

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут екології
Кафедра екологічного моніторингу та заповідної справи

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему

СЕЗОННІ ВІДМІННОСТІ У ФОРМУВАННІ ОСТРОВУ ТЕПЛА МАЛИХ МІСТ (НА ПРИКЛАДІ М. ЧУГУЇВ)

Студентів 4 курсу, групи ДЕ-42

спеціальності : 101 «Екологія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

ПІ автора _____/Паршуков Гліб

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Керівник _____/Надія МАКСИМЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Рецензент _____/_____

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ____/Надія МАКСИМЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____/_____

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/Світлана БУРЧЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут екології
Кафедра екологічного моніторингу та заповідної справи
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр
Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____/ проф. Надія МАКСИМЕНКО
підпис ім'я та прізвище

“30” травня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Гліба ПАРШУКОВА

(прізвище, ім'я,)

1. Тема роботи Сезонні відмінності у формуванні острову тепла малих міст (на прикладі м. Чугуїв)

керівник роботи Надія МАКСИМЕНКО, доктор географічних наук, професор
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “16”квітня 2025 року № 4301-5/967

2. Строк подання студентом роботи 30 квітня 2025 року

3. Перелік питань, які потрібно розробити

1. Здійснити огляд актуальних наукових публікацій за тематикою дослідження;
2. Здійснити польове та дистанційне дослідження ефекту МОТ;
3. Визначити стан об'єктів зеленої інфраструктури в місті;

4. Розробити рекомендації зі створення об'єктів зеленої інфраструктури для вирішення проблеми міського острову тепла.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Огляд літератури за тематикою дослідження
2	Методи дослідження міського острову тепла в м. Чугуїв
3	Результати дослідження міського острову тепла польовими та дистанційними методами в м. Чугуїв
4	Рекомендації зі створення об'єктів зеленої інфраструктури для вирішення проблеми міського острову тепла

5. Дата видачі завдання 28.05.2024 р.

Студент

підпис

Гліб ПАРШУКОВ

ім'я і прізвище

Керівник роботи

підпис

проф. Надія МАКСИМЕНКО

посада, ім'я і прізвище

Консультант роботи

підпис

викл. Аліна ГРЕЧКО

посада, ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ

СЕЗОННІ ВІДМІННОСТІ У ФОРМУВАННІ ОСТРОВУ ТЕПЛА МАЛИХ МІСТ (НА ПРИКЛАДІ М. ЧУГУЇВ)

Паршуков Гліб

Кваліфікаційна робота «Сезонні відмінності у формуванні острову тепла малих міст (на прикладі м. Чугуїв)» містить 37 сторінки, 3 розділи, 10 рисунків, 23 використаних джерела.

Мета роботи: визначити наявність ефекту міського острову тепла в м. Чугуїв.

Актуальність теми. У контексті глобальних кліматичних змін та урбанізації зростає проблема формування міських островів тепла (МОТ), які негативно впливають на мікроклімат, здоров'я населення та енергоспоживання. Особливо це актуально для малих міст з обмеженими ресурсами, таких як Чугуїв, де переважають штучні покриття й недостатньо розвинена зелена інфраструктура. Вивчення сезонної динаміки МОТ у Чугуєві дозволить оцінити вплив природних і антропогенних факторів на тепловий режим міста.

Завдання роботи: здійснити огляд актуальних наукових публікацій за тематикою дослідження; здійснити польове та дистанційне дослідження ефекту МОТ; визначити стан об'єктів зеленої інфраструктури в місті; розробити рекомендації зі створення об'єктів зеленої інфраструктури для вирішення проблеми міського острову тепла.

Методи: аналіз, синтез, абстрагування, дедукція, індукція, аналогія, картографічний метод.

Результати: проведенні дослідження підтвердили зв'язок між забудованістю територій та об'єктами зеленої інфраструктури на формування ефекту теплового острову.

МІСЬКИЙ ОСТРІВ ТЕПЛА, МАЛІ МІСТА, ГЛОБАЛЬНІ ЗМІНИ
КЛІМАТУ, ЧУГУЇВ, ЗЕЛЕНА ІНФРАСТРУКТУРА

ABSTRACT

SEASONAL DIFFERENCES IN THE FORMATION OF THE HEAT ISLAND OF SMALL CITIES (ON THE EXAMPLE OF CHUHUIV)

Parshukov Hlib

The qualification work ‘Seasonal differences in the formation of the heat island of small cities (on the example of Chuhuiv)’ contains 37 pages, 3 sections, 19 figures, 23 references.

Purpose: to determine the existence of the urban heat island effect in Chuhuiv and to propose a solution to the problem by using green infrastructure facilities.

Relevance of the topic. In the context of global climate change and urbanisation, the problem of the formation of urban heat islands (UHIs) is growing, which negatively affect the microclimate, public health and energy consumption. This is especially true for small cities with limited resources, such as Chuhuiv, where artificial pavements prevail and green infrastructure is underdeveloped. Studying the seasonal dynamics of the IAT in Chuhuiv will allow us to assess the impact of natural and anthropogenic factors on the city's thermal regime and develop practical recommendations for adapting urban space to climate change.

Objectives: to review relevant scientific publications on the subject of the study; to conduct a field and remote study of the ILO effect; to determine the state of green infrastructure facilities in the city; to develop recommendations for the creation of green infrastructure facilities to solve the problem of the urban heat island.

Methods: analysis, synthesis, abstraction, deduction, induction, analogy.

Results: The conducted studies confirmed a correlation between the built-up areas and green infrastructure elements in the formation of the urban heat island effect.

URBAN HEAT ISLAND, SMALL CITIES, GLOBAL CLIMATE
CHANGE, CHUGUEV, GREEN INFRASTRUCTURE

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ІНТЕРНЕТ-РЕСУРСІВ ЩОДО МІСЬКОГО ОСТРОВУ ТЕПЛА.....	10
1.1. Основне про поняття «міський острів тепла».....	10
1.2. Застосування об'єктів зеленої інфраструктури для зменшення ефекту міського острову тепла.....	12
1.3. Суть поняття «мале місто» та аспекти їх досліджень.....	16
1.4. Характеристика території дослідження.....	17
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ОЦІНКИ МІСЬКОГО ТЕПЛОВОГО ОСТРОВУ...	20
2.1 Польові обстеження ефекту МОТ.....	20
2.2 Дистанційні методи обстеження ефекту МОТ.....	20
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ МІСЬКОГО ОСТРОВУ ТЕПЛА В М. ЧУГУЇВ.....	22
3.1. Результати здійснення польового обстеження ефекту міського острову тепла.....	22
3.2. Результати здійснення дистанційного обстеження ефекту міського острову тепла.....	27
3.3. Застосування зеленої інфраструктури для вирішення проблеми міського острову тепла.....	27
ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:.....	32

ВСТУП

Актуальність дослідження: У контексті глобальних кліматичних змін та процесів інтенсивної урбанізації все більшої уваги набуває проблема формування міських островів тепла, що негативно впливають на мікроклімат, стан здоров'я населення та рівень енергоспоживання. Особливо гостро ця проблема постає в малих містах, які мають обмежені ресурси для модернізації міського середовища та впровадження кліматичних рішень. Чугуїв є типовим прикладом такого міста, де переважання штучних покриттів і недостатній розвиток зеленої інфраструктури сприяють формуванню ефекту міського острова тепла. Малим містам, таким як Чугуїв, традиційно приділяється менше уваги в дослідженнях міського клімату, проте їхні просторово-екологічні особливості можуть суттєво впливати на локальні мікрокліматичні процеси. Вивчення заходів цього явища на місцевому рівні, оцінка стану існуючих зелених зон та розробка практичних рекомендацій щодо впровадження мобільних і стаціонарних об'єктів озеленення є максимально комфортним кроком до створення екологічно збалансованого міського простору. Сезонні відмінності у формуванні МОТ є важливим аспектом, оскільки вплив урбанізованого середовища на тепловий баланс міста варіюється залежно від погодних умов, типу підстилаючої поверхні, наявності зелених насаджень та інтенсивності антропогенного тепловиділення. Влітку ефект МОТ може посилюватися через зменшення випаровування внаслідок щільної забудови, тоді як узимку на нього впливають фактори, пов'язані з опаленням та сніговим покривом. Чугуїв, як типове мале місто України, має різноманітні типи забудови, фрагментовану зелену інфраструктуру та неоднорідний рельєф, що зумовлює специфічні особливості термічного режиму. Дослідження сезонних змін МОТ у цьому місті дозволить оцінити ступінь впливу природних та антропогенних факторів на мікроклімат, а також розробити рекомендації щодо зменшення негативних наслідків перегріву, особливо в умовах глобального потепління.

Актуальність теми також зумовлена необхідністю адаптації міських територій до змін клімату та підвищення екологічної стійкості малих міст. Отримані результати можуть бути корисними для просторового планування, зокрема щодо оптимізації зеленої інфраструктури, покращення теплового комфорту мешканців та зниження енергоспоживання.

Мета роботи: визначити наявність ефекту міського острова тепла в м. Чугуїв та запропонувати вирішення проблеми застосуванням об'єктів зеленої інфраструктури.

Завданнями роботи, відповідно до поставленої мети є:

- здійснити огляд актуальних наукових публікацій за тематикою дослідження;
- здійснити польове та дистанційне дослідження ефекту МОТ;
- визначити стан об'єктів зеленої інфраструктури в місті;
- розробити рекомендації зі створення об'єктів зеленої інфраструктури для вирішення проблеми міського острова тепла.

Об'єкт дослідження: мале місто Чугуїв.

Предмет дослідження: міський тепловий острів м. Чугуїв

Методи дослідження: синтез та аналіз літературних і інтернет джерел інформації, опис, узагальнення, порівняння, польові обстеження території.

Апробація результатів дослідження:

1. Паршуков Г.Д., Некос А.Н. Відеоекологія сучасних малих смарт-міст: Мрії чи можливості в Україні. Зб. тез доповідей II Міжнародної інтернет-конференції «Екологічна безпека – сучасні напрямки та перспективи вищої освіти», (Харків, 25 лютого 2022 року). – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна 2022. – 174 с.

2. Паршуков Г.Д., Таранська С.В., Некос А.Н. Смарт технології на службі вирішення проблем малих міст. Охорона довкілля: зб. наук. статей XVIII Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. 186 с.

3. Паршуков Г.Д., Таранська С.В., Некос А.Н. Перспективи створення об'єктів природно-заповідного фонду у межах малих SMART CITY. *Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи* : зб. тез доповідей II Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 23 березня 2023 року). – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. – 197 с.

4. Паршуков Г.Д., Некос А.Н. Покращення відеоекологічної ситуації внаслідок відновлення зелено-блакитної інфраструктури малого міста Чугуїв. *The 2 st International scientific and practical conference “Excellence in Science: Implementing Innovative Solutions into Practice”* (02-04 September 2024) EESF, Kharkiv, Ukraine. 2024. 71 p.

5. Паршуков Г.Д., Гречко А. А. Проблематика утворення міського осторву тепла у малих містах. *Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи* : зб. тез доповідей IV Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 18 квітня 2025 року). – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025. – 123 с.

6. Паршуков Г.Д., Гречко А. А. Застосування мобільного озеленення для вирішення проблем міського осторву тепла. VII Міжнародна науково-практична конференція «Лісівнича освіта і наука:стан, проблеми та перспективи розвитку». Подано до друку

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ІНТЕРНЕТ-РЕСУРСІВ ЩОДО МІСЬКОГО ОСТРОВУ ТЕПЛА

1.1. Основне про поняття «міський острів тепла»

Урбанізація призвела до змін у фізичному середовищі міст, яке швидко змінювалося внаслідок економічного розвитку та збільшення концентрації населення. Ці зміни у фізичному середовищі міст сприяли зміні міського клімату. Ці зміни також вплинули на серйозність зміни міського клімату, оскільки урбанізація продовжує розширювати міста та збільшувати щільність фізичних форм міст. Зміна міського клімату, спричинена урбанізацією, вплинула на міське термічне середовище більш безпосередньо, ніж глобальна зміна клімату [1].

Ефект міського острова тепла (МОТ) широко визнаний як явище акумуляції тепла, що є найбільш очевидною характеристикою міського клімату, спричиненого міською забудовою та діяльністю людини. На початку 19 століття Лейк Говард вперше виміряв і обговорив ефект МОТ при вивченні міського клімату в Лондоні, Англія. З тих пір багато вчених по всьому світу проводили глибокі дослідження характеристик ефекту МОТ, дійшовши висновку, що ефект МОТ має тісний зв'язок з міським тепловиділенням, властивостями та структурою підстилаючої поверхні, рослинним покривом, щільністю населення та погодними умовами. Тим часом, масштаби та інтенсивність ефекту МОТ будуть ставати все більш серйозними з подальшою урбанізацією [2].

Основними чинниками, що сприяють формуванню ефекту МОТ, є заміна природних поверхонь на будівельні матеріали з високою теплоємністю та низькою відбивною здатністю [3], скорочення площі зелених насаджень [4], а також інтенсивна антропогенна діяльність, пов'язана з тепловими викидами від транспорту, промисловості та систем кондиціонування повітря [2].

Підвищення температури в межах міст унаслідок ефекту МОТ має серйозні наслідки для навколишнього середовища та здоров'я населення. Високі температури сприяють розвитку теплового стресу серед міських жителів, особливо серед літніх людей та дітей, а також підвищують ризик серцево-судинних та респіраторних захворювань. Крім того, ефект МОТ впливає на підвищення енергоспоживання через зростаючий попит на кондиціонування повітря, що, у свою чергу, збільшує викиди парникових газів. Підвищені температури сприяють утворенню фотохімічного смогу та підвищенню рівня забруднення повітря, що негативно позначається на загальному екологічному стані міських територій.

Зменшення негативного впливу ефекту міського острова тепла можливе завдяки впровадженню низки заходів. Одним із ключових підходів є розширення площі зелених насаджень, зокрема створення парків, зелених дахів і стін, що сприяє природному охолодженню міського середовища шляхом затінення та випаровування [4]. Важливим є також застосування світловідбивних матеріалів у будівництві, зокрема для дахів і дорожнього покриття, що дозволяє зменшити накопичення тепла [3]. Додатковий охолоджувальний ефект забезпечують водні об'єкти, такі як фонтани та штучні водойми, які сприяють зниженню температури через випаровування вологи. Важливу роль відіграє також раціональне планування міської забудови, що передбачає оптимізацію розташування будівель і транспортної інфраструктури для покращення природної вентиляції міста.

Розуміння механізмів формування та наслідків ефекту міського острова тепла є важливим для розроблення ефективних стратегій адаптації міст до змін клімату. Впровадження заходів із пом'якшення цього ефекту сприятиме створенню комфортного та екологічно безпечного середовища для міських жителів.

1.2. Застосування об'єктів зеленої інфраструктури для зменшення ефекту міського острова тепла

Основними елементами, що визначають просторові й часові коливання температури земної поверхні в межах міста, є забудовані ділянки, рослинність та водойми. Забудова й водонепроникні поверхні, як правило, спричиняють підвищення МОТ, тоді як наявність зелених насаджень і водних об'єктів — навпаки, знижує його.



Рис.1.1 - Ефект МОТ на прикладі будинку, при температурі повітря 3⁰С

Одним із ключових факторів, що впливають на формування МОТ, є теплоємність матеріалів. Штучні споруди, такі як будівлі та дорожнє покриття, поглинають, накопичують і зрештою віддають тепло в навколишнє середовище. Поверхнева температура різних об'єктів змінюється залежно від часу доби. Наприклад, удень бетон, завдяки високій теплоємності, має нижчу температуру поверхні порівняно з газоном чи ґравієм. Однак уночі бетон

зберігає тепло довше, тоді як температура газону та гравію швидко знижується після заходу сонця.

Будівлі суттєво впливають на розвиток ефекту міського острова тепла (МОТ) через здатність накопичувати тепло. Вони поглинають сонячне випромінювання через стіни й дах, а також виділяють тепло, що утворюється внаслідок роботи побутових приладів, систем кондиціонування й тепловіддачі від людей. Одним із ефективних способів пом'якшення цього ефекту є впровадження «зелених дахів» із рослинним покривом. Хоча антропогенне та метаболічне тепловиділення загалом не мають вирішального значення для виникнення МОТ, додатковим чинником, що впливає на теплову динаміку міського середовища, є пористість покриттів. Пористі матеріали швидше віддають тепло, ніж щільні, а також можуть утримувати вологу й охолоджувати поверхню шляхом випаровування. Це не лише сприяє зниженню температур, а й покращує регулювання стоку дощових вод [5].

Вплив відкритого ґрунту на формування МОТ залишається неоднозначним: деякі дослідження вказують як на позитивну, так і на негативну залежність між такими ділянками та температурою поверхні. Тип покриття може визначати, чи утвориться в певному місці тепловий осередок або, навпаки, зона зниженої температури. Однак сам по собі аналіз земного покриву не завжди дає повну картину просторової температурної динаміки МОТ у межах міста. Більш інформативним параметром вважається тип землекористування, оскільки він враховує характер і масштаби людської діяльності. Так, промислові зони, як правило, виявляються найтеплішими через високе теплове навантаження.

Залежність між МОТ і типом земного покриву також варіюється відповідно до форми землекористування. Незважаючи на те, що важливість кожного з цих чинників може змінюватися, обидва суттєво впливають як на температурну різницю між містом і його околицями, так і на внутрішньоміські контрасти. Це часто проявляється у вигляді локалізованих

зон підвищеної або зниженої температури, які за своєю вираженістю можуть перевищувати різницю між міською та природною територіями [5].

До того ж, динаміка змін земного покриття й типів землекористування з часом істотно впливає на розвиток МОТ. Розширення міських територій, як правило, призводить до посилення цього ефекту, що пов'язано зі зростанням площі забудови та скороченням зелених насаджень. Така тенденція є особливо вираженою на ранніх стадіях урбанізації або в регіонах із високими темпами змін землекористування.

Вплив трьох основних типів міського землекористування — забудованих територій, озелених зон і водойм — також широко вивчався за допомогою різноманітних кількісних показників, які об'єднуються під терміном ХМД (Urban Site Characteristics — характеристики міських ділянок) [6].

Площа забудованих територій є однією з головних причин формування ефекту МОТ. Відповідно, для характеристики властивостей забудованих ділянок було застосовано чимало двовимірних (2D) індикаторів, таких як:

- Індекс штучних поверхонь (ISA),
- Індекс забудови на основі індексів (IBI),
- Нормалізований диференційний індекс забудови (NDBI),
- Індекс урбанізації (UI).

Також було встановлено зв'язок між ефектом МОТ та покриттям, щільністю й матеріалами окремих елементів забудови — будівель, доріг, парковок.

Крім 2D, активно використовуються тривимірні (3D) індикатори, які описують морфологію міста:

- Висота та об'єм будівель,
- Показник фронтальної площі (FAI),
- Коефіцієнт поверхневого покриття (FAR),
- Фактор огляду неба (SVF).

Цікаво, що кореляція між MOT та ХМД може бути зміщеною на користь 2D індикаторів — особливо у випадках, коли для отримання температури поверхні (LST) використовуються тепловізійні сенсори з вертикальною (надірною) геометрією спостереження, такі як Landsat ETM+ або ASTER [6].

Охолоджувальний ефект озелених територій також детально досліджувався на основі 2D та 3D індикаторів. Найбільшу увагу отримали такі показники, як:

- Нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI)
- Фракція рослинного покриття (VF),
- Розмір зелених зон.

Максимальний охолоджувальний ефект спостерігається, коли зелена площа міста становить від 70% до 80%, і коли щільність і розмір зелених елементів достатні. Також мають значення форма й орієнтація озелених територій, хоча загального консенсусу щодо того, чи повинні зелені зони бути регулярними чи ні — немає. За певних умов, ділянки рослинності можуть знижувати температуру навколишніх територій до 24 Кельвінів на відстані від 60 до 840 м [6].

Замість аналізу всієї рослинності загалом (дерева, чагарники, трава), багато досліджень зосереджуються на вуличних деревах, парках і міських лісах. Серед них питома частка деревного покриття є найпоширенішим USC, оскільки дерева ефективніше пом'якшують SUHI, ніж змішана рослинність. Крім частки дерев, до важливих показників належать також висота, об'єм і види дерев, які мають тісний зв'язок із міською температурою поверхні.

Водойми також чинять охолоджувальний вплив на температуру в місті. Однак їхній вплив оцінювався здебільшого за допомогою таких індикаторів:

- Нормалізований диференційний водний індекс (NDWI),
- Відстань від водойм (або узбережжя) до забудованих територій.

Варіації ефекту міського острова тепла (MOT) часто пов'язують із особливостями складу та просторової конфігурації ландшафту на локальному

рівні. Деякі дослідники наголошують, що саме структура забудови й зелених зон має найсильніший вплив на температуру поверхні в містах (LST). Водночас дискусія щодо того, що є визначальнішим — склад чи конфігурація ландшафту — залишається відкритою і залежить від конкретного міста, характеру землекористування, типу зелених насаджень у межах досліджуваної території, а також від вибору ландшафтних метричних показників.

У загальному випадку вважається, що склад має більший вплив, ніж конфігурація, особливо якщо їх аналізувати окремо.

У зв'язку з цим деякі дослідження рекомендують використовувати один показник складу та обмежену кількість показників конфігурації для аналізу варіацій супутниково-спостережуваного ефекту MOT [6].

1.3. Суть поняття «мале місто» та аспекти їх досліджень

Малим містом називають поселення, яке перевищує розмір сільського населеного пункту, але залишається меншим за велике місто. Визначення малого міста може відрізнятися в різних частинах світу. У деяких випадках термін «мале місто» використовується як інша назва для міста або населеного пункту, особливо великого села або селища. При цьому чисельність населення не є головним критерієм міського характеру, сьогодні малі міста відрізняються від сіл і селищ за економічним характером.

Малі міста становлять значний інтерес як простори для організації комфортного та якісного життя населення. У західних країнах вони користуються високою популярністю, вирізняються унікальною атмосферою та слугують своєрідною візитівкою держав. Науковці вже давно розглядають малі міста як об'єкти управління та вивчають особливості їх розвитку й еволюції [7].

В Україні до категорії малих міст належать міста з чисельністю населення до 50 тис. чоловік. Вони є найчисленнішою за кількісним складом

групою міст, значна частина їх — це адміністративні центри районів. З малими містами безпосередньо пов'язане життя майже 22 млн. міських та сільських жителів [8]. Для малих міст характерна невисока концентрація промислового потенціалу і невелика щільність забудови, розміщуються переважно галузі, що використовують місцеві природні ресурси [9].

Кожне мале місто є складною і неоднорідною системою, що включає різні аспекти — ландшафтні, економічні, соціальні, екологічні та культурні. До екологічної складової такого міського середовища належать рекреаційні території з зеленими насадженнями, елементи блакитно-зеленої інфраструктури, а також промислові об'єкти, що впливають на стан довкілля.

1.4. Характеристика території дослідження

Місто Чугуїв — невелике за розміром 12,8 км²(1280 га) з населенням понад 30 тис. осіб, має частку рекреаційних територій: парки, сквери, ліси та зелені зони між забудовами, які займають близько 8,22% площі.

На території міста також розташовані військові об'єкти й колишній завод паливної апаратури (ЧЗПА), який нині використовується приватними підприємствами.

Завдяки вигідному географічному розташуванню та розвиненій транспортній інфраструктурі, місто Чугуїв до початку війни мало значний потенціал для розвитку зелено-блакитної інфраструктури та туристичної галузі. Це було зумовлено наявністю великої кількості парків, історичних пам'яток («Осинове Плесо», Свято-Покровський собор, Штаб військових поселень — нині Художня галерея), музеїв (Краєзнавчий музей, Художньо-меморіальний музей І. Ю. Рєпіна, «Шляховий палац») і картинної галереї.



Рис. 1.2 - Об'єкти ЗІ

1 - Міський парк культури та відпочинку імені І. Ю. Рєпіна; 2 - Парк закоханих; 3 - Алея Пам'яті; 4 - Сквер Слави; 5 - Парк Мелодія; 6 - Сквер на Центральному бульварі; 7 - Сквер Чугуївський.

На сьогодні місто Чугуїв зіштовхується з низкою проблем, пов'язаних із мілітарними чинниками. Серед основних — прямі фізичні пошкодження (рис. 1.3 (а)), термічні та хімічні ураження ґрунтового покриву, деревних стовбурів і крон (рис. 1.3 (б)) у зонах міських парків та вуличного озеленення. Спостерігається деградація партерних елементів озеленення: декоративних клумб, квітників і газонів, активне розростання чагарників і збільшення кількості аварійних дерев через відсутність агротехнічного обслуговування [10].



(а)



(б)

Рис. 1.3 - Пошкоджені об'єкти зеленої інфраструктури внаслідок війни

Негативний вплив військових дій особливо сильно спостерігається на зеленій інфраструктурі в мікрорайонах житлової забудови садибного типу. У цих районах спостерігається занепад та заростання територій чагарником, що зумовлено відсутністю належного догляду внаслідок виїзду мешканців або руйнації житлових будівель [10].

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ОЦІНКИ МІСЬКОГО ТЕПЛОВОГО ОСТРОВУ

2.1 Польові обстеження ефекту MOT

Дослідження ефекту міського теплового острова в м. Чугуїв здійснено за допомогою використання ручного портативного тепловізора. Використання тепловізорів - дозволяють точно та швидко здійснювати вимірювання температури як на поверхнях та і у повітрі, що є критичним для розуміння наявності ефекту MOT та пошуку шляхів подальшого пом'якшення ефекту. Використання цього приладу є дієвим і зручним способом отримання точних даних щодо розподілу температури [11-15]. Тепловізори, завдяки своїй мобільності та високій роздільній здатності, надають важливу інформацію для аналізу ефективності впровадження об'єктів зеленої інфраструктури в місті.

Польове обстеження температури міських поверхонь здійснювалось портативним промисловим тепловізором Uni-T Pro UTi260A. Прилад має такі характеристики: інфрочервона роздільна здатність: 256 x 192, діапазон виміру температури поверхні -20°C - $+400^{\circ}\text{C}$ [16].

Оцінка ефективності існуючих об'єктів зеленої інфраструктури в регулюванні мікроклімату міста, а також визначення територій, що потребують впровадження нових елементів для запобігання та зменшення ефекту міського острова тепла, проводилися шляхом аналізу температурних характеристик різних типів поверхонь.

2.2 Дистанційні методи обстеження ефекту MOT

Дослідження феномену урбаністичного теплового острова (MOT) є важливою складовою моніторингу антропогенного впливу на локальні мікрокліматичні умови. Одним з ефективних підходів до просторової оцінки

температурних аномалій є використання супутникових даних, зокрема Landsat 8, що надаються Геологічною службою США USGS [17]. У даному дослідженні було використано тепловий канал 10 (TIRS) сцени LC08_L2SP_177025_20240707_20240712_02_T1 для оцінки температури поверхні у межах міста Чугуїв (Харківська область, Україна).

Для обробки та аналізу даних було використано програмне забезпечення ArcGIS Desktop.

На першому етапі дослідження було завантажено супутникові знімки, включаючи растр теплового каналу (ST_B10.TIF), файл метаданих (MTL.txt), а також шар якості (ST_QA.TIF), що містить інформацію про наявність хмарності, тіней та інших артефактів. Дані було додано до середовища ArcMap, при цьому особлива увага приділялася коректності проєкції — усі шари було приведено до системи координат UTM Zone 37N з геодезичною основою WGS 84, відповідно до специфікацій, наведених у файлі метаданих.

Розрахунок температури поверхні здійснювався в два етапи. Спочатку було отримано значення температури в абсолютній шкалі Кельвіна. Для цього цифрові значення пікселів було перетворено на фізичні температурні значення за допомогою формули, рекомендованої USGS:

$$T_k = DN \times M + A, \quad (2.1)$$

де: DN — значення пікселя у файлі ST_B10.TIF,

$M=0.00341802$ $M=0.00341802$ — мультиплікативний коефіцієнт,

$A=149.0$ $A=149.0$ $A=149.0$ — адитивна стала.

Усі ці параметри були отримані безпосередньо з файлу MTL.txt. Розрахунок проводився за допомогою інструменту Raster Calculator, а отриманий результат було збережено у вигляді растра Temperature_Kelvin у форматі Float32, що забезпечує високу точність.

На другому етапі температурні значення було переведено з Кельвінів у градуси Цельсія шляхом віднімання 273.15 від кожного значення растру.

Таким чином було створено новий растр `Temperature_Celsius`, який містив значення температури в загальноприйнятій температурній шкалі. Згідно з технічною документацією, очікуваний діапазон температур складав від приблизно $-124,15^{\circ}\text{C}$ до $+99,85^{\circ}\text{C}$.

Візуалізація результатів температурного аналізу здійснювалася за допомогою кольорової градації: від синього (найнижчі температури) до червоного (найвищі). Для зручності інтерпретації було застосовано ручну класифікацію значень температури в межах від -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$, що відповідає реалістичним умовам наземної поверхні в літній період. До карти було додано масштабну лінійку, легенду та основні графічні елементи для коректного картографічного відображення.

Важливою складовою якісного аналізу стала обробка артефактів, пов'язаних із наявністю хмар, снігу, диму або інших атмосферних та поверхневих перешкод. Для цього було використано шар якості `ST_QA.TIF`. Пікселі, позначені як забруднені або ненадійні, було виключено із розрахунків за допомогою функції `SetNull` у `Raster Calculator`. Таким чином було сформовано маску, яка приховувала потенційно недостовірні значення, а отриманий растр з "очищеними" температурами було збережено як `Temperature_Celsius_Clean`.

Підсумкові результати дослідження було експортовано у форматі `GeoTIFF`, що забезпечує сумісність із іншими аналітичними платформами. Крім того, було створено фінальну карту розподілу температур, яка відображає просторову структуру теплового поля на території міста Чугуїв, включаючи потенційні осередки міського теплового острова.

Таким чином, отримані дані дали змогу не лише виявити температурні аномалії в межах міста, але й заклали основу для подальших міжсезонних порівнянь, оцінки ефективності зелених насаджень, дослідження впливу типу забудови на локальний мікроклімат та формулювання практичних рекомендацій щодо пом'якшення впливу урбанізації на довкілля.

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ МІСЬКОГО ОСТРОВУ ТЕПЛА В М. ЧУГУЇВ

3.1. Результати здійснення польового обстеження ефекту міського острову тепла

Польове обстеження щодо наявності територій з підвищеною температурою було здійснено 19 березня 2025 року. За даними Sinoptik [18] температура повітря в місті Чугуїв становила 3°C, вологість повітря становила 27 %, з вітром 4 м/с.

	ніч		ранок		день		вечір	
	0:00	3:00	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00
середа 19 березня								
Температура, °C	0°	-3°	-4°	+1°	+4°	+3°	+1°	+1°
відчувається як	-4°	-6°	-7°	-2°	+1°	0°	-1°	-2°
Тиск, мм	753	753	754	755	755	755	755	756
Вологість, %	45	56	60	29	27	42	53	60
Вітер, м/с	↓ 3.4	↘ 2.4	↘ 2	↘ 2.4	↘ 3.4	↘ 3.8	→ 2.3	→ 2.2

Рис. 3.1 - Температура дня дослідження за даними Sinoptik [18]

Першою позицією вимірювання ефекту МОТ був Центральний міський парк, де були здійснені перші вимірювання температури. Результати показали, що температура ґрунту з трав'яним покривом майже відповідала температурі навколишнього середовища і становила +4,3 °C, тоді як штучні поверхні парку (плитка) та оголений ґрунт мали суттєво вищу температуру — +10,2 °C.

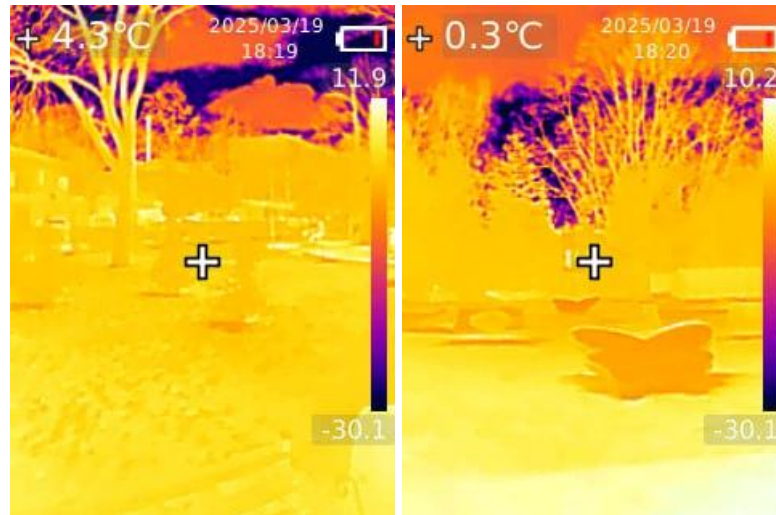


Рис. 3.2 - Температурні знімки центрального міського парку

Наступним об'єктом дослідження став Сквер Слави, де було зафіксовано просідання ґрунту. Це вказує на проблеми з дренажною системою, внаслідок чого відбувається накопичення води, що, своєю чергою, сприяє розвитку гідроерозії (рис. 3.3).



Рис.3.3 - Результати гідроерозії

За результатами дослідження парку також було виявлено, що зелені насадження сприяють стабілізації температури ґрунту, вирівнюючи її з температурою повітря, що підтверджується фотоматеріалами.

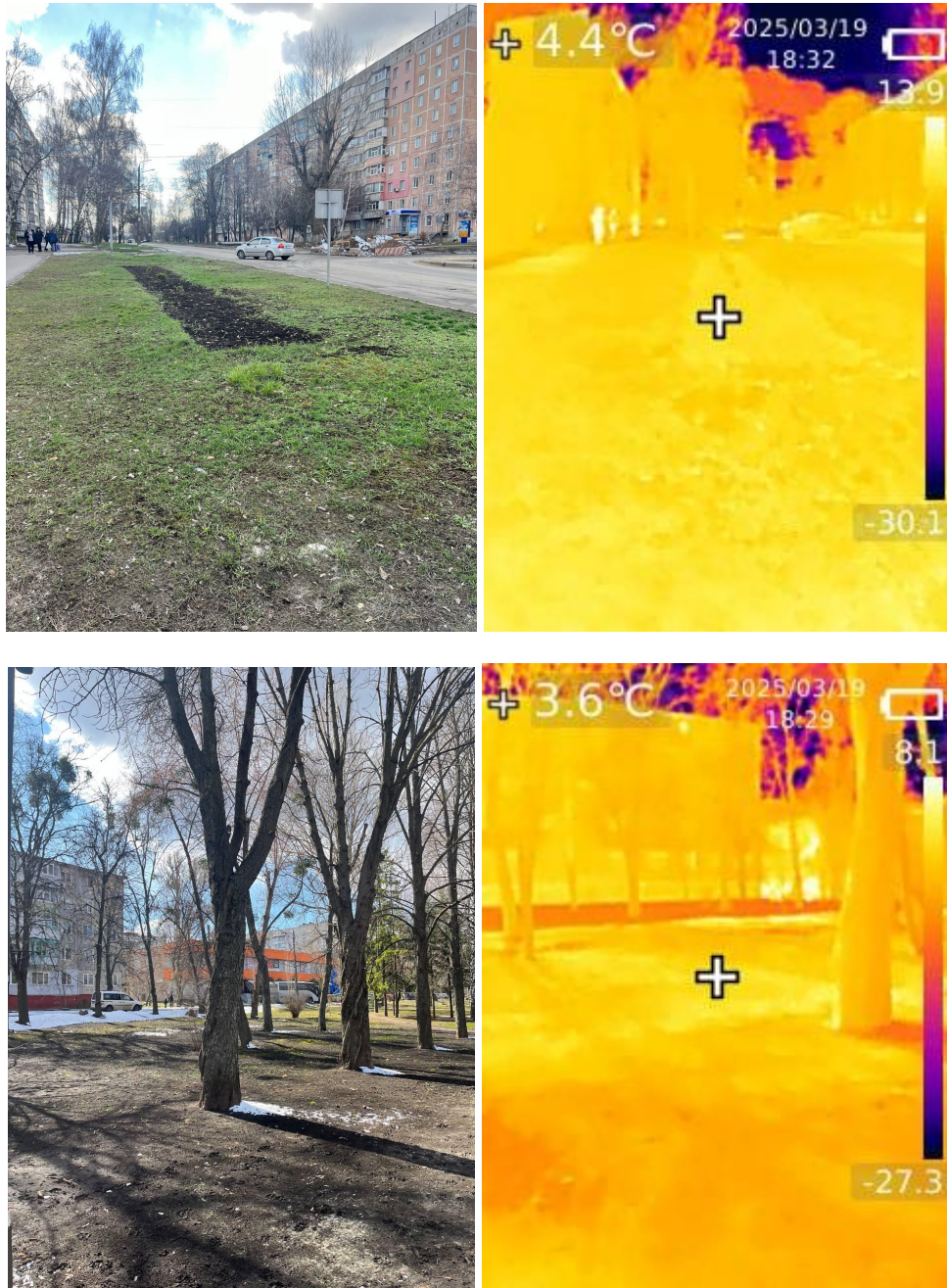


Рис. 3.4 - Температурні знімки Скверу Слави

Наступною локацією дослідження став Сквер Здоров'я, поруч із яким проводилися роботи з ремонту водопостачання. Тепловізійні знімки показують, що ґрунт без рослинного покриву починає нагріватися інтенсивніше порівняно з навколишньою поверхнею, а окремі об'єкти, зокрема труба, підвищують температуру до 11,8 °С.

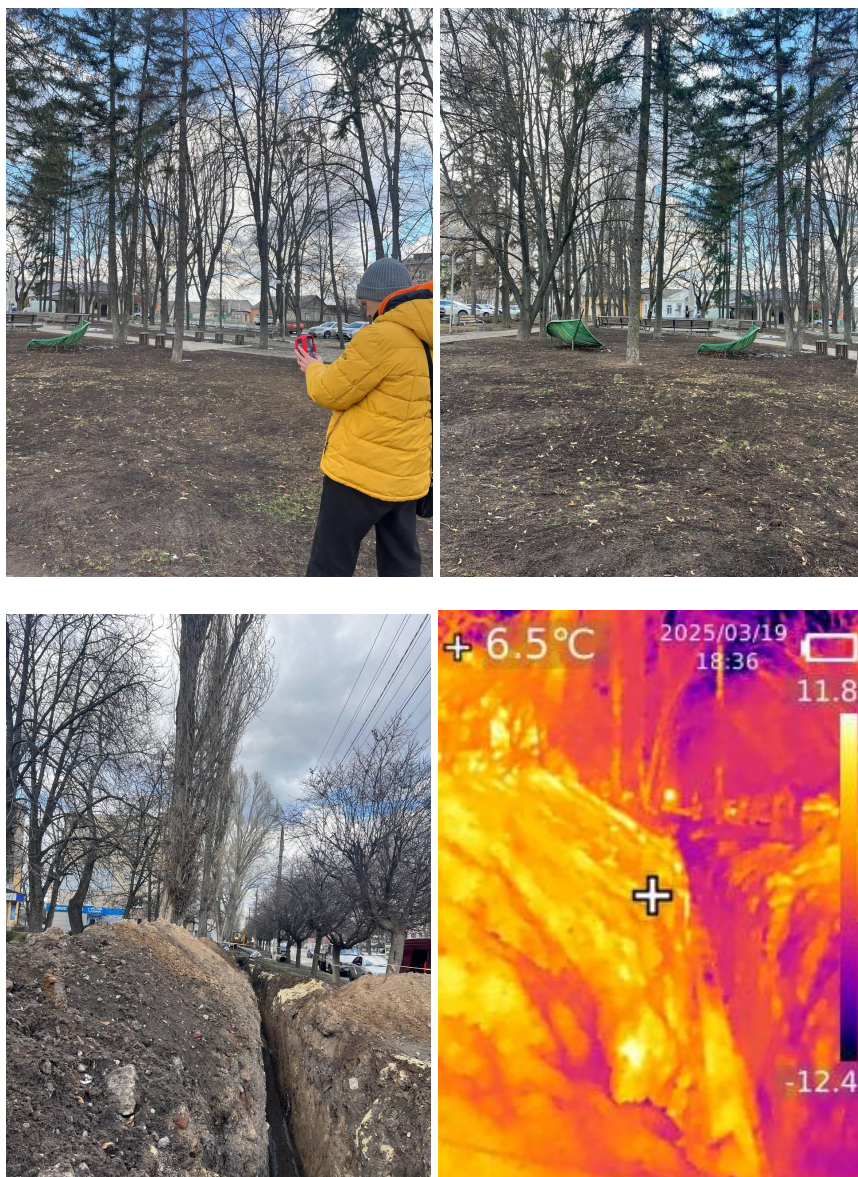


Рис. 3.5 -Температурні знімки Сквер Здоров'я

У результаті проведеного дослідження було зафіксовано температурні відмінності між природними зеленими поверхнями та ділянками без трав'яного покриття або зі штучним покриттям. Відповідно до даних тепловізійних знімків, отриманих за допомогою тепловізора моделі Uni-T Pro UTi260A, встановлено, що поверхні без рослинності значно більше накопичують і утримують тепло, що сприяє розвитку ефекту міського острова тепла (МОТ). Натомість поверхні з рослинним покриттям утримують температуру, близьку до температури навколишнього повітря.

Завдяки супутниковим знімкам високої роздільної здатності стає можливим оперативно й масштабно оцінювати просторовий розподіл температури поверхні у містах, виявляти зони з аномально високим тепловим навантаженням, а також відслідковувати динаміку змін протягом часу. На відміну від точкових вимірювань за допомогою метеостанцій, ДЗЗ забезпечує цілісне охоплення всієї території міського простору, включно з важко доступними або незабудованими ділянками.

Важливість дистанційного моніторингу МОТ зростає в умовах сучасної кліматичної нестабільності та швидкої урбанізації. Зміна структури земного покриву — зокрема збільшення площі твердого покриття (асфальт, бетон), зменшення зелених насаджень і водних об'єктів — призводить до порушення локального теплового балансу. Дані ДЗЗ дозволяють не лише кількісно оцінити температуру поверхні, а й пов'язати її з іншими чинниками, такими як щільність забудови, наявність зелених зон, характер ландшафту тощо. Це, у свою чергу, сприяє формуванню науково обґрунтованих рішень щодо екологічного планування міст.

Таким чином, дистанційне зондування стає ключовим інструментом для сталого управління міським середовищем, спрямованим на зниження негативних наслідків урбаністичного теплового ефекту.

Для аналізу ефекту МОТ дистанційними методами було використано супутниковий знімок шатлу Landsat 8 за 07.07.2024 року, в цей день в місті не спостерігалась хмарність, що дало змогу проведення об'єктивної оцінки теплового острова.

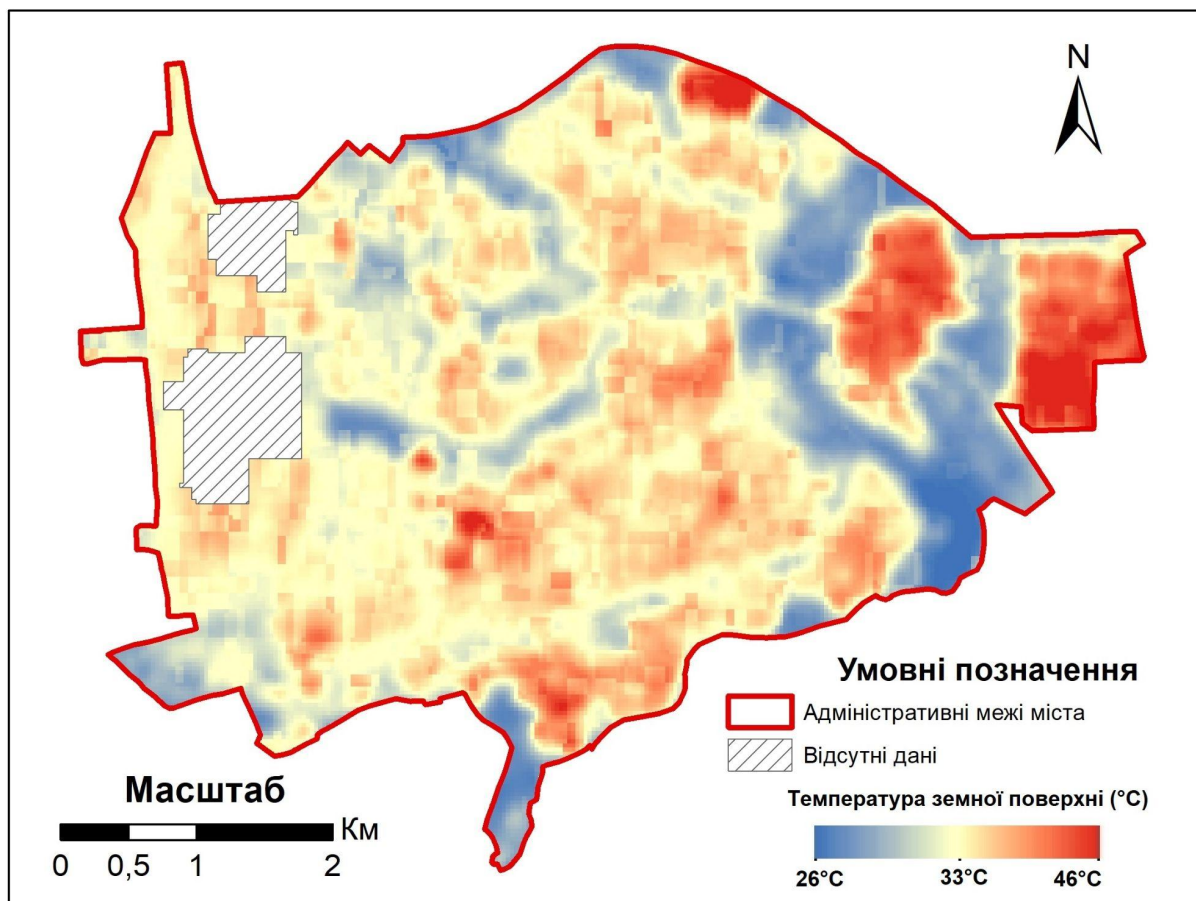


Рис.3.7 - Результати обстеження ефекту МОТ даними ДЗЗ у м. Чугуїв

За даними рис. 3.7 найнижчі значення - 26°C, а найбільше значення температури поверхні - 46°C.

Температурний режим у місті Чугуїв коливається в межах 34–40°C. У районі заводу паливної апаратури спостерігається підвищення температури через велику площу штучних покриттів. Натомість температури 33–37°C у межах міста підтримуються завдяки наявності парків і зелених насаджень, які відіграють охолоджувальну роль за рахунок затінення, транспірації та альбедо-ефекту. За межами міста, у зонах із щільними лісовими масивами та посадками, температура знижується до 26–28°C. Це зумовлено значною площею, вкритою рослинністю, яка стабілізує мікроклімат навколо.

Найвищі температури — 42–46°C — фіксуються на східній частині території дослідження. Таке підвищення пояснюється переважанням відкритих ділянок ґрунту, що використовуються під сільське господарство, наявністю піщаних ґрунтів, а також військових об'єктів із бетонним та асфальтним покриттям.

Зони з відсутніми даними відповідають території військового аеродрому. У період воєнного стану ці дані не підлягають використанню, оскільки фіксація підвищених температур могла б вказувати на наявність літальних апаратів, робота яких супроводжується суттєвим локальним підвищенням температури. Це створює потенційну загрозу розкриття стратегічної інформації.

3.3. Застосування зеленої інфраструктури для вирішення проблеми міського острова тепла

Міський острів тепла (MOT) є однією з ключових проблем сучасного урбанізованого середовища, що призводить до підвищення температури повітря, зростання енергоспоживання та погіршення якості життя мешканців. Впровадження зеленої інфраструктури розглядається як один із найефективніших інструментів адаптації до змін клімату та мітигації його наслідків у містах. За результатами польового дослідження був зафіксований зв'язок між наявністю зеленої інфраструктури в місті.

Зелена інфраструктура забезпечує комплексний ефект за рахунок:

1. Транспіраційного охолодження
2. Створення тіні
3. Альbedo-ефекту

Якщо більш детально розглянути кожен із зазначених пунктів то - рослинність вивільняє водяну пару, поглинаючи при цьому теплову енергію. Дослідження демонструють, що одне доросле дерево може випаровувати до 400 л води на добу, що еквівалентно охолоджуючій потужності 5 кондиціонерів. Крони дерев знижують температуру поверхонь на 10-20°C порівняно з відкритими ділянками. Рослинні покриви мають вищий коефіцієнт відбиття (0,25-0,50) порівняно з асфальтом (0,05-0,20).

Зелена інфраструктура є стратегічним інструментом адаптації до кліматичних змін, що поєднує екологічну, соціальну та економічну ефективність. Її впровадження вимагає системного підходу, включаючи оновлення нормативної бази, фінансові стимули та громадську участь.

Зелена інфраструктура виступає ключовим інструментом зменшення ефекту міського острова тепла. Рослинність у міському середовищі виконує кілька важливих функцій: поглинає сонячну радіацію, забезпечує тінь, знижує температуру повітря через процес транспірації та покращує аерацію територій. Дослідження показують, що наявність зелених зон може знижувати температуру в місті на 2-8°C порівняно з районами, де переважає асфальтобетонне покриття. Це особливо важливо влітку, коли теплове навантаження досягає критичних показників.

Одним із найефективніших елементів зеленої інфраструктури є парки та сквери. Великі зелені масиви здатні створювати так звані "холодні острови", які не лише знижують температуру на своїй території, але й позитивно впливають на прилеглі райони. Крім того, дерева виконують функцію природних кондиціонерів - одне доросле дерево за добу може випаровувати до 400 літрів води, що еквівалентно роботі кількох кондиціонерів. Це дозволяє суттєво знизити енергоспоживання на охолодження приміщень у літній період.

Сучасні підходи до міського планування передбачають інтеграцію різноманітних елементів зеленої інфраструктури. Зелені дахи та фасади не лише зменшують нагрівання будівель, але й покращують їх енергоефективність. Водні об'єкти (ставки, фонтани, канали) за рахунок випаровування забезпечують додаткове охолодження. Вертикальне озеленення дозволяє ефективно використовувати обмежений міський простір. Важливим аспектом є створення "холодних коридорів" - зелених зон, орієнтованих у напрямку переважаючих вітрів, що сприяє кращій вентиляції міста.

Реалізація програм зеленої інфраструктури потребує комплексного підходу та довгострокового планування. Важливо враховувати місцеві кліматичні умови, особливості міської забудови та соціальні потреби мешканців. Найуспішніші приклади світових міст (Сінгапур, Відень, Портленд) демонструють, що системна політика озеленення може призвести до значних позитивних змін мікроклімату та якості міського середовища в цілому.

В таблиці 3.1 представлено вплив зеленої інфраструктури на МОТ.

Таблиця 3.1

Основні типи зеленої інфраструктури та їх ефективність [20-23]

Об'єкт зеленої інфраструктури	Ефект зниження температури	Додаткові переваги від використання
Парки (>1 га)	2-5°C	Збільшення біорізноманіття
Алеї дерев	1-3°C	Зменшення шуму, депонування CO ₂
Зелені дахи	3-7°C (поверхня)	Енергоефективність будівель
Вертикальне озеленення	2-4°C (фасади)	Поліпшення естетики
Водні об'єкти	1-3°C	Підвищення рекреаційної цінності

Впровадження зеленої інфраструктури є не лише ефективним засобом боротьби з міським островом тепла, але й важливим інструментом сталого розвитку міст. Воно сприяє покращенню екологічної ситуації, підвищенню якості життя мешканців та створенню комфортного та здорового міського середовища для майбутніх поколінь.

ВИСНОВКИ

1. Завдяки аналізу актуальної літератури та інтернет-джерел було з'ясовано, що урбанізація істотно змінює міський клімат, головним чином через збільшення площі штучних поверхонь та об'єктів, які сприяють формуванню міських островів тепла (MOT). MOT призводить до серйозних екологічних і соціальних проблем, серед яких: зростання температури повітря, погіршення його якості, збільшення споживання енергії та погіршення стану здоров'я міських жителів.

2. Ефективними методами боротьби проти ефекту MOT є розвиток зеленої інфраструктури — створення парків, зелених дахів, озеленення вулиць і водних об'єктів і використання світловідбивних матеріалів у будівництві та планування міських територій з урахуванням їх теплових характеристик. Для дослідження і прогнозування розвитку MOT активно застосовують двовимірні (2D) та тривимірні (3D) індикатори стану міських територій.

3. На прикладі малого міста Чугуїв був проаналізований процес формування ефекту міського острова тепла (MOT). Завдяки великій кількості рекреаційних територій, культурних об'єктів та історичної спадщини, Чугуїв має вагомі можливості та перспективи для розвитку зелених зон.

4. Польові дослідження проводилися із використанням портативного промислового тепловізора Uni-T Pro UTi260A, якій дозволив точно фіксувати розподіл температур на різних типах міських поверхонь. Тепловізор забезпечив оперативне отримання даних щодо температурного фону, що надає змоги оцінці впливу зеленої інфраструктури на мікроклімат міста.

5. Під час польових досліджень за допомогою портативного промислового тепловізора Uni-T Pro UTi260A було встановлено температурні відмінності між природними зеленими поверхнями та ділянками без рослинного покриву або зі штучними покриттями. Так, у Центральному

міському парку температура ґрунту з трав'яним покривом практично відповідала температурі навколишнього повітря (+4,3 °C), тоді як плитка та оголений ґрунт має значно вищу температуру (+10,2 °C).

6. Використання зеленої інфраструктури є одним із найефективніших рішень для пом'якшення впливу МОТ в умовах сучасної урбанізації. Завдяки здатності рослин до транспіраційного охолодження, формуванню тіні та збільшенню альбедо поверхонь, об'єкти зеленої інфраструктури (парки, сквери, зелені дахи та вертикальне озеленення) ефективно зменшують температуру повітря, поверхонь і ґрунту, що зменшує потребу в охолодженні будівель. Системне впровадження таких рішень з урахуванням місцевих кліматичних умов, плануванням міської забудови і перспектив розвитку не лише допоможе боротися з ефектом МОТ, а й покращить якість життя населення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Kim S. W., Brown R. D. Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 779. P. 146389. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146389>
2. Jabbar H. K., Hamoodi M. N., Al-Hameedawi A. N. Urban heat islands: a review of contributing factors, effects and data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1129, no. 1. P. 012038. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1129/1/012038>
3. Urban Heat Island: Causes, Consequences, and Mitigation Measures with Emphasis on Reflective and Permeable Pavements / S. Vujovic et al. *CivilEng*. 2021. Vol. 2, no. 2. P. 459–484. DOI: <https://doi.org/10.3390/civileng2020026>
4. Deilami K., Kamruzzaman M., Liu Y. Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2018. Vol. 67. P. 30–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.009>
5. 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. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021155>
6. Zhou D., Xiao J., Bonafoni S., Berger C., Deilami K., Zhou Y., Frolking S., Yao R., Qiao Z., Sobrino J.A. Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives. *Remote Sensing*. – 2019. – T. 11, № 1. – С. 48. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11010048>,
7. Репозитарій Національного Авіаційного Університету: Актуальні питання відеоекології. Репозитарій Національного Авіаційного Університету: Home. URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/17185?locale=ru>
8. Скарбовійчук Т.В. МАЛІ МІСТА – ЕВОЛЮЦІЯ ТА СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ. *Глобальні та національні проблеми економіки*. URL: <http://global-national.in.ua/archive/20-2017/42.pdf> (дата звернення: 08.11.2024).
9. Малі міста як об'єкти економічного та соціального розвитку. *Pidru4niki*. URL: https://pidru4niki.com/11800912/rps/mali_mista_obyekti_ekonomichnogo_sotsialnogo_rozvitku (дата звернення: 08.11.2024).
10. Гречко А. Вплив військових дій на елементи зеленої інфраструктури у містах Харківської області. *Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи* : зб. тез доповідей III Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 26 квітня 2024 року). URL: <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/06/akt-probl-form-i-neform-osv-z-monit-do-vk-ta-zapov-spr-2024.pdf> (дата звернення: 08.11.2024).
11. Bowler D. E., Buyung-Ali L. M., Knight T. M., Pullin, A. S. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 2010. Vol. 97(3), p. 147-155.
12. Tan J., Zheng Y., Tang X., Guo C., Li L., Song, G., Chen H. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International Journal of Biometeorology*, 2010. Vol. 54(1), p. 75-84.
13. Santamouris M. On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. *Energy and Buildings*, 2014. Vol. 82, p. 100-113.

14. Nagendra H., Gopal D. Street trees in Bangalore: Density, diversity, composition and distribution. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2010. Vol. 9(2), p. 129-137.
15. McPhearson T., Kremer P., Hamstead Z. A. Mapping ecosystem services in New York City: Applying a social–ecological approach in urban vacant land. *Ecosystem Services*, 2013. Vol. 5, p. 11-26.
16. Промисловий тепловізор Uni-T Pro UTi260A (Червоний). "Твій онлайн-гіпермаркет" - контакти, товари, послуги, ціни. URL: <https://ranchotehnika.com.ua/ua/p2101325080-promyshlennyj-teplovizor-uni.html> (дата звернення: 30.04.2025).
17. USGS.gov | Science for a changing world. USGS.gov | Science for a changing world. URL: <https://www.usgs.gov/> (дата звернення: 12.01.2025).
18. SINOPTIK: Погода у Чугуєві. Прогноз погоди Чугуїв у Харківській області, Чугуївському районі на тиждень, Україна. *Sinoptik*. URL: <https://sinoptik.ua/pohoda/chuhuiv/2025-03-19> (дата звернення: 19.03.2025).
19. Візіком карти. Ukraine – *Visicom maps*. URL: <https://maps.visicom.ua/c/36.69342,49.83858,17?lang=uk> (дата звернення: 28.04.2025).
20. Akbari H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas / H. Akbari, M. Pomerantz, H. Taha // *Solar Energy*. 2001. Vol. 70, № 3. P. 295-310. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)
21. Givoni B. Climate Considerations in Building and Urban Design / B. Givoni. – New York: John Wiley & Sons, 1998. – 480 p.
22. Oke T.R. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1982. Vol. 108, № 455. P. 1-24. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
23. Urban green spaces and health: a review of evidence [Електронний ресурс] / World Health Organization. – 2016. – Режим доступу: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/321971/Urban-green-spaces-and-health-review-evidence.pdf (дата звернення: 01.05.2025).