонь передбачаються заходи щодо захисту від перегрівання при попаданні прямих сонячних променів в теплий період року (орієнтація віконних прорізів схід - захід, улаштування жалюзі та ін.), від радіаційного охолодження - в зимовий (екранування робочих місць). При температурі внутрішніх поверхонь огорожуючих конструкцій, закслення нижче або вище допустимих величин робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

Для профілактики перегрівання працюючих в умовах нагріваючого мікроклімату організовують раціональний режим праці та відпочинку. При мікрокліматичних умовах, що перевищують допустимі параметри, внутрішньозмінний режим праці та відпочинку організовують за рахунок тривалості робочого часу:

- при температурі повітря, що перевищує допустимий рівень, тривалість регламентованих перерв становить не менше 10 % робочого часу на кожні 2° С перевищення;

- при поєднанні температури повітря, що перевищує допустимий рівень, з відносною вологістю, яка перевищує 75 %, тривалість регламентованих перерв рекомендується встановлювати не менше 20 % робочого часу;

- при інтенсивності теплового опромінення понад 350 Вт/м<sup>2</sup> та опроміненні понад 25 % поверхні тіла тривалість безперервної роботи і регламентованих перерв встановлюється у відповідності з даними, наведеними (ДНАОП 0.03-1.23-82).

### **3.4. Висновки до розділу 3**

Дотримання мікроклімату на робочому місці є дуже важливою складовою робочого процесу. Саме тому дотримання вимог та стандартів за цим напрямком, повинно завжди враховуватися, а порушення чи відхилення від заданих норм повинно контролюватися, адже від цього залежить здоров'я співробітників. Міжнародні стандарти щодо покращення ефективності праці та охорони здоров'я щорічно покращуються та доповнюються.



## ВИСНОВКИ

За результатами проведеної роботи по дослідженню міських островів тепла міста Києва, можна сказати наступне:

- було доведено, що супутниковий дистанційний моніторинг може використовуватися для оцінки екологічного стану територій та для отримання необхідних даних для дослідницької та наукової діяльності;

- встановлено, що основними чинниками теплового забруднення у місті Києва є: промислові об'єкти (радянського та сучасного зразків), щільна міська забудова, торгівельно-розважальні центри, паркування навколо об'єктів з великою щільністю населення, складські приміщення, ангари;

- було надано рекомендації по районах для покращення екологічної ситуації з міськими островами тепла в місті Києва;

При виконанні цієї наукової роботи були отримані дані по тепловим островам міста Києва за допомогою супутникової системи LANDSAT 8 та оброблені їх за допомогою набору інструментів Google Earth Engine. За результатами проведеної роботи було визначено, оцінено, закартовано міські острови тепла та були надані рекомендації, щодо покращення загального екологічного стану м. Києва. Був визначений негативний вплив від міських островів тепла на живі організми, людей та навколишнє природне середовище.

Встановлено, що найбільш навантаженим тепловим забрудненням район Києва є Оболонський район через велику концентрацію підприємств та ТЦ. Дахи декотрих будівель прогріваються на  $>50$  °С. А найменш забрудненим виявився Печерський район. Він характеризується великою кількістю зелених зон, низькою щільністю забудови та населення. Середня температура прогріву території району не перевищує 35 °С.

Можна зробити висновок, що дистанційні методи дослідження можуть надати різноманітну важливу інформацію про територію на прикладі міських островів тепла

в місті Києві. Через воєнний стан дистанційне зондування набуває великого значення. Робота з правильними інструментами та правильне поводження з дослідженими даними дає нам ключ до кращого розуміння того, які методи необхідно використовувати для зменшення або усунення негативного впливу з різних джерел.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Silva H, Golden J. 2012. Spatial superposition method via model coupling for urban heat island albedo mitigation strategies. URL: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/51/11/jamc-d-11-064.1.xml>
2. Lee T-W, Choi H, Lee J. 2014. Generalized scaling of urban heat island effect and its applications for energy consumption and renewable energy. URL: <https://www.hindawi.com/journals/amete/2014/948306/>
3. Hoffmann P, Krueger O, Heinke Schlunzen K. 2012. A statistical model for the urban heat island and its application to a climate change scenario. URL: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.2348>
4. Wilby R. 2008. Constructing climate change scenarios of urban heat island intensity and air quality. URL: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wcc.21>
5. Santamouris M, Cartalis C, Synnefa A, Kolokotsa D. 2015. On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—a review. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778814007907?via%3Dihub>
6. Santamouris M. 2014. On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778814005593?via%3Dihub>
7. Taha H. 1997. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778896009991?via%3Dihub>
8. Memon R, Leung D, Chunho L. 2008. A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island. J. Environ. Sci. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074208600194?via%3Dihub>
9. Changnon S, Kunkel K, Reinke B. 1996. Impacts and responses to the 1995 heat wave: a call to action. URL: [https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/77/7/1520-0477\\_1996\\_077\\_1497\\_iarth\\_2\\_0\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/77/7/1520-0477_1996_077_1497_iarth_2_0_co_2.xml)
10. Lottie Limb, 2023. Madrid, Frankfurt, Vienna: How are European cities adapting to heatwaves? URL: <https://www.euronews.com/green/2023/07/20/madrid-frankfurt-vienna-how-are-european-cities-adapting-to-fiercer-heatwaves>
11. Tran H, Uchihama D, Ochi S, Yasuoka Y. 2006. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. Int. J. Appl. Earth Observation Geoinf. 8(1):34–48 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243405000565?via%3Dihub>
12. Gaffin S, Rosenzweig C, Khanbilvardi R, Parshall L, Mahani S, et al. 2008. Variations in New York City's urban heat island strength over time and space. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-007-0368-3>

13. Kolokotsa D, Santamouris M, Zerefos S. 2013. Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in European climates for office buildings under free floating conditions. URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X1300220X?via%3Dihub>

14. Lee J, Kim J, Lee M. 2014. Mitigation of urban heat island effect and green roofs. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1420326X12474483>

15. Barcelona Institute for Global Health 2023. Europe: Trees could prevent 30% of deaths caused by urban heat islands. URL: <https://www.preventionweb.net/news/europe-trees-could-prevent-30-deaths-caused-urban-heat-islands>

16. Santamouris M. 2013. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—a review of the actual developments. Renewable Sustain. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211300350X?via%3Dihub>

17. Golden J, Brazel A, Salmond J, Laws D. 2006. Energy and water sustainability: the role of urban climate change from metropolitan infrastructure. URL: <https://meridian.allenpress.com/jgb/article/1/3/124/200198/Energy-and-Water-Sustainability-The-Role-of-Urban>

18. Shashua-Bar L, Pearlmutter D, Erell E. 2009. The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204609000723?via%3Dihub>

19. Cooney CM. 2011. Preparing a people: climate change and public health. URL: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.119-a166>

20. Patrick E. Phelan, Kamil Kaloush, Mark Miner, Jay Golden, Bernadette Phelan, Humberto Silva III, and Robert A. Taylor, Urban Heat Island: Mechanisms, Implications, and Possible Remedies. 2015. URL: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-environ-102014-021155>

21. LANDSAT 8, Landsat Science Outreach Team. URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>

22. Ali Nemati Ajvadi, Zeynab Mosavianasl, Amin Bababeipouya, 2019, Evaluation of Exposure to the Radiation and the Effect of Using Eye Shield by the Employees at Iron works. URL:

[https://www.researchgate.net/publication/332631408\\_Evaluation\\_of\\_Exposure\\_to\\_the\\_Radiation\\_and\\_the\\_Effect\\_of\\_Using\\_Eye\\_Shield\\_by\\_the\\_Employees\\_at\\_Iron\\_works](https://www.researchgate.net/publication/332631408_Evaluation_of_Exposure_to_the_Radiation_and_the_Effect_of_Using_Eye_Shield_by_the_Employees_at_Iron_works)

23. 2.6.1. Інфрачервоне випромінювання URL: <https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/950.html>

24. Постанова № 42 від 01.12.99, м.Київ. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99.

25. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання / К.Н.Ткачук, М.О.Халімовський, В.В.Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006