

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ  
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я ТА СУСПІЛЬНОГО  
БЛАГОПОЛУЧЧЯ

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ОС «Бакалавр»

на тему: «**ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ СТРУКТУРИ  
МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ НА МІКРОКЛІМАТ МІСТА**»

Виконала: здобувач вищої освіти  
заочної форми навчання спеціальності  
101 «Екологія»

**ЧЕРНЮХ СОФІЯ ВАСИЛІВНА**

---

Керівник: к. с.-г. н., доцент

\_\_\_\_\_ **МОМУТ В. Я.**

Рецензент: к. с.-г., н., доцент кафедри  
технології виробництва та переробки  
продукції тваринництва

\_\_\_\_\_ **ОСЕРЕДЧУК Р. С.**

Львів 2026

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	2
АННОТАЦІЯ.....	3
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....	7
1.1. Глобальне потепління як прояв сучасних кліматичних змін .....	7
1.2. Основні поняття про мікроклімат .....	14
1.3. Вплив мікрокліматичних чинників антропогенно зміненого середовища на людину.....	17
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	21
2.1. Характеристика об'єкта дослідження та типів міської забудови .....	21
2.2. Методи дослідження мікроклімату.....	25
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	28
3.1. Фактори, що впливають на мікрокліматичні умови в міському середовищі .....	28
3.2. Зміни мікроклімату міста Львова в умовах урбанізаційного розвитку.....	36
3.3. Шляхи оптимізації міської забудови з метою покращення мікроклімату	49
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	53
ВИСНОВКИ.....	63
ПРОПОЗИЦІЇ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66

## АННОТАЦІЯ

У роботі розглянуто особливості формування міського мікроклімату в умовах сучасної урбанізації. Показано, що поєднання щільної забудови, твердих поверхонь, зелених насаджень і водних об'єктів зумовлює виникнення міського «острова тепла», зміну температурного режиму, вологості повітря та розподілу атмосферних опадів. Проаналізовано просторово-часову мінливість цих параметрів і чинники, що посилюють або послаблюють кліматичні контрасти між містом і прилеглими територіями. Обґрунтовано актуальність дослідження міського мікроклімату в умовах зростання рівня урбанізації.

*Ключові слова: міський мікроклімат, острів тепла, урбанізація, температура повітря, вологість, атмосферні опади, антропогенний вплив.*

Мета роботи — дослідити екологічні наслідки розвитку міської забудови та надати оцінку її впливу на формування міського мікроклімату.

Завдання дослідження:

- ☞ проаналізувати основні чинники формування міського мікроклімату;
- ☞ охарактеризувати температурний режим і параметри міського «острова тепла»;
- ☞ проаналізувати зміни мікроклімату міста Львова в умовах урбанізаційного розвитку;
- ☞ запропонувати шляхи оптимізації міської забудови з метою покращення мікроклімату.

Об'єкт дослідження — міський мікроклімат великих населених пунктів.

Предмет дослідження — закономірності формування міського середовища в межах забудованих територій, умови інсоляції, рівень сонячної радіації та нормативні вимоги до планування і забудови територій.

Методи дослідження — аналіз і узагальнення наукових джерел, порівняльний аналіз метеорологічних показників міських і приміських територій, статистична обробка даних, описовий та системний підходи.

Кваліфікаційна робота викладена на 69 сторінках машинописного тексту та складається з чотирьох розділів. Ілюстративний матеріал представлено двадцятьма шістьма рисунками та однією таблицею, а бібліографічний список налічує 36 використаних джерел.

## ВСТУП

Сучасні великі міста формують специфічні локальні кліматичні умови, що зумовлено значною концентрацією багатоповерхової забудови, щільною мережею заасфальтованих вулиць і площ, наявністю зелених насаджень та водойм. Сукупна дія цих чинників призводить до виникнення особливого міського мікроклімату. Численні дослідження підтверджують наявність у межах міст так званого «острова тепла», який проявляється підвищенням температури повітря порівняно з навколишніми сільськими територіями. Основними причинами цього явища є швидкий відвід дощових вод у каналізаційні системи, що зменшує витрати тепла на випаровування, а також значні обсяги антропогенного тепла, яке надходить у атмосферу внаслідок спалювання палива. Додатковим чинником є забруднення повітря, яке знижує інтенсивність ефективного випромінювання, унаслідок чого послаблюється нічне охолодження земної поверхні та приземного шару атмосфери [3].

Параметри міського острова тепла істотно залежать від локальних особливостей конкретного населеного пункту. При переході від сільської місцевості до міської території горизонтальний температурний градієнт може сягати кількох градусів на кілометр. Водночас температурний режим у межах міста є просторово неоднорідним, оскільки парки, сквери та водойми виступають відносно прохолодними зонами. Різниця температур між містом і прилеглими територіями змінюється протягом доби. Максимальних значень вона досягає через кілька годин після заходу Сонця, а мінімальних — у денний час. Це пояснюється швидким радіаційним охолодженням у сільській місцевості та повільнішим зменшенням теплових запасів у місті. Упродовж ночі температурний контраст поступово зменшується, особливо інтенсивно — після сходу Сонця. Посилення вітру та збільшення хмарності, як правило, сприяють нівелюванню температурних відмінностей між містом і навколишніми територіями. У середньому річна температура повітря в багатьох містах перевищує позаміські значення приблизно на один градус Цельсія, хоча за

хмарної та вітряної погоди цей ефект може майже зникати. Вертикально острів тепла поширюється на висоту від кількох сотень метрів до одного кілометра [7].

Для міських територій також характерне зниження вологості повітря. Парціальний тиск водяної пари може бути меншим на два–два з половиною гектопаскалі, а відносна вологість — на десять–двадцять відсотків порівняно з позаміською зоною. Це зумовлено меншою інтенсивністю випаровування та вищими температурами повітря. Найбільші відмінності спостерігаються у вечірні години та в літній період. У помірних широтах узимку в окремих містах можливе підвищення вологості за рахунок антропогенних джерел вологи. Розподіл атмосферних опадів у межах міста має складний характер. Узимку різниця між кількістю опадів у місті та приміській зоні є незначною. Влітку ж над міською територією загалом випадає більше опадів, однак максимум зазвичай спостерігається не в центральній частині, а на околицях. Це пов'язано з посиленням конвективних процесів у місті, які сприяють формуванню потужної хмарності. Оскільки розвиток купчасто-дощових хмар відбувається поступово, опади часто випадають на підвітряних околицях або навіть за межами міста [6].

Таким чином, поєднання забудови, твердого покриття поверхні, зелених зон і водних об'єктів істотно змінює метеорологічні умови території та зумовлює формування специфічного міського мікроклімату. З огляду на прогнозоване прискорення процесів урбанізації та зростання частки міського населення, яка до дві тисячі тридцятого року може перевищити шістдесят відсотків, дослідження мікроклімату великих міст набуває особливої наукової та практичної актуальності.

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Глобальне потепління як прояв сучасних кліматичних змін

Зміна клімату означає тривалі трансформації температурного режиму та погодних умов на планеті. Такі зміни можуть відбуватися природним шляхом, зокрема внаслідок коливань сонячної активності або масштабних вулканічних вивержень. Проте з початку дев'ятнадцятого століття провідним чинником кліматичних змін стала діяльність людини, передусім пов'язана зі спалюванням викопних видів палива — вугілля, нафти та природного газу. У процесі використання викопного палива в атмосферу надходять парникові гази, які утворюють своєрідний теплоізоляційний шар навколо Землі, затримуючи сонячне тепло та спричиняючи підвищення середньої температури повітря. До основних парникових газів, що найбільше впливають на кліматичні зміни, належать вуглекислий газ і метан. Вони утворюються, зокрема, під час використання пального для автомобільного транспорту або спалювання вугілля з метою опалення будівель. Додаткові обсяги вуглекислого газу вивільнюються внаслідок вирубування лісів і розорювання земель. Значними джерелами метанових викидів є сільське господарство, а також нафтогазовидобувна діяльність. Основними секторами, що формують парникові викиди, залишаються енергетика, промисловість, транспорт, будівництво, аграрна сфера та землекористування [34].

Кліматичні дослідження переконливо доводять, що саме діяльність людини є причиною майже всього глобального потепління, яке спостерігається протягом останніх двохсот років. Антропогенні процеси, зокрема ті, що були описані раніше, спричиняють утворення парникових газів, унаслідок чого темпи потепління на планеті є найвищими щонайменше за останні дві тисячі років. Середня температура поверхні Землі нині приблизно на одну цілу сорок дві сотих градуса Цельсія вища, ніж наприкінці дев'ятнадцятого століття — у період до початку промислової революції, — і перевищує показники будь-якого часу за останні сто тисяч років. Останнє десятиріччя, з дві тисячі п'ятнадцятого по дві тисячі двадцять четвертий роки, стало найтеплішим за весь період

інструментальних спостережень, а кожне з чотирьох останніх десятиліть було теплішим за всі попередні, починаючи з тисяча вісімсот п'ятдесятого року (Рисунок 1)

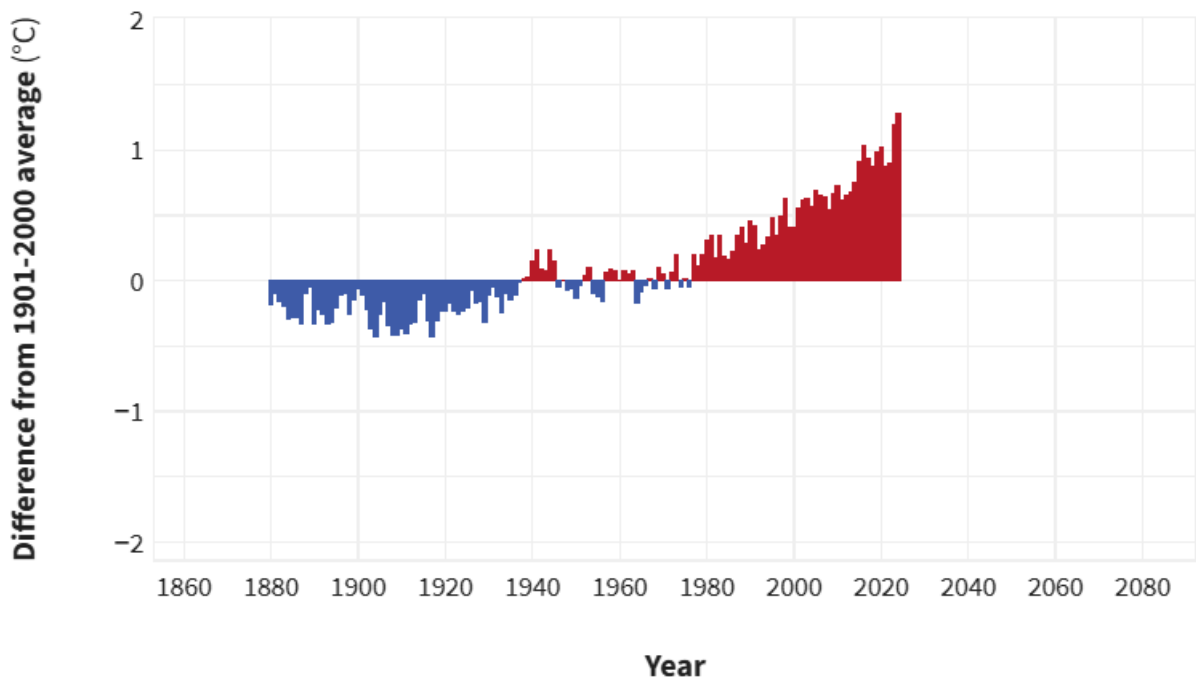


Рисунок 1. Річна температура поверхні з 1880 по 2024 рік порівняно із середнім показником за 20 століття (1901-2000).

Сині стовпчики позначають роки холодніші за середню; червоні стовпчики показують роки тепліші за середню. Графік заснований на даних Національних центрів екологічної інформації. Поширеною є думка, що зміна клімату проявляється переважно у зростанні температури повітря. Проте підвищення температури є лише початковим етапом значно складніших процесів. Оскільки Земля функціонує як взаємопов'язана система, будь-які зміни в одному її компоненті неминуче впливають на інші елементи природного середовища. До основних наслідків кліматичних змін належать посилення посушливих явищ, дефіцит водних ресурсів, масштабні лісові пожежі, підвищення рівня Світового океану, зростання частоти повеней, танення полярних льодів, виникнення руйнівних штормів, а також скорочення біологічного різноманіття [34, 31].

Відповідно до щорічного звіту Національних центрів екологічної інформації, дві тисячі двадцять четвертий рік став найтеплішим за весь період глобальних кліматичних спостережень, що ведуться з тисяча вісімсот

п'ятдесятого року. Середня глобальна температура земної поверхні перевищила середній показник двадцятого століття на дві цілих тридцять дві сотих градуса за Фаренгейтом, що відповідає одній цілій двадцяти дев'яти сотим градуса Цельсія. При цьому середня температура двадцятого століття становила п'ятдесят сім цілих нуль десятих градуса за Фаренгейтом, або тринадцять цілих дев'ять десятих градуса Цельсія. Крім того, зафіксовані температурні значення були на дві цілих шістдесят три сотих градуса за Фаренгейтом, тобто на одну цілу сорок шість сотих градуса Цельсія, вищими за доіндустріальний рівень, який визначає як період з тисяча вісімсот п'ятдесятого по тисяча дев'ятисотий роки. Для цього базового періоду середня температура поверхні Землі становила п'ятдесят шість цілих сім десятих градуса за Фаренгейтом, або тринадцять цілих сім десятих градуса Цельсія (Рисунок 2) [27]

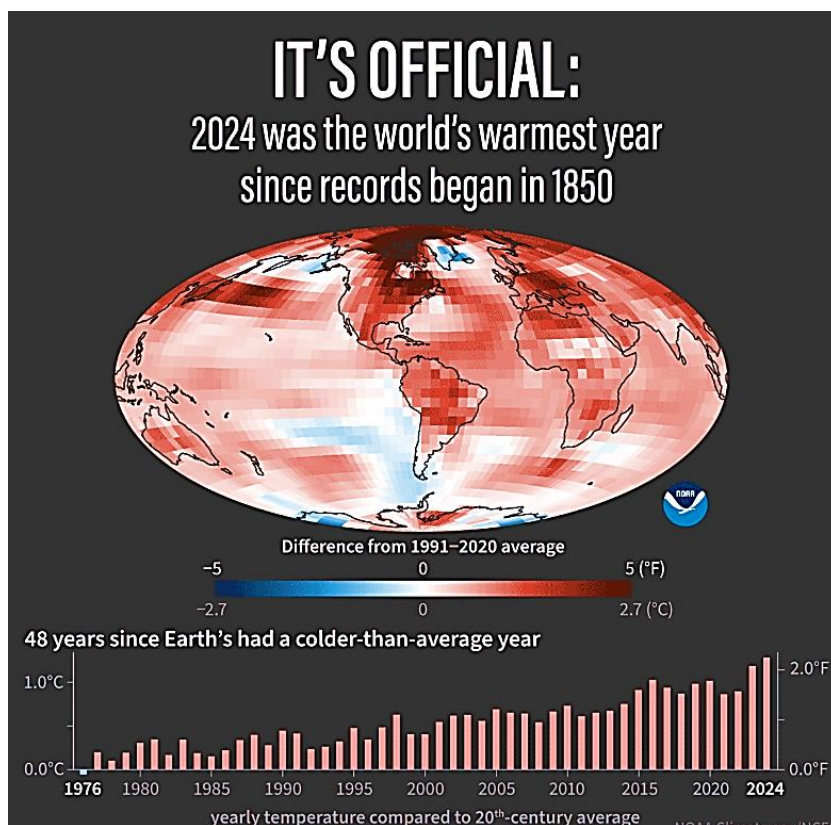


Рисунок 2. Глобальна температурна аномалія 2024 року

Глобальна температурна аномалія у дві тисячі двадцять четвертому році була на нуль цілих вісімнадцять сотих градуса за Фаренгейтом, або на нуль цілих десять сотих градуса Цельсія, вищою порівняно з попереднім рекордним показником, зафіксованим роком раніше — у дві тисячі двадцять третьому році. Десять

найтепліших років за весь період кліматичних спостережень тривалістю сто сімдесят п'ять років припали на останнє десятиріччя — з дві тисячі п'ятнадцятого по дві тисячі двадцять четвертий роки. На початку нового століття, у дві тисячі першому році, першим роком, у якому було встановлено новий температурний рекорд, став дві тисячі п'ятий рік. Наразі дві тисячі п'ятий рік посідає лише тринадцяте місце серед найтепліших років за весь період спостережень. До інших кліматичних рейтингів дві тисячі двадцять четвертого року належать такі показники:

- найвищі зафіксовані температури окремо для Північної та Південної півкуль;
- рекордні температурні значення як для суходолу, так і для океанічних акваторій;
- максимальний за весь період спостережень рівень теплового вмісту верхніх шарів Світового океану.

Середня глобальна температура поверхні Землі є важливим індикатором стану її енергетичного балансу, тобто співвідношення між кількістю сонячної енергії, яку планета поглинає, та обсягом тепла, що випромінюється назад у космічний простір. За умови рівноваги між цими величинами середня температура земної поверхні залишається стабільною. У разі порушення цього балансу відбувається або охолодження, або потепління кліматичної системи. Підвищення середньої температури поверхні Землі зумовлене тим, що парникові гази антропогенного походження спричиняють поглинання планетою більшої кількості енергії, ніж вона здатна віддати у космос. З огляду на надзвичайно великі розміри та високу теплоємність Світового океану, для навіть незначного підвищення середньої температури земної поверхні необхідні колосальні обсяги додаткової теплової енергії. Зростання глобальної середньої температури приблизно на два градуси за Фаренгейтом, або на один градус Цельсія, яке відбулося з доіндустріального періоду, визначеного в кліматичних даних як проміжок часу з тисяча вісімсот п'ятдесятого по тисяча дев'ятисотий роки, може здаватися незначним. Проте воно відображає суттєве збільшення теплової

енергії, що циркулює у всіх складових кліматичної системи Землі, включно з океанами, крижаними ландшафтами та атмосферою [27].

Окрім ролі показника змін енергетичного балансу планети, температура поверхні має важливе практичне значення, оскільки визначає перебіг багатьох природних та екологічних процесів, критично важливих для людини та інших живих організмів. До них належать водний цикл — випаровування, формування хмар, поверхневі запаси води та опади, — вуглецевий цикл, а також умови існування рослин, тварин і мікроорганізмів у різних регіонах Землі. Поняття середньої температури всієї планети на перший погляд може здаватися нелогічним. Адже в один і той самий момент різниця між найвищими та найнижчими температурами на Землі може перевищувати сто градусів за Фаренгейтом, або п'ятдесят п'ять градусів Цельсія. Температурні показники змінюються протягом доби, а також істотно різняться між сезонами у Північній та Південній півкулях. Унаслідок цього одні території залишаються холодними, тоді як інші зазнають інтенсивного нагрівання. За таких умов використання поняття «середня температура» може здаватися умовним. Проте саме цей показник є надзвичайно зручним для виявлення та моніторингу змін у глобальному енергетичному бюджеті Землі, який безпосередньо може бути вимірний лише за допомогою супутникових спостережень. Для розрахунку глобальної середньої температури вчені використовують дані вимірювань, отримані у різних точках земної кулі. Оскільки основною метою є відстеження змін температури з часом, абсолютні значення перетворюють у температурні аномалії, тобто різницю між зафіксованою температурою та багаторічним середнім показником для конкретного місця і дати. Незалежні наукові колективи в різних країнах світу здійснюють власні аналізи температурних даних, однак усі вони демонструють подібну тенденцію до зростання температури. У важкодоступних регіонах, де кількість прямих вимірювань є обмеженою, науковці застосовують методи оцінювання на основі навколишніх температур і відомих фізичних закономірностей, зокрема залежності температури від висоти над рівнем моря. Отримані значення використовуються для розрахунку

глобальної температурної аномалії. Такий підхід забезпечує узгоджений і надійний моніторинг змін температури земної поверхні в довгостроковій перспективі [27, 35].

Зміни температури на планеті відбуваються нерівномірно, однак кількість територій, на яких спостерігається потепління, суттєво перевищує площі з тенденцією до охолодження. Упродовж останніх десятиліть темпи зростання температури істотно прискорилися. Згідно зі Щорічним кліматичним звітом за дві тисячі двадцять четвертий рік, сумарна температура суходолу та океану з тисяча вісімсот п'ятдесятого року підвищувалася в середньому на нуль цілих одинадцять сотих градуса за Фаренгейтом, або на нуль цілих шість сотих градуса Цельсія, за кожне десятиріччя. Починаючи з тисяча дев'ятсот сімдесят п'ятого року, швидкість потепління зросла більш ніж утричі та становила близько нуль цілих тридцять шість сотих градуса за Фаренгейтом, або нуль цілих двадцять сотих градуса Цельсія, за одне десятиріччя. Такі показники свідчать про суттєве посилення інтенсивності сучасних кліматичних змін (Рисунок 3) [27].

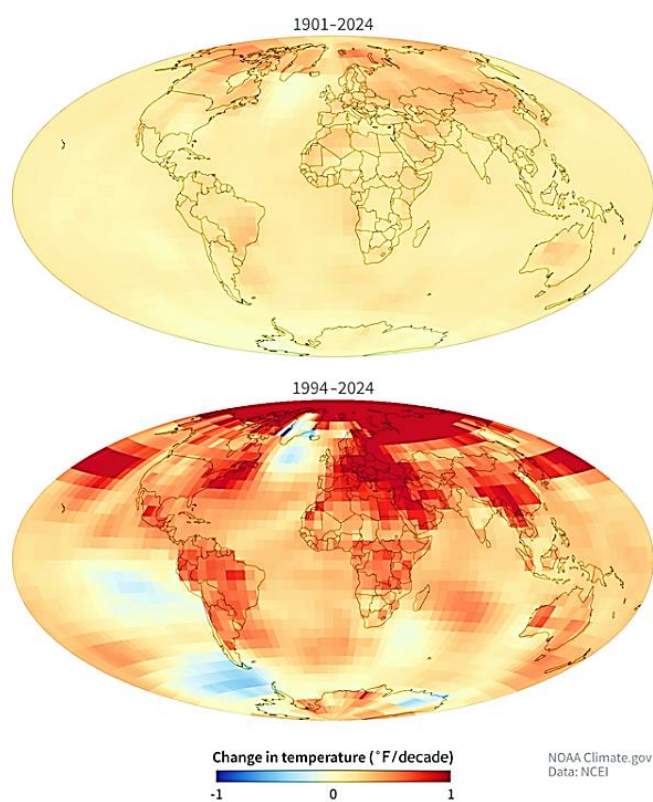


Рисунок 3. Просторовий розподіл темпів зміни температури повітря у світі за різні часові періоди

Сучасні темпи глобального потепління у період з тисяча дев'ятсот дев'яносто четвертого по дві тисячі двадцять четвертий роки є значно вищими порівняно з середніми довгостроковими показниками, характерними для проміжку з тисяча дев'ятсот першого по дві тисячі двадцять четвертий роки. Території, де зафіксовано зниження температури, на карті позначені синім кольором, тоді як регіони з підвищенням температурних показників відображені жовтими, помаранчевими та червоними відтінками (Рисунок 3). Упродовж останніх трьох десятиліть значна частина територій Північної півкулі зазнала потепління на один градус за Фаренгейтом або більше за кожне десятиріччя. Найбільш різкі контрасти спостерігаються в Арктиці, де внаслідок скорочення площ льоду та снігового покриву зменшується відбивна здатність поверхні, що призводить до поглинання більшої кількості сонячної енергії та посилює інтенсивність потепління, спричиненого парниковими газами. Згідно з останнім Узагальнювальним звітом Міжурядової групи експертів зі зміни клімату, серед наукової спільноти відсутні будь-які сумніви щодо причин сучасної тенденції потепління. Антропогенна діяльність, насамперед пов'язана з викидами парникових газів, беззаперечно стала головним чинником глобального потепління, унаслідок чого середня температура поверхні Землі у період з дві тисячі одинадцятого по дві тисячі двадцятий роки перевищила доіндустріальний рівень, визначений як проміжок часу з тисяча вісімсот п'ятдесятого по тисяча дев'ятисотий роки, на одну цілу одну десяту градуса Цельсія [27].

У Шостому оціночному звіті Міжурядової групи експертів зі зміни клімату, присвяченому фізичним основам кліматичних змін, було узагальнено відносний вплив усіх відомих чинників, що визначають середню температуру земної поверхні. Імовірний діапазон загального підвищення температури, спричиненого діяльністю людини у період з тисяча вісімсот п'ятдесятого по тисяча дев'ятисотий роки та з дві тисячі десятого по дві тисячі дев'ятнадцятий роки, становить від нуля цілих восьми десятих до однієї цілої трьох десятих градуса Цельсія, при найвірогіднішій оцінці одна ціла сім сотих градуса Цельсія,

що еквівалентно приблизно двом цілим одній сотій градуса за Фаренгейтом. Упродовж цього періоду добре перемішані парникові гази зумовили підвищення температури в межах від одного до двох градусів Цельсія, тоді як інші антропогенні чинники, передусім аерозолі, спричинили охолоджувальний ефект у межах від нуля до нуля цілих восьми десятих градуса Цельсія. Природні чинники, зокрема сонячна активність і вулканізм, вплинули на зміну глобальної температури в межах від мінус нуля цілих однієї десятої до плюс нуля цілих однієї десятої градуса Цельсія, а внутрішня кліматична мінливість коливалася у діапазоні від мінус нуля цілих двох десятих до плюс нуля цілих двох десятих градуса Цельсія. Майбутній рівень потепління Землі безпосередньо залежить від обсягів викидів вуглекислого газу та інших парникових сполук у наступні десятиліття. На сьогодні людська діяльність — передусім спалювання викопного палива та, меншою мірою, вирубування лісів — щорічно додає до атмосфери близько одинадцяти мільярдів метричних тонн вуглецю, що відповідає понад сорока мільярдам метричних тонн вуглекислого газу. Оскільки природні процеси не здатні поглинути такі обсяги, концентрація вуглекислого газу в атмосфері щороку зростає [27, 36].

## 1.2. Основні поняття про мікроклімат

Термін «мікроклімат» часто вживають некоректно, застосовуючи його до цілих міст або прибережних зон. Насправді ж це поняття має значно вужчі межі (Рисунок 4).

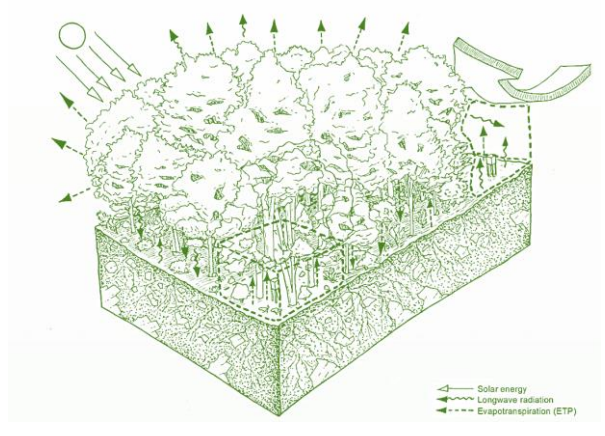


Рисунок 4. Мікроклімат

Фахівці поділяють клімат на чотири основні рівні, де мікроклімат є найменшою та найточнішою одиницею вимірювання:

1. Просторовий вимір: Згідно з працями піонера кліматології Рудольфа Гейгера, мікроклімат охоплює лише нижній шар атмосфери — від 0 до 2 метрів над землею. Це саме те середовище, у якому живемо ми та більшість наземних тварин.

2. Горизонтальний вимір: Він зазвичай обмежується відстанями від кількох десятків до кількох сотень метрів. Якщо територія перевищує один кілометр, йдеться вже про локальний клімат.

Мікроклімат вулиці може кардинально відрізнитися від мікроклімату площі, розташованої поруч, через різну експозицію до сонця та ширину простору. Ось основні чинники, що створюють ці відмінності:

✓ Перешкоди та тінь: Будівлі, стіни та дахи створюють власні зони. Наприклад, умови біля південного фасаду будинку ніколи не будуть ідентичними умовам біля північного.

✓ Рослинність: Всередині густого лісу мікроклімат суттєво відрізняється від умов на узліссі завдяки затіненню та випаровуванню вологи деревами.

✓ Рельєф: У горах сонячне світло визначає кількість енергії, яку отримує кожен схил, що впливає на рух повітря (бризи).

Мікроклімат — явище динамічне. Він дуже залежить від інтенсивності сонячного випромінювання. Деякі мікроклімати існують лише кілька годин на добу, поки певна зона освітлена сонцем:

✓ У сонячну погоду різниця між двома ділянками (наприклад, сонячною стороною та тінню) є максимальною.

✓ У хмарну погоду ці відмінності нівелюються, оскільки енергія розподіляється рівномірно [32].

Мікроклімат — це кліматичні умови на невеликій ділянці (сад, долина або міська вулиця), які суттєво відрізняються від загального фону навколишньої місцевості. У той час як регіональний клімат охоплює величезні території,

мікроклімат може обмежуватися лише кількома метрами. Яскравий приклад — міський парк. Завдяки затіненню від дерев та випаровуванню вологи травою, у парку завжди прохолодніше, ніж на сусідній заасфальтованій вулиці. Мікроклімат виникає, коли певні особливості ландшафту змінюють погодні умови на локальному рівні:

✓ Топографія (рельєф): Висота та нахил поверхні мають вирішальне значення. Будинки на південних схилах отримують більше сонця і тепла, ніж ті, що розташовані на північних.

✓ Рослинність та ґрунт: Густі зелені зони утримують вологу та прохолоду. Тип ґрунту також впливає на те, як швидко земля накопичує та віддає тепло.

✓ Водойми: Райони поблизу річок та озер мають вищу вологість. Оскільки вода нагрівається і холодне повільніше за сушу, влітку біля неї прохолодніше, а взимку — тепліше.

✓ Діяльність людини: Міста створюють «острови тепла». Будинки та дороги поглинають сонячну енергію, що робить міське середовище значно жаркішим за сільське [33].

Типові приклади мікрокліматів:

#### 1. Міські умови (Урбаністичні мікроклімати)

▪ Через щільну забудову та людську активність міста мають дуже різноманітні кліматичні зони. Наприклад, у Сан-Франциско налічують понад 26 мікрокліматів. Через складний рельєф та близькість океану різниця температур між сусідніми кварталами може сягати 14°C (25°F), що безпосередньо впливає на витрати мешканців на опалення чи охолодження осель.

#### 2. Прибережні зони

▪ Навіть на невеликій відстані умови можуть бути діаметрально протилежними. На Великому острові Гаваї у місті Гіло випадає до 3300 мм опадів на рік, тоді як у Кайлуа-Кона — лише 500–750 мм, хоча між ними всього 100 км.

#### 3. Гірські масиви

- Гори працюють як бар'єри для повітряних мас. На навітряному схилі (куди дме вітер) повітря підіймається, охолоджується і випадає дощем. На підвітряному схилі повітря опускається, нагрівається і стає сухим. Це створює контраст між буйною зеленню та посушливими зонами.

#### 4. Лісові масиви

- Ліси часто провокують інтенсивніші опади, ніж прилеглі території. Наприклад, в Олімпійському національному парку (штат Вашингтон) завдяки помірним тропічним лісам дощів випадає значно більше, ніж у сусідніх районах [33].

### 1.3. Вплив мікрокліматичних чинників антропогенно зміненого середовища на людину

Дослідник Ревич наводить дані Всесвітньої організації охорони здоров'я, які свідчать про те, що глобальне потепління клімату вже спричинило у світі близько ста п'ятдесяти тисяч випадків передчасної загибелі людей та втрату приблизно п'яти мільйонів п'ятисот тисяч років життя, скоригованих з урахуванням непрацездатності. Аномально високі температури повітря в столицях низки європейських держав улітку дві тисячі третього року призвели орієнтовно до двадцяти трьох тисяч додаткових летальних випадків. Було встановлено тісний взаємозв'язок між максимальною температурою повітря, рівнем його вологості та показниками смертності. Оцінка додаткової смертності для різних країн Європи внаслідок теплової хвилі у серпні дві тисячі третього року подана в таблиці один крапка один [25].

Уряди європейських держав здійснюють невідкладні заходи, спрямовані на поліпшення ситуації. Так, Міністерством охорони здоров'я Франції було розроблено спеціальний план дій щодо оцінювання та профілактики негативного впливу екстремальних погодних явищ на здоров'я населення. Проблематиці вивчення кліматичних умов з метою визначення їх впливу на формування сприятливого середовища для життєдіяльності людини приділяли значну увагу ще вчені давнини. Понад тисячу років тому видатний мислитель Ібн Сіна у праці

«Канон лікарської науки» наголошував на необхідності врахування місцевих кліматичних і природних особливостей під час вибору місця для забудови міст і житла. Розглядаючи клімат житлового середовища, він вважав обов'язковим урахування умов інсоляції та провітрювання приміщень і рекомендував орієнтувати вікна та двері на схід і північ, забезпечуючи проникнення східних вітрів у будинок і рівномірне надходження сонячного світла, оскільки саме воно сприяє оздоровленню повітря [11].

Вчення Ібн Сіні щодо гігієни житла справило істотний вплив на формування типів забудови міст Сходу. Багатовікова архітектурна й містобудівна практика Середньої Азії демонструє приклади гармонійного поєднання теоретичних положень Ібн Сіні з реальними умовами. Зокрема, у традиційному житлі Узбекистану раціонально враховувалися природно-кліматичні чинники, внаслідок чого сформувалися різні типи житла залежно від локальних особливостей мікроклімату. Проєктування та будівництво в умовах жаркого клімату зазвичай ґрунтується на розмежуванні двох його різновидів — сухого та вологого. Для спекотного сухого клімату характерні високі температури повітря та значні добові амплітуди температур. У періоди пилових бур і суховіїв зростає частка розсіяної сонячної радіації. Відносна вологість повітря залишається низькою, а кількість опадів є незначною і становить близько двохсот п'ятдесяти міліметрів на рік. До цього кліматичного типу належать внутрішньоконтинентальні райони Африки на північ від екватора, Близький Схід та Австралія, які вирізняються відносно бідним рослинним покривом [24].

Для спекотного вологого клімату притаманна підвищена відносна вологість повітря, що може досягати ста відсотків, значна кількість опадів — понад п'ятсот міліметрів на рік, а також знижений атмосферний тиск. Середня температура повітря становить близько тридцяти градусів Цельсія, а добові коливання температури є незначними — в межах п'яти–восьми градусів Цельсія. Хмарність зумовлює переважання розсіяної сонячної радіації. Такий клімат характерний для екваторіального поясу, території якого відзначаються багатою та різноманітною рослинністю. Загалом зони жаркого клімату займають близько

чверті суходолу земної кулі. Це переважно густозаселені внутрішньотропічні регіони, здебільшого розташовані поблизу водних басейнів. Щільність населення тут значно вища, ніж у районах з жарким сухим кліматом. Відмінності між умовами сухого та вологого жаркого клімату потребують їх обов'язкового врахування у проєктуванні та будівництві. Так, у вологих тропіках уникають щільної та замкнутої забудови, оскільки вона перешкоджає повітрообміну та сприяє підвищенню температури порівняно з навколишнім середовищем. Натомість у сухих тропіках компактна, замкнена забудова з тісно згрупованих будівель забезпечує взаємне затінення та поліпшує мікрокліматичні умови. Відповідно, у першому випадку доцільним є вільне розміщення будинків, тоді як у другому — раціональною є замкнена композиція забудови на ділянці [20].

З розвитком суспільства удосконалюються й підходи до житлового будівництва. Використання особливостей рельєфу та мікроклімату місцевості поступово змінюється в процесі трансформації природного ландшафту у штучно сформоване міське середовище із застосуванням неприродних методів озеленення, що зумовлює формування специфічного міського мікроклімату територій забудови. Для поліпшення кліматичних умов міського середовища в літній період широко застосовуються заходи з озеленення та обводнення територій. Отже, забезпечення комфортних умов проживання населення потребує врахування як особливостей метеорологічного режиму території, так і характеристик локального мікроклімату, що сприятиме поліпшенню умов життя та психоемоційного стану людини. Вплив мікроклімату на господарську діяльність людини насамперед проявляється через його дію на продуктивність сільськогосподарських культур. Слід зазначити, що оцінки теплового режиму, зволоження та перезимівлі рослин є найбільш актуальними для відкритих рівнинних територій. Це зумовлено тим, що значення агрокліматичних показників визначаються на основі спостережень, проведених на метеорологічних станціях, розташованих на відкритих рівних ділянках. Водночас через неоднорідність підстилаючої поверхні — зумовлену особливостями рельєфу, наявністю великих водойм, лісових масивів тощо — у

межах однієї кліматичної зони можна виокремити значну кількість мікрокліматичних зон, які істотно відрізняються за радіаційним, тепловим і водним балансами та їх складовими. Це, своєю чергою, визначає відмінності кліматичного потенціалу й умов росту та розвитку сільськогосподарських культур [16].

## РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Характеристика об'єкта дослідження та типів міської забудови

Львів — місто, розташоване у західній частині України (Рисунок 5), яке є адміністративним центром Львівської області та одним із провідних національно-культурних і освітньо-наукових осередків держави. За чисельністю населення станом на перше січня дві тисячі чотирнадцятого року Львів посідав сьоме місце серед міст України: у межах міста проживало понад сімсот двадцять дев'ять тисяч осіб, тоді як чисельність населення Львівської агломерації, сформованої навколо міста, перевищувала один мільйон п'ятсот тисяч осіб. Місто розміщене в зоні контакту Львівського плато, хвилястого Розточчя та Надбужанської котловини. Середня абсолютна висота території Львова становить двісті вісімдесят дев'ять метрів над рівнем моря, а найвища точка — гора Високий Замок — досягає чотирьохсот тринадцяти метрів. Через місто проходить пасмо пагорбів Головного європейського вододілу, який розділяє річкові басейни Балтійського та Чорного морів, зокрема річки Західний Буг і Дністер. Львів розташований у долині річки Полтви — притоки Західного Бугу, яка на сьогодні переважно взята в підземний міський колектор. Окрім Полтви, на території міста налічується дев'яносто вісім малих водних об'єктів, серед яких три невеликі річки — Марунька, Зубра та Стара. Навіть ці маловодні водотоки характеризуються нерівномірним просторовим розміщенням у межах міської території [17].

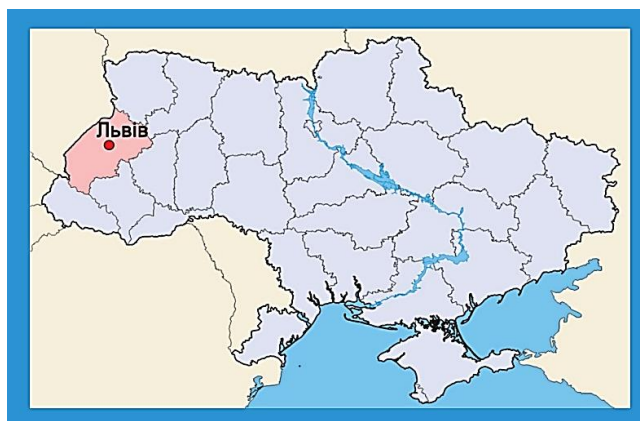


Рисунок 5. Розташування Львова на карті України

Місто Львів розташоване у центральній частині Львівської області. Унаслідок адміністративно-територіальної реформи, що тривала з дві тисячі п'ятнадцятого по дві тисячі двадцять другий роки, Львів набув статусу адміністративного центру Львівського району. У межах області він межує з Яворівським, Жовківським та Пустомитівським районами. Внутрішньо місто поділяється на шість адміністративних районів: Галицький, Залізничний, Личаківський, Сихівський, Франківський і Шевченківський. До складу Львівської міської територіальної громади входять також населені пункти Брюховичі, Винники та Рудне, які зберігають певну адміністративну самостійність, проте підпорядковуються Львівській міській раді. Львів розташований у східноєвропейському часовому поясі на двадцять четвертому меридіані, при цьому місцевий час відстає від поясного на двадцять чотири хвилини. Місто знаходиться на стику кількох фізико-географічних одиниць — Львівського плато, хвилястого Розточчя та Надбужанської низовини. Ця територія відома під назвою Львівське Опілля. Через Львів проходить пасмо пагорбів Головного європейського вододілу, який розмежує басейни річок Балтійського та Чорного морів. Річка Полтва протікає підземним колектором у центральній частині міста та впадає в Західний Буг, що належить до басейну Балтійського моря. На південній околиці Львова протікає річка Зубра, яка бере початок у Сихівському районі міста та є притокою Дністра, що належить до басейну Чорного моря [15].

У геологічному відношенні територія міста характеризується різноманіттям відкладів, зокрема маастрихтськими мергелями, міоценовими пісками й вапняками. Ґрунтовий покрив Львова включає чорноземи, елювіальні та торфово-болотні ґрунти. Хоча чорноземи трапляються локально, загалом родючість ґрунтів у сільськогосподарському аспекті оцінюється як середня або нижча за середню. Водночас у межах міста аграрне використання земель є суттєво обмеженим. Львів має багату історію, а його культурно-історичний образ приваблює значну кількість туристів, зокрема з Польщі та інших країн. Однак

історичний розвиток міста має другорядне значення для тематики даного дослідження порівняно з особливостями ландшафту, клімату та природного середовища. Місто оточене численними зеленими зонами й парками, які є важливою складовою його природного каркасу. У Львові налічується понад два десятки парків, серед яких найбільш відомими є парк «Високий замок», Стрийський парк, парк імені Івана Франка, Шевченківський гай, парк культури і відпочинку імені Богдана Хмельницького, Снопківський парк, Ботанічний сад Львівського національного університету, а також парки «Залізна вода», «Погулянка» та «Знесіння». Регіональний ландшафтний парк «Знесіння» є унікальним природоохоронним об'єктом, який вирізняється значною площею — триста дванадцять гектарів — і наявністю екосистем, наближених до природних, у межах великого міста. До нього прилягає охоронна зона площею чотириста сімдесят чотири гектари. На території парку розташований Музей народної архітектури і побуту, а також виявлені сліди найдавніших поселень неолітичного періоду та пізніших історичних епох [15].

Починаючи з тисяча дев'ятсот дев'яностих років, коли у Львові спостерігався економічний спад, відбулося певне покращення екологічної ситуації. Це пов'язують насамперед із закриттям значної кількості великих промислових підприємств, що призвело до зменшення промислових викидів, хоча металургійні та хімічні виробництва тут ніколи не мали домінуючого значення. Водночас природні умови міста сприяють накопиченню забруднювальних речовин у повітрі, особливо в центральній частині Львова. Зниження рельєфу обмежує повітрообмін і сприяє підвищеній концентрації вуглекислого газу, оксидів азоту та сірки. Додатковим джерелом забруднення є інтенсивний автомобільний рух через історичний центр міста. За безвітряної погоди можливе формування смогу. Загалом викиди від автотранспорту становлять понад п'ятдесят відсотків загального обсягу забруднень у місті, ще близько тридцяти відсотків припадає на теплоенергетичний сектор. За даними моніторингу Державного управління охорони навколишнього природного середовища, у Львові виділяються два підприємства, які займають провідні

позиції серед основних забруднювачів Львівської області, — відкрите акціонерне товариство «Львівський дослідний нафтомаслозавод» та львівське комунальне підприємство «Львівводоканал». У порівнянні з іншими великими містами України Львів характеризується відносно сприятливим екологічним станом, незважаючи на те, що в межах області він є одним із головних джерел забруднення атмосферного повітря та водних ресурсів, а також продукує значні обсяги твердих побутових відходів. Проблема поводження з відходами, поряд із транспортною та енергетичною, належить до ключових екологічних проблем міста [15, 1].

Рельєф Львова є складним і різноманітним. Попри те, що майже в центральній частині міста розташоване підвищення Високого замку, сам історичний центр знаходиться в улоговині, що істотно впливає на циркуляцію повітряних мас і формування місцевого мікроклімату. Значно круті схили спостерігаються при спуску до центру вздовж вулиць Шевченка та Городоцької, а також уздовж вулиць Стрийської та Івана Франка. У північному й східному напрямках рельєф поступово вирівнюється, а підйом вулицею Личаківською у напрямку Майорівки відбувається по менш крутих схилах. Клімат Львова належить до помірно континентального типу та характеризується м'якою зимою і теплим, переважно не спекотним літом. Середня відносна вологість повітря становить сімдесят дев'ять відсотків, опади випадають доволі часто. Переважають західні вітри, які приносять вологі повітряні маси. Серед усіх обласних центрів України Львів вирізняється найбільшою кількістю опадів і найнижчими середніми температурами влітку. Образ львівського дощу широко представлений у культурному просторі міста. Середня висота снігового покриву становить сім цілих і вісім десятих сантиметра, причому він часто є нестійким. Весна у Львові прохолодна й волога, із можливими заморозками до початку травня. У літній період характерними є грозові зливи. Осінь зазвичай помірно тепла та суха; традиційно на початку осіннього сезону в місті проводилися ярмарки та масові заходи. Тривалість вегетаційного періоду становить двісті п'ятнадцять днів. Мікроклімат центральної частини міста, зумовлений

розташуванням в улоговині та ефектом «острова тепла», характеризується нижчими мінімальними та вищими максимальними температурами, а також зниженою вологістю повітря [15].

## 2.2. Методи дослідження мікроклімату

Вимірювання мікроклімату значною мірою спираються на датчики *in situ*, які збирають дані про локальні умови температури, вологості, сонячної радіації, хмарності, вітру та випаровування. Сучасні датчики *in situ* стали важливим інструментом у багатьох екологічних дослідженнях завдяки покращенню електроніки, батарей, зниженню вартості та мініатюризації сенсорів і їх апаратного забезпечення. Крім того, розвиток бездротових технологій, включно з «Інтернетом речей», а також передача даних через мобільні мережі або супутники дозволяє створювати розподілені мережі таких пристроїв у різних ландшафтах. Стратегічне планування досліджень закладає основу для репрезентативних мереж мікрокліматичних вимірювань, а нові методи обробки даних допомагають максимально ефективно використовувати розріджені дані, зокрема через аналіз циклічних патернів мікроклімату та часову деталізацію. Мережі сенсорів, встановлених на тваринах, також можуть надавати дані про мікроклімат із землі та повітря, а камери для спостереження за дикою природою можуть давати додаткову метеорологічну інформацію, наприклад про сонячне випромінювання, сніг та град [30].

Водночас точність недорогих реєстраторів може бути невисокою, а зменшення розмірів і вартості впливає на точність вимірювань. Тому часто рекомендується калібрувати датчики за лабораторними стандартами, перевіряти їх на еталонних пристроях і проводити взаємну калібровку між сенсорами. Для температурних вимірювань стандартні протоколи метеостанцій із затіненням та вентиляцією термометрів часто не застосовні, оскільки локальні температурні коливання переважно визначаються низькою швидкістю вітру та змінами сонячного випромінювання. Тому для специфічних завдань, особливо при прямому сонячному освітленні, рекомендуються ультратонкі термопари. Дані

про гідрологічний мікроклімат також важко калібрувати й перевіряти, зокрема вимірювання вологості повітря та ґрунту. Наприклад, вимірювання вологості ґрунту залежить від його гетерогенності та кам'янистості, що впливає на контакт сенсора з ґрунтом. Використання дистанційного зондування дозволяє отримувати дані мікроклімату від рівня листка до масштабів ландшафту з просторово-часовою репрезентативністю, наприклад локальної температури. У складних структурах, таких як ліси, гори або міста, вимірювання з невеликої кількості сенсорів протягом короткого часу не відображають повного спектру мікрокліматичних умов. Цю проблему можна частково вирішити, поєднуючи наземні дані з дистанційними спостереженнями, що враховують ключові чинники мікроклімату, як-от рослинність, рельєф та сезонний сніговий покрив. Дані з супутників, літаків або безпілотників із тепловізорами або LiDAR-сенсорами дозволяють отримувати безперервні просторові дані про рослинність та рельєф. Використання цих даних у поєднанні з моделями переносу радіації через рослинний покрив відкриває нові перспективи для досліджень мікроклімату [30, 2].

Мікрокліматичні моделі зазвичай базуються на механістичному розумінні фізичних процесів, що визначають енергетичний баланс. Основні сучасні розробки спрямовані не стільки на саму модель мікроклімату, скільки на спрощення доступу до складних моделей для широкого кола користувачів. Наприклад, створюються моделі на середовищі програмування R, що спрощує їх використання екологами. Крім того, кліматичні моделі включають багат шарове представлення крон рослин, що дозволяє оцінювати мікроклімат на окремих ділянках. Мікроклімат значно варіює навіть у короткі часові проміжки, тому моделі запускають із субденними інтервалами. Механістичне моделювання великих територій залишається обчислювально складним, а також обмеженим через відсутність повного набору даних. Тому екологи часто використовують статистичні або машинного навчання підходи для встановлення взаємозв'язків між мікрокліматом і його факторами, наприклад рельєфом або рослинністю. Перевага таких методів у тому, що високочасова деталізація біокліматичних змін

не завжди необхідна, що зменшує обчислювальні витрати. Недоліком є те, що вплив предикторів змінюється просторово та часово, і отримані на одній ділянці залежності не завжди можна переносити на інші [30].

Інфраструктура для обробки моделей і зберігання даних розвивається, зокрема завдяки хмарним обчисленням, що відкриває можливості для колаборативного моделювання. Впровадження сучасних програмних мов і обчислювальної інфраструктури дозволяє отримувати дані мікроклімату з дедалі більшою просторово-часовою деталізацією та на більших територіях, наближаючись до масштабів, на яких функціонують організми. Водночас висока просторово-часова роздільність не завжди необхідна. Деякі організми або екосистемні процеси функціонують на масштабах, де більш доречними є макрокліматичні дані. Наприклад, багаторічні дані про температуру повітря показали кращу прогнозу здатність для моделювання розподілу певних ґрунтових бактерій, ніж короткострокові мікрокліматичні вимірювання. Це підкреслює, що використання мікрокліматичних даних і методів повинно бути завжди гіпотезо-орієнтованим і обґрунтованим екологічною та біогеографічною теорією. У багатьох випадках достатньо макрокліматичних даних або їх можна апроксимувати за допомогою дрібномасштабних топографічних показників [30, 18].

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

### 3.1. Фактори, що впливають на мікрокліматичні умови в міському середовищі

Сучасні міста характеризуються зростанням щільності та висотності забудови, що створює нові передумови для соціально-економічного розвитку. Львів як один із найбільших культурних, освітніх і туристичних центрів заходу України впродовж останніх десятиліть зазнає активних урбанізаційних змін, що супроводжуються ущільненням забудови, розширенням транспортної інфраструктури та зростанням антропогенного навантаження на міське середовище. Унаслідок цього формується складна урбаністична система, яка істотно впливає на мікрокліматичні умови міста. Дослідження мікроклімату Львова є особливо актуальним з огляду на його фізико-географічне положення та специфіку рельєфу. Місто розташоване в межах Подільської височини та Львівського плато, характеризується значною розчленованістю рельєфу, наявністю улоговин і підвищень, що в поєднанні зі щільною забудовою формує неоднорідні мікрокліматичні зони. Сучасні наукові дослідження підтверджують тісний взаємозв'язок між температурним режимом, особливостями міської забудови та просторовою організацією території, що є характерним і для урбанізованого простору Львова [28].

У межах міста особливу увагу привертає вплив щільності та висотності будівель на розподіл повітряних потоків і температури повітря. Забудова центральної частини Львова, представлена історичними кварталами з вузькими вулицями та щільним розміщенням будівель, сприяє зменшенню швидкості вітру, обмеженню інсоляції та накопиченню тепла. Натомість у периферійних районах із меншою щільністю забудови мікрокліматичні умови є більш сприятливими, що зумовлює формування локальних температурних контрастів та ефекту міського теплового острова. Трансформація природного рельєфу в процесі розвитку Львова призводить до підвищення шорсткості підстильної поверхні, збільшення кількості вертикальних елементів та формування замкнених просторових структур. У поєднанні з особливостями циркуляції

повітряних мас це сприяє виникненню теплових і сухих островів, а також зміні режиму атмосферних опадів у межах міста. З огляду на це зростає значення комплексних досліджень факторів, що формують мікроклімат урбанізованих територій Львова. Важливу роль у пом'якшенні негативних мікрокліматичних ефектів у Львові відіграють зелені насадження, міські парки та водні об'єкти. Зелені зони забезпечують затінення, знижують інтенсивність конвективного теплообміну та сприяють зменшенню температури повітря за рахунок процесів випаровування вологи. З урахуванням особливостей рельєфу міста перспективним є використання ґрунтового покриву як холодного теплового резервуара, що дає змогу зменшувати перегрів повітря та покращувати вентиляцію в підвітряних зонах міської забудови. Міські теплові острови та хвилі спеки є суттєвим викликом для Львова, оскільки вони негативно впливають на тепловий комфорт населення, стан здоров'я мешканців та енергоефективність будівель. Зростання потреби в охолодженні приміщень у літній період призводить до підвищення енергоспоживання та додаткового навантаження на міську інфраструктуру. У цьому контексті дослідження мікрокліматичних умов Львова та впровадження кліматоорієнтованих підходів до міського планування є необхідною передумовою сталого розвитку міста [28].

В умовах урбанізованого середовища клімат зазнає істотних змін під впливом просторової структури міста та теплофізичних властивостей підстильної поверхні. Теплові умови в межах міста є неоднорідними, тому аналіз просторової диференціації внутрішньоміського мікроклімату має надзвичайно важливе значення для виявлення найбільш критичних умов, що впливають на комфорт і здоров'я населення, а також для об'єктивної оцінки енергетичних потреб будівель. Модель, подана на Рисунок 6, ілюструє інтегрований багаторівневий та системний підхід до дослідження процесів формування міського мікроклімату. Оптимізація мікроклімату урбанізованих територій може здійснюватися на різних рівнях, оскільки на нього впливають численні чинники, що проявляються на мезорівні, рівні району, мікрорайону та окремої будівлі. Запропонована багатомасштабна система моделювання міського клімату

поєднує мезомасштабні, локальні, мікромасштабні моделі та моделі енергоспоживання будівель, що дає змогу враховувати вплив місцевих кліматичних умов на теплову поведінку забудови [28, 5].



Рисунок 6. інтегрований багаторівневий та системний підхід до дослідження процесів формування міського мікроклімату

Зазначена модель підкреслює необхідність тіснішого взаємозв'язку між будівлями та мікрокліматом міського середовища, дозволяє кількісно оцінити ефективність заходів зі зменшення інтенсивності міського острова тепла, визначити вплив локального клімату на енергетичні потреби будівель, а також оцінити зворотний вплив систем кондиціонування повітря, що генерують тепло, на кліматичні умови прилеглих територій. Таким чином, при виборі конструктивних рішень і будівельних матеріалів доцільно обов'язково враховувати ефект міського острова тепла. До основних мезомасштабних кліматоутворювальних чинників регіону належать сонячна радіація (світлова, теплова та ультрафіолетова складові), атмосферна циркуляція (швидкість і напрям вітру, наявність атмосферних фронтів), а також ландшафтні особливості території, які визначають розподіл сонячного випромінювання, теплові умови приземного шару повітря, вітровий режим і вологість повітря [28, 9] (Рисунок 7).

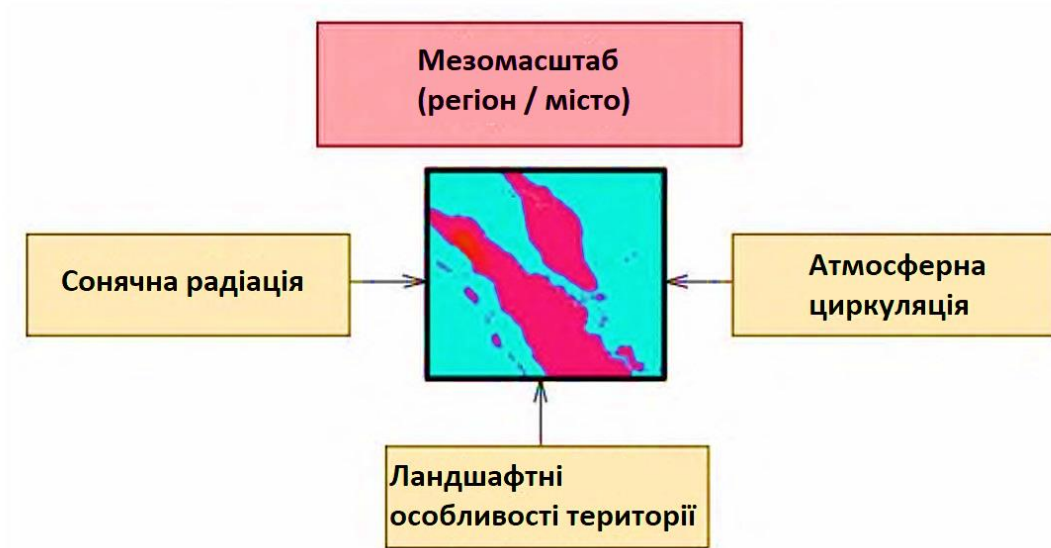


Рисунок 7. Основні кліматоутворюючі чинники регіону

Локальні кліматоутворювальні чинники міста, наведені на Рисунок 8, включають прямі теплові викиди та зміну режиму сонячної радіації, пилогазові викиди від промислових підприємств і транспорту, трансформацію теплового балансу внаслідок зменшення випаровування, а також зростання шорсткості поверхні, зумовлене щільною міською забудовою.



Рисунок 8. Локальні кліматоутворювальні чинники міста

Фактори формування мікроклімату на рівні кварталу або вулиці, представлені на Рисунок 9, охоплюють параметри міської забудови (щільність, поверховість), теплоємність і відбивну здатність елементів міського середовища

(стіни будівель, покрівлі, автомобільні дороги, тротуари), просторовий розподіл зелених насаджень, а також наявність природних і штучних водойм.

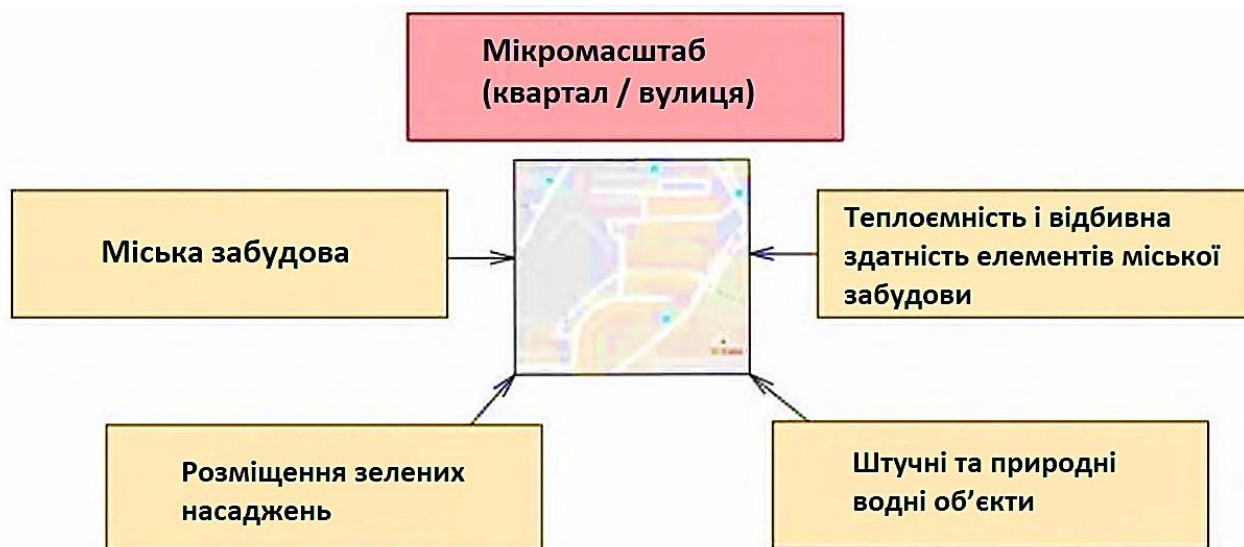


Рисунок 9. Фактори формування мікроклімату на рівні кварталу або вулиці

Незважаючи на значний прогрес у дослідженнях міського мікроклімату, їх практичне впровадження залишається обмеженим. З одного боку, відсутня універсальна методика комплексного аналізу всіх чинників, що формують мікроклімат міста. З іншого — практичне застосування результатів ускладнюється недостатньою визначеністю цільових показників, які могли б бути безпосередньо використані органами міського управління. Водночас такі мікрокліматичні параметри, як швидкість вітру, відносна вологість повітря, альbedo, рівень сонячної інсоляції, ефекти міських і вуличних каньйонів та їх взаємний вплив, наразі залишаються недостатньо вивченими. Дослідження також свідчать про наявність суттєвих напрацювань у методологіях оцінювання міського мікроклімату, однак їх використання для вдосконалення практик міського планування є обмеженим. Міські острови тепла становлять серйозну загрозу для громадського здоров'я. Одним із потенційних шляхів зменшення їхнього негативного впливу є використання водних об'єктів у структурі міського середовища. Водночас тепловий ефект стаціонарних водних просторів на міський мікроклімат досліджений недостатньо. Аналіз наукових джерел вказує на наявність істотного дефіциту знань щодо фізичного механізму впливу водойм на формування мікрокліматичних умов у містах [28].

Проблему перегріву міських територій пропонується вирішувати, зокрема, шляхом упровадження концепції «будівлі з нульовим тепловим впливом» або «будівлі з нейтральним мікрокліматом». Такий підхід ґрунтується на підвищенні енергоефективності, скороченні викидів вуглецю та поліпшенні якості внутрішнього мікроклімату приміщень. Міський мікроклімат формується також під впливом аеродинамічних потоків, перерозподіл яких залежить, зокрема, від щільності забудови. Повітропроникність міста означає процес повітрообміну між потоками над і всередині міського покривного шару, а також потоками в його межах. Зі збільшенням щільності забудови інтенсивність повітрообміну зменшується, що обмежує здатність міста «дихати». Зелені насадження відіграють надзвичайно важливу роль у регулюванні температурного режиму теплових островів у щільно забудованих районах. Отримані результати свідчать, що здатність дерев знижувати температуру навколишнього середовища та регулювати енергетичні потреби будівель на охолодження переважно пов'язана із затіненням від сонячної радіації та відповідним зменшенням теплового навантаження на відкриті фасади. Скорочення потреби в енергії для охолодження будівель безпосередньо залежить від густоти крони дерев і схеми їх висаджування. Найвищий рівень енергозбереження — до 54 % — досягався за умов формування суцільного затінювального покриву та щільності листової поверхні  $2,5 \text{ м}^2/\text{м}^3$ . Водночас охолоджувальний ефект вуличних дерев був незначним у разі, якщо вони не досягали висоти, достатньої для затінення більшої частини фасаду будівлі [28, 13].

Зелену інфраструктуру необхідно формувати виважено, з урахуванням місцевих водних ресурсів і потенційного дефіциту води. Кількість зелених зон у місті має ключове значення для контролю температури та інших наслідків зміни клімату. Збільшення площі міських лісів часто розглядається як ефективна стратегія зменшення впливу теплових хвиль, оскільки дерева охолоджують міський простір завдяки процесам евапотранспірації та створенню тіні. Водночас зелені насадження змінюють напрямки та інтенсивність повітряних потоків, що може обмежувати розсіювання тепла. Існуючі дослідження демонструють різну

охолоджувальну здатність міських дерев залежно від кліматичних умов та часу доби. Усі зазначені чинники, що впливають на міський мікроклімат, необхідно враховувати під час реалізації принципів проєктування та зонування для досягнення бажаних результатів. Низка сучасних досліджень спрямована на аналіз впливу чинних містобудівних норм на мікроклімат щільно забудованих територій. Дослідження показують, що заходи з термічної адаптації можуть бути інтегровані як на етапі проєктування, так і в системи управління. Використання науково обґрунтованих підходів дозволяє оптимізувати просторове планування, зокрема форму будівель, геометрію вулиць і стандарти ландшафтного дизайну, з метою зменшення перегріву міського середовища. Раціональна фізична форма міських вулиць сприяє підвищенню стійкості міст, зокрема шляхом поліпшення міського мікроклімату. Безпека та комфорт міського середовища досягаються завдяки зниженню споживання енергії та пов'язаних із цим викидів парникових газів, розвитку соціального капіталу, покращенню здоров'я й добробуту населення, а також забезпеченню швидкого та ефективного реагування на надзвичайні ситуації після природних катастроф [28].

Будівлі в містах споживають до 70 % усієї первинної енергії. Для мінімізації енергетичних втрат необхідно скорочувати енергоспоживання та пов'язані з ним викиди парникових газів шляхом енергозбереження та підвищення енергоефективності будівель. Сучасні обчислювальні інструменти дають змогу моделювати проєктування й експлуатацію міських будівель у масштабах кварталу, району або всього міста з урахуванням їхньої взаємодії між собою та з навколишнім середовищем. Енергетичне моделювання міських будівель є потужним інструментом для планування, модернізації та інтеграції будівель і міських мереж на основі даних. Попри значну кількість досліджень природних чинників — температури, вітру та вологості — і їхнього впливу на середовище проєктування та будівництва, все ще існує потреба у проведенні натурних експериментів із первинним збором даних, а також у складному тривимірному моделюванні та симуляціях. Нині наукова спільнота має глибше розуміння чинників, що істотно впливають на управління міським

мікрокліматом. На Рисунок 10 наведено основні напрями подальших досліджень у сфері розвитку міського мікроклімату [28, 14].

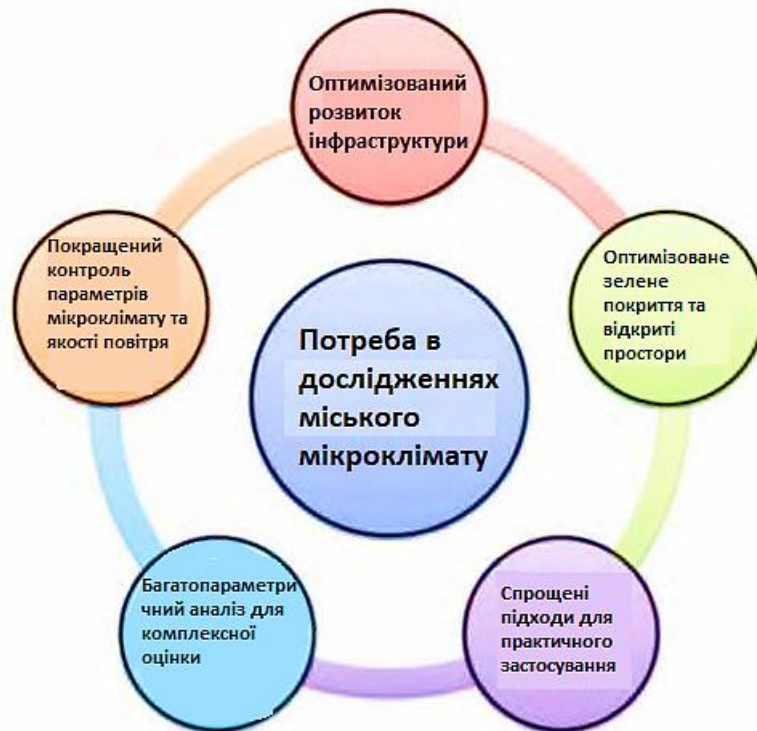


Рисунок 10. Основні напрями подальших досліджень у сфері розвитку міського мікроклімату

Сьогодні дослідники можуть поєднувати польові спостереження із супутниковими даними для аналізу ефекту міського теплового та сухого острова. Це сприяє глибшому усвідомленню взаємозв'язків між метеорологічними й екологічними чинниками. Водночас основою наукових досліджень залишаються польові дані, які використовуються для перевірки гіпотез, створення більш точних моделей і подолання дефіциту інформації. Одним із ключових викликів у дослідженні міського мікроклімату є розроблення комплексної системи оцінювання чинників, що на нього впливають, а також раціональне використання різноманітних інструментів для внесення необхідних змін у проектування та розвиток міста. Поряд із цим важливо створювати зручні для користувачів методи та підходи, які наочно пояснюватимуть конкретні заходи з оптимізації міського середовища. Економічні аспекти оптимізації міського мікроклімату є вирішальними для успішної реалізації відповідних рішень. Очікується, що

наукова спільнота використовує розглянуті ключові концепції для формування ефективних стратегій у цьому напрямі [28].

### 3.2. Зміни мікроклімату міста Львова в умовах урбанізаційного розвитку

Проблематика пом'якшення кліматичних змін і пристосування до них нині належить до ключових наукових і політичних завдань світової спільноти. У цьому контексті особливого значення набуває адаптація урбанізованих територій, які характеризуються значною концентрацією населення та підвищеною вразливістю до кліматичних трансформацій, зумовленою специфікою просторової організації й функціонування міського середовища. У зв'язку з цим заходи з кліматичної адаптації та мітигації поступово стали невід'ємною складовою стратегічного планування розвитку міст. Львівська міська територіальна громада також реалізує власну кліматичну політику, орієнтовану на досягнення кліматичної нейтральності до початку третього десятиліття двадцять першого століття. Водночас ефективність таких заходів значною мірою залежить від глибини розуміння змін регіонального й локального клімату, які визначають динаміку енергетичного балансу міського ландшафту. Кліматичні умови Львова другої половини двадцятого століття були детально висвітлені у спеціалізованих наукових працях. Пізніше з'явилися узагальнені характеристики клімату міста на початку двадцять першого століття. Проте зміни клімату в найближчому минулому та очікувані трансформації у перспективі залишалися недостатньо дослідженими. У зв'язку з цим метою даного дослідження є виявлення кліматичних змін, що відбулися протягом попередніх десятиліть, а також окреслення можливих напрямів подальшої еволюції клімату Львова упродовж двадцять першого століття [8].

Місто Львів розташоване в західній частині України поблизу п'ятдесятого градуса північної широти та приблизно двадцять четвертого градуса східної довготи. Воно знаходиться на Великому Європейському вододілі в межах центральної горбисто-рівнинної частини материка, на висотах від двох з половиною до чотирьох сотень метрів над рівнем моря. Територія міста

віддалена від морських акваторій більш ніж на шість сотень кілометрів, а від узбережжя Атлантичного океану — приблизно на дві тисячі кілометрів. Відповідно до міжнародної кліматичної класифікації, клімат Львова належить до типу з холодною зимою, відсутністю сухого сезону та теплим літом. Подібні кліматичні умови характерні для значних площ Євразії та Північної Америки і охоплюють переважну частину території України. Згідно з національним кліматичним районуванням, місто розміщене в межах північної атлантико-континентальної області помірною кліматичного поясу. Ретроспективний аналіз кліматичних змін у Львові здійснено на основі матеріалів авіаційної метеорологічної станції, розташованої на відкритій вододільній поверхні Львівського плато в південно-східній частині міської територіальної громади. Для дослідження використано середні та екстремальні місячні значення температури повітря, а також середні місячні суми опадів, згруповані за метеорологічними роками — від грудня попереднього року до листопада поточного. Проаналізовано дані за період тривалістю шість десятиліть, які з метою порівняння поділено на два кліматичні інтервали: від початку шістдесятих до кінця вісімдесятих років двадцятого століття та від початку дев'яностих років до початку третього десятиліття двадцять першого століття. Для кожного з інтервалів обчислено середні значення, показники мінливості та лінійні тенденції. Перспективні зміни клімату Львова упродовж двадцять першого століття охарактеризовано на основі прогнозних оцінок середньорічних і середньомісячних температурних показників та кількості опадів. Такі оцінки базуються на результатах глобального кліматичного моделювання, отриманих у межах міжнародних програм порівняння кліматичних моделей. Для підвищення точності прогнозів результати було адаптовано до географічного положення Львова з використанням глобальних кліматичних геопросторових даних із просторовою роздільною здатністю близько чотирьох кілометрів. Прогнозування здійснено за двома можливими сценаріями розвитку кліматичних змін — сценарієм помірною розвитку та сценарієм посилення

регіональних дисбалансів — для трьох часових етапів: найближчої перспективи, середини століття та його завершення [8, 21].

Упродовж сучасного кліматичного інтервалу, що охоплює період від початку дев'яностих років до кінця другого десятиліття двадцять першого століття, середньорічна температура повітря становила близько плюс восьми з третьою частину градусів Цельсія. Найнижчі середньорічні температурні значення були зафіксовані в середині дев'яностих років, коли середня температура не перевищувала плюс шести з половиною градусів. Водночас найбільш теплими виявилися останні роки досліджуваного періоду, для яких характерна середньорічна температура на рівні майже плюс десяти градусів Цельсія. Мінливість середньорічної температури в межах цього періоду характеризувалася стандартним відхиленням, близьким до одного градуса. Найхолоднішим місяцем за багаторічними середніми значеннями був січень, для якого типова температура становила близько мінус трьох градусів Цельсія, тоді як найтеплішим місяцем виявився липень із середнім показником близько плюс дев'ятнадцяти градусів (Рисунок 11). Таким чином, середня річна амплітуда температури повітря впродовж досліджуваного періоду досягала понад двадцяти одного градуса Цельсія. Аналіз багаторічної мінливості середньомісячної температури свідчить, що найбільші коливання притаманні зимовому періоду року, тоді як у літні місяці температурний режим є значно стабільнішим. Найвищі значення стандартного відхилення середньомісячної температури були характерні для лютого і перевищували три градуси Цельсія, тоді як найменша мінливість спостерігалася в серпні, де відповідний показник становив трохи більше одного градуса. Найнижча середня місячна температура зафіксована наприкінці другого десятиліття двадцять першого століття в лютому, коли вона опускалася майже до мінус дев'яти градусів Цельсія. Натомість найвищі середні місячні значення температури були характерні для серпня середини другого десятиліття, коли вони перевищували плюс двадцять один градус. Абсолютний мінімум температури повітря також спостерігався в лютому цього ж періоду й

досягав майже мінус тридцяти градусів Цельсія, тоді як абсолютний максимум, зафіксований у серпні, сягав понад плюс тридцять п'ять градусів [8].

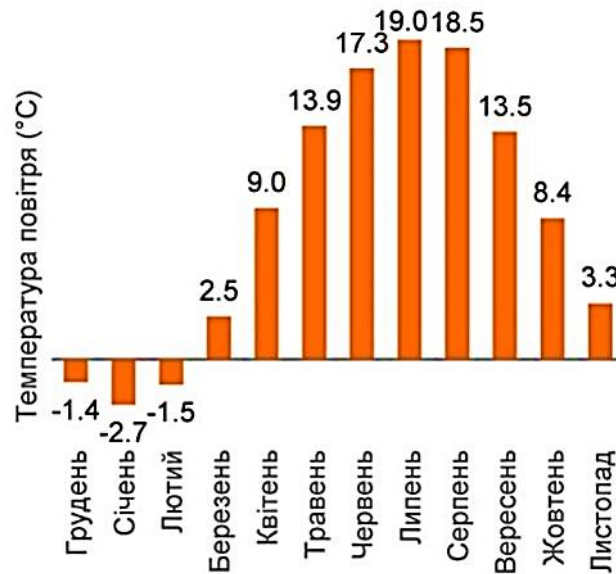


Рисунок 11. Середньомісячна температура повітря (°C) для кліматичного періоду 1991–2020 рр.

Аналіз матеріалів за шість десятиліть, що охоплюють період від початку шістдесятих років до завершення другого десятиліття двадцять першого століття, демонструє виразну тенденцію до зростання як середньорічної температури повітря, так і середніх місячних температурних показників (Рисунок 12). У порівнянні з попереднім кліматичним інтервалом, який охоплював останні три десятиліття двадцятого століття, середньорічна температура в наступний період підвищилася більш ніж на один градус Цельсія. Потепління охопило всі місяці року, проте його інтенсивність була нерівномірною. Найбільш виражене зростання температури відзначено в зимовий період, зокрема в січні, де середні значення підвищилися приблизно на два градуси. Найменші зміни зафіксовано в жовтні, для якого приріст температури не перевищував половини градуса. Водночас істотне підвищення температурних показників спостерігалось і в літні місяці, насамперед у липні та серпні, де середні значення зросли майже на два градуси Цельсія (Рисунок 13). Разом із тим аналіз статистичних характеристик свідчить, що стандартне відхилення середньорічної температури в обох кліматичних періодах

залишалося практично незмінним і становило близько одного градуса Цельсія. Це вказує на те, що, попри загальну тенденцію до потепління, рівень міжрічної мінливості температури повітря в цілому зберігався стабільним [8, 22].

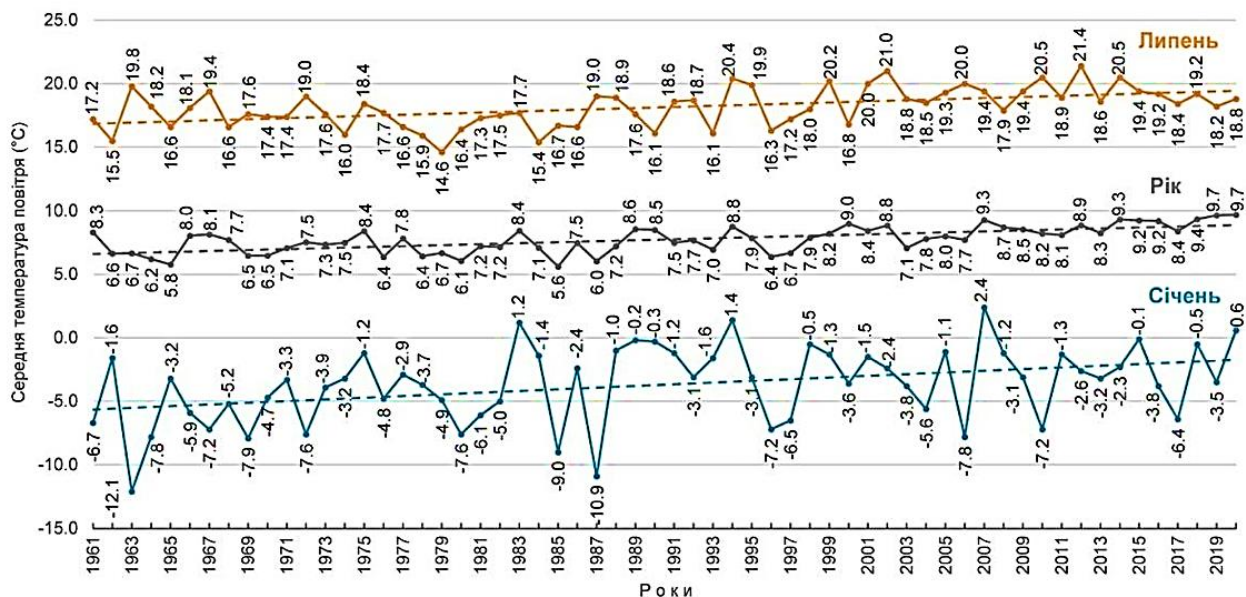


Рисунок 12. Зміна середньої температури повітря (°C) протягом 1961–2020 рр.

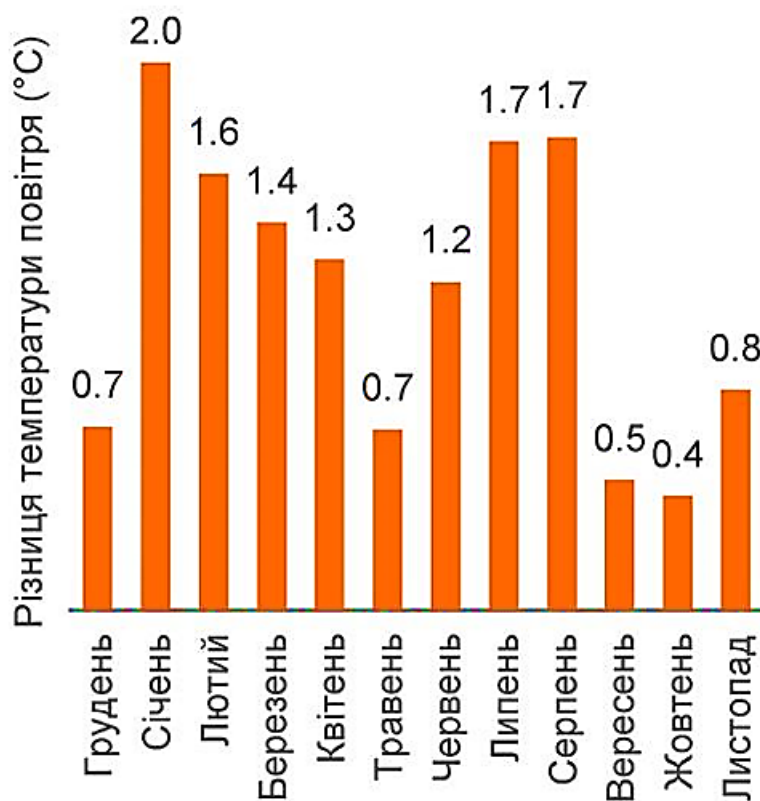


Рисунок 13. Різниця середньомісячної температури повітря (°C) між кліматичними

Упродовж періоду від початку шістдесятих років до кінця другого десятиліття двадцять першого століття простежується стійка тенденція до зростання абсолютних максимумів температури повітря (**Помилка! Джерело посилання не знайдено.**). У кліматичному інтервалі другої половини двадцятого століття найвище значення температури було зафіксоване в серпні на початку шістдесятих років і не перевищувало тридцяти трьох градусів Цельсія. Натомість у другому досліджуваному періоді абсолютний максимум суттєво зріс і досяг понад тридцять п'ять градусів, що засвідчує посилення температурних екстремумів. Найбільш помітне зростання абсолютних місячних максимумів упродовж сучасного кліматичного періоду відзначено для вересня та жовтня, де приріст температури становив понад чотири градуси Цельсія, а в окремі роки спостерігалися значення, близькі до тридцяти п'яти градусів. Водночас у зимові та ранньовесняні місяці абсолютні максимуми в останні десятиліття були нижчими, ніж у попередньому кліматичному періоді, що свідчить про нерівномірність змін температурних екстремумів упродовж року (Рисунок 15) [8].

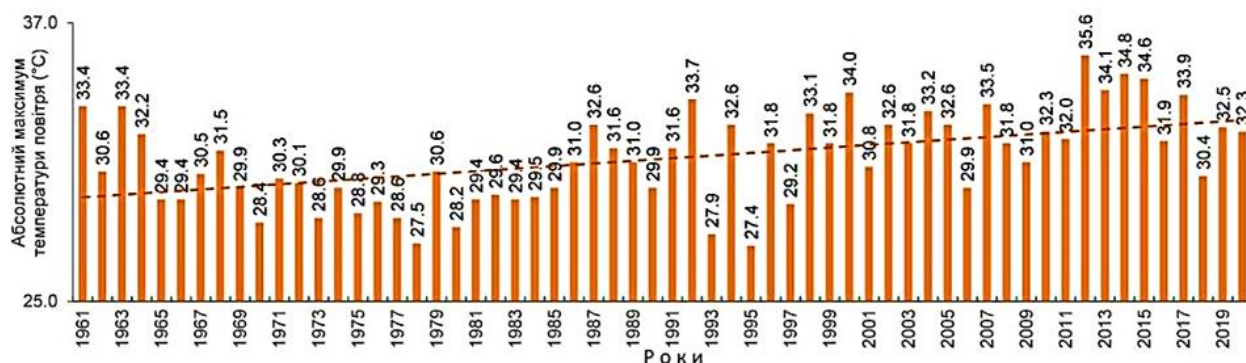


Рисунок 14. Зміна абсолютних максимумів температури повітря (°C) протягом 1961–2020 рр.

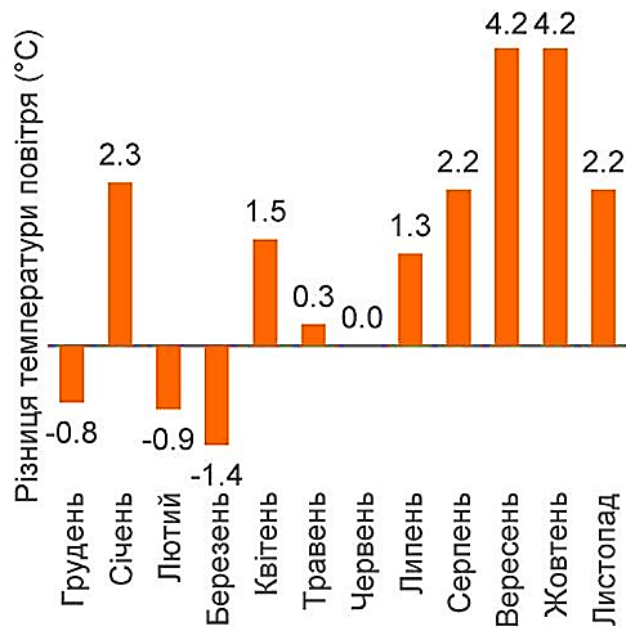


Рисунок 15. Різниця абсолютних максимумів температури повітря (°C) за місяцями між кліматичними періодами 1991–2020 рр. і 1961–1990 рр.

Динаміка абсолютних мінімумів температури повітря впродовж періоду від початку шістдесятих років до кінця другого десятиліття двадцять першого століття характеризувалася значно слабше вираженою тенденцією до потепління, ніж зміни середніх та максимальних температурних показників (Рисунок 16). Найнижче значення мінімальної температури в межах попереднього кліматичного інтервалу було зафіксоване в середині вісімдесятих років у лютому та майже збігалось з абсолютним мінімумом, зареєстрованим на початку другого десятиліття двадцять першого століття, що свідчить про збереження потенціалу до виникнення екстремально холодних умов. У сучасний кліматичний період зафіксовано появу нових місячних екстремумів мінімальної температури в окремі місяці холодного та перехідних сезонів, зокрема взимку, навесні та восени. Найбільш різке зниження мінімальної температури спостерігалось восени, коли жовтневі показники суттєво перевищили за інтенсивністю попередні екстремальні значення. Водночас у більшості місяців року, особливо в літній та частині осінньої пори, мінімальні температури в сучасний період були дещо вищими порівняно з кліматичним інтервалом другої

половини двадцятого століття, що свідчить про загальне пом'якшення холодних екстремумів упродовж року (Рисунок 17) [8, 23].

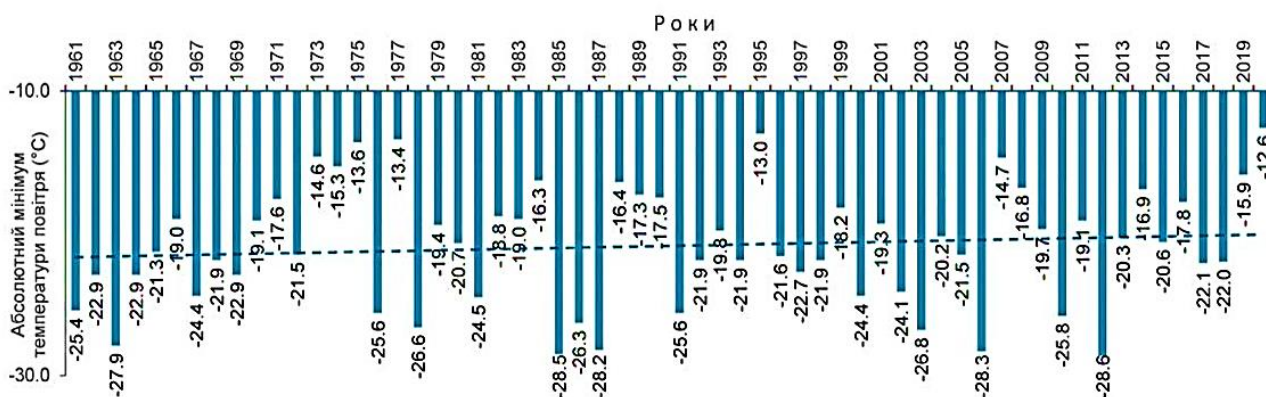


Рисунок 16. Зміна абсолютних мінімумів температури повітря (°C) протягом 1961–2020 рр.

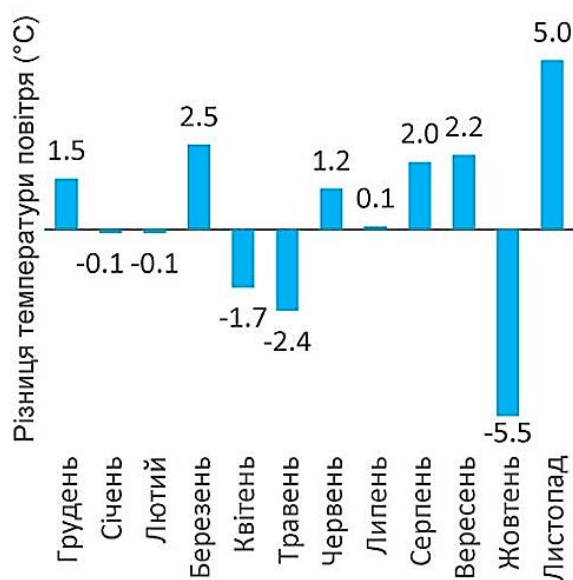


Рисунок 17. Різниця абсолютних мінімумів температури повітря (°C) за місяцями між кліматичними періодами 1991–2020 рр. і 1961–1990 рр.

Упродовж періоду від початку дев'яностих років до завершення другого десятиліття двадцять першого століття середньорічна кількість атмосферних опадів у Львові становила близько семи з половиною сотень міліметрів. Найменша річна сума опадів спостерігалася в середині дев'яностих років і не перевищувала шести сотень міліметрів, тоді як найбільш вологий рік характеризувався кількістю опадів, що перевищувала одну тисячу міліметрів. Мінливість річних сум опадів у межах цього періоду була помірною та

відповідала стандартному відхиленню на рівні приблизно однієї сотні міліметрів. У річному ході найбільша кількість опадів припадала на теплу пору року, з максимумом у літні місяці, зокрема в липні, тоді як мінімальні значення були характерні для зимового періоду, насамперед січня (Рисунок 18). Таким чином, найменше опадів випадало в найхолодніший місяць року, а найбільше — в найтепліший. Аналогічна закономірність простежувалася і в багаторічній мінливості середньомісячних сум опадів: найбільші коливання були властиві літнім місяцям, тоді як зимові характеризувалися відносною стабільністю. Найменша місячна кількість опадів за досліджуваний період була зафіксована наприкінці другого десятиліття двадцять першого століття і становила лише одиничні міліметри, тоді як максимальні місячні суми, що перевищували дві сотні міліметрів, спостерігалися навесні. Добові суми опадів у теплий період року інколи перевищували сорок міліметрів і були пов’язані переважно з інтенсивними зливами та грозовими явищами, зумовленими проходженням циклонів і холодних атмосферних фронтів [8].

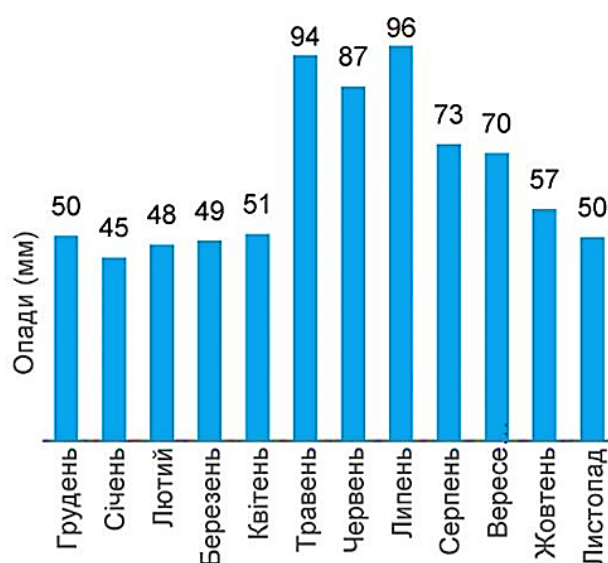


Рисунок 18. Середньомісячна кількість атмосферних опадів (мм) для кліматичного періоду 1991–2020 рр.

Упродовж періоду від початку шістдесятих років до завершення другого десятиліття двадцять першого століття спостерігалася слабо виражена тенденція до зростання річної кількості атмосферних опадів (Рисунок 19). Якщо в другій половині двадцятого століття середньорічна сума опадів становила

близько семи з третиною сотень міліметрів, то в сучасний кліматичний інтервал вона зросла майже до семи з половиною сотень міліметрів. Водночас зміни середньомісячних сум опадів мали неоднорідний характер: окремі місяці стали помітно вологішими, зокрема пізньовесняний період, тоді як на початку літа спостерігалось певне зменшення кількості опадів (Рисунок 20). Прогнозні оцінки свідчать, що в майбутньому очікується подальше й більш інтенсивне підвищення температури повітря, ніж у попередні десятиліття (Рисунок 21). Уже в найближчій перспективі середньорічна температура може зрости більш ніж на один градус Цельсія, а в середньостроковому часовому інтервалі — майже на два градуси відносно сучасного кліматичного періоду. До завершення століття, залежно від сценарію розвитку кліматичних змін, підвищення середньорічної температури може досягти від понад трьох до майже п'яти градусів Цельсія. За таких умов імовірним є суттєве пом'якшення зимового температурного режиму з переходом середніх зимових температур у додатну область, тоді як літні температури можуть наблизитися до значень, характерних для сучасних субтропічних регіонів [8, 26].

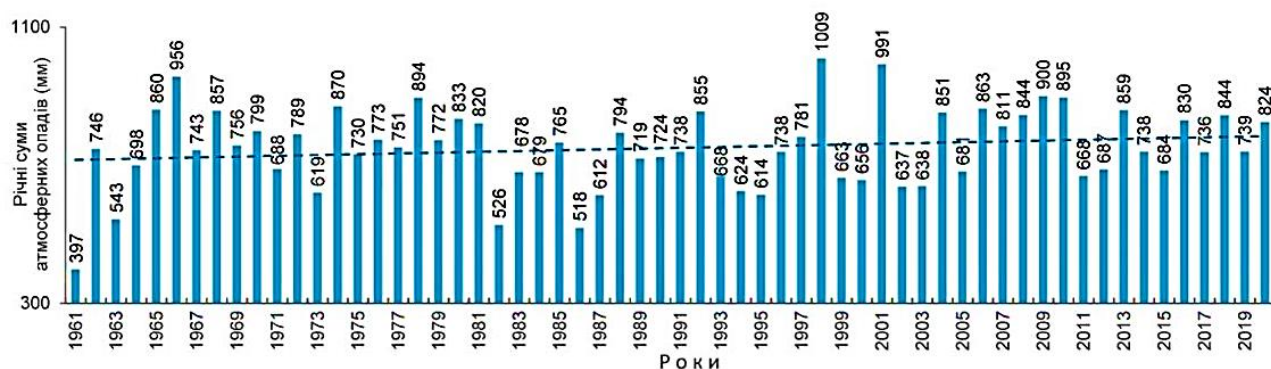


Рисунок 19. Зміна середньорічної кількості атмосферних опадів (мм) протягом 1961–2020 рр.

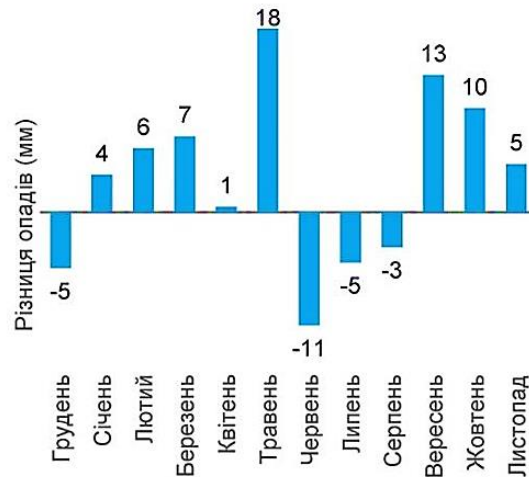


Рисунок 20. Різниця середньомісячної кількості атмосферних опадів (мм) між кліматичними періодами 1991–2020 рр. і 1961–1990 рр.

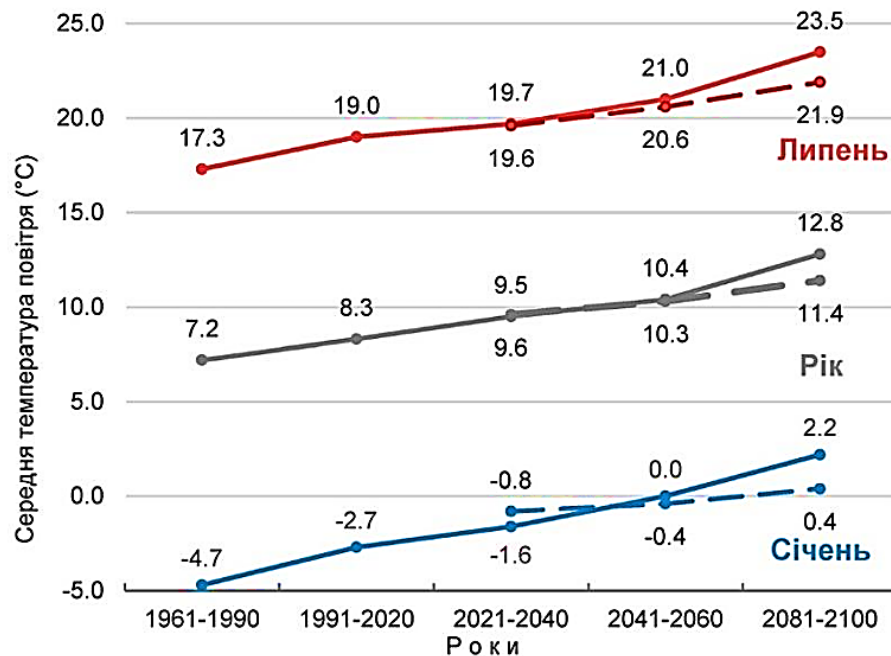


Рисунок 21. Проекції зміни середньої температури повітря (°C).

Пунктирна лінія – SSP2-4.5; суцільна лінія – SSP3-7.0.

Прогнозні середньомісячні температури повітря для найближчої та віддаленої перспективи суттєво різняться залежно від сценарію кліматичних змін (Рисунок 22). Найбільш інтенсивне підвищення температури очікується в зимові місяці: у близькій перспективі воно становитиме близько двох градусів Цельсія, тоді як наприкінці століття може сягнути п'яти і більше градусів за умов песимістичного сценарію. За помірною сценарію найменші зміни температури прогножуються в літні місяці та пізню осінь, де зростання не перевищуватиме

одного градуса. Водночас за інтенсивного сценарію наприкінці століття мінімальне підвищення температури очікується у весняно-літній період, проте навіть воно залишатиметься суттєвим і сягатиме кількох градусів Цельсія. Кліматичні розрахунки також вказують на можливе незначне скорочення річної кількості опадів, хоча в окремі місяці теплого періоду, зокрема навесні та на початку літа, їхня кількість може дещо зрости (Рисунок 23). Водночас імовірним є посилення нерівномірності випадання опадів, що проявлятиметься у збільшенні інтенсивності зливових дощів і штормових явищ, а також у подовженні бездошових періодів (Рисунок 24) [8].

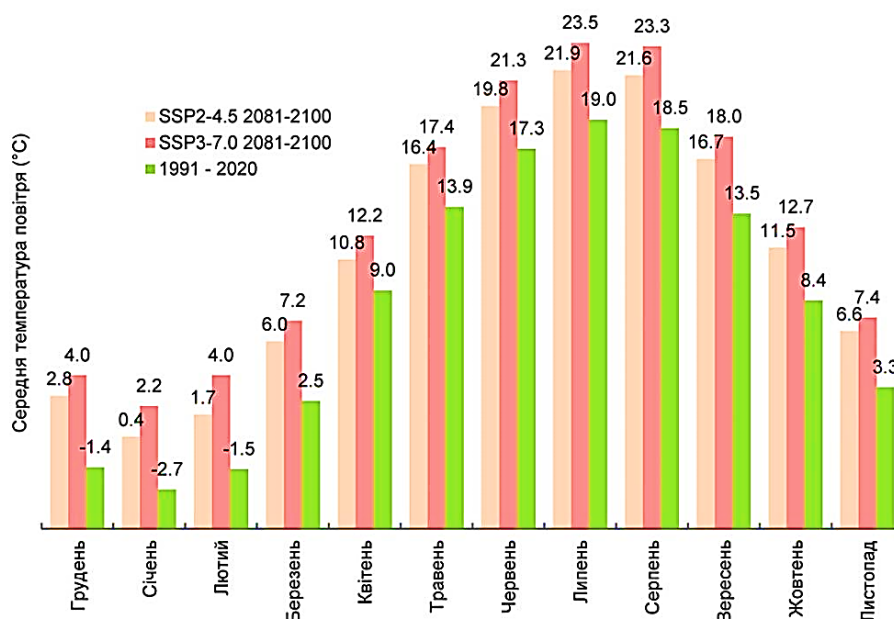


Рисунок 22. Проекції середньомісячної температури повітря (°C).

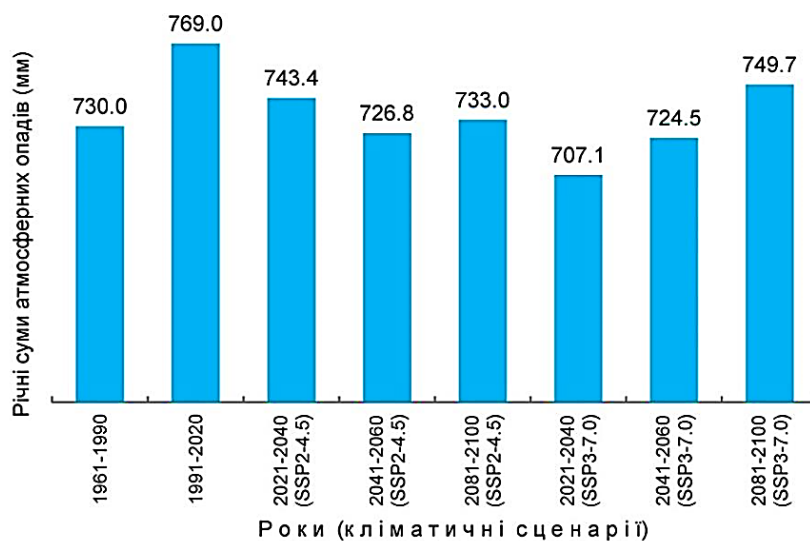


Рисунок 23. Проекції середніх річних сум атмосферних опадів (мм).

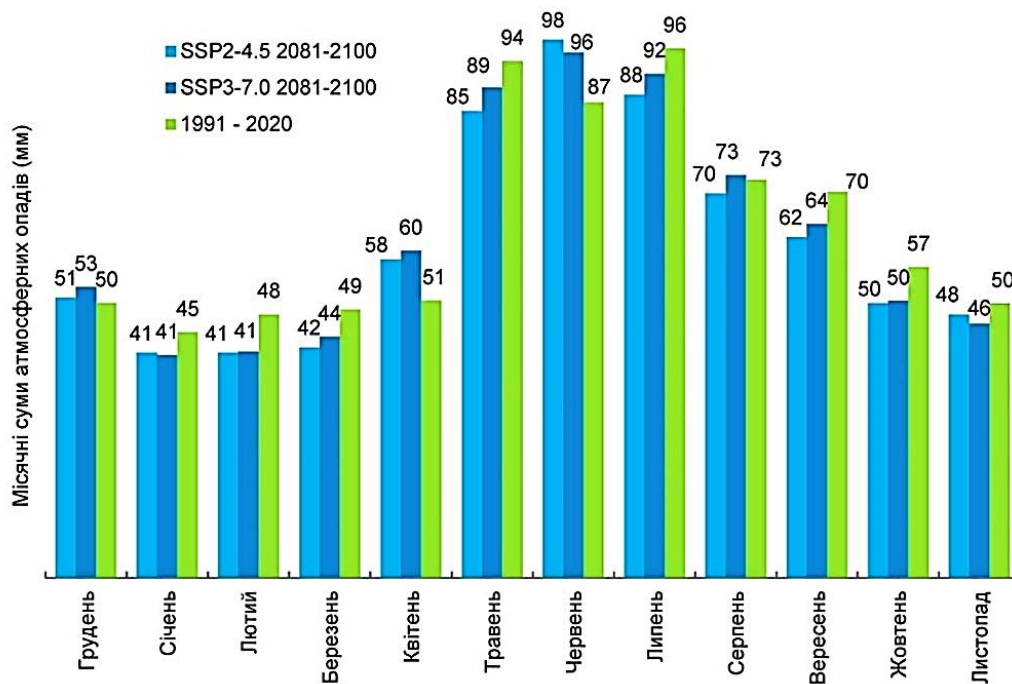


Рисунок 24. Проекції середньомісячних сум атмосферних опадів (мм).

Аналіз результатів окремих кліматичних моделей засвідчує наявність істотних розбіжностей у прогнозах, які стають дедалі помітнішими зі збільшенням часової віддаленості прогнозованого періоду. Так, для найближчої перспективи різні моделі навіть за відмінних сценаріїв формують близькі, проте не тотожні оцінки середньорічної температури повітря, що коливаються в межах близько дев'яти–десяти градусів Цельсія. Наприкінці двадцять першого століття ці відмінності істотно зростають: за помірною сценарію окремі моделі прогнозують середньорічні температури на рівні понад одинадцять градусів, тоді як за інтенсивною сценарію потепління вони можуть перевищувати тринадцять градусів Цельсія. Аналогічна невизначеність простежується і в прогнозах атмосферних опадів, де очікувані річні суми до кінця століття варіюють у межах приблизно семи–восьми сотень міліметрів залежно від моделі. Такі розбіжності між модельними оцінками свідчать про значний рівень невизначеності довгострокових кліматичних проєкцій та підкреслюють необхідність використання ансамблевих підходів під час аналізу майбутніх змін клімату [8].

### 3.3. Шляхи оптимізації міської забудови з метою покращення мікроклімату

Спостерігається зростання інтересу до проблем міської енергетики та мікроклімату, оскільки вони є ключовими чинниками досягнення сталого розвитку та пом'якшення наслідків глобальних кліматичних змін. Нині понад половина населення світу проживає в містах, і ця частка продовжує зростати, особливо в країнах, що розвиваються. Приблизно дві третини світового первинного енергоспоживання припадає саме на міські території. Активна урбанізація спричинила суттєві зміни радіаційного балансу міського простору, конвективного теплообміну між ґрунтом і будівлями, повітряних потоків над містами та внутрішнього тепловиділення. Основним наслідком цих процесів є різниця температури повітря між міськими та сільськими територіями. Це явище відоме як ефект міського теплового острова, за якого денна температура повітря в містах перевищує показники навколишніх сільських територій на один–шість градусів Цельсія. У багатьох містах світу цей ефект є поширеним, а в окремих мегаполісах його інтенсивність може досягати значно вищих значень. Підвищені температури, особливо в літній період, негативно впливають на стан довкілля та якість життя міського населення. Вони сприяють виникненню теплового дискомфорту, респіраторних порушень, теплових судом і виснаження, теплових ударів та зростанню рівня смертності. Крім того, теплові острови посилюють хвилі спеки, які характеризуються тривалими періодами аномально високих температур і вологості, що становить особливу небезпеку для вразливих груп населення [29].

Ефект міського теплового острова також є серйозною проблемою з точки зору енергоефективності, оскільки підвищення температури повітря призводить до зростання енергоспоживання, пікового навантаження на енергосистеми та вартості енергії, а також значного збільшення екологічного сліду міст. Додатково високі температури погіршують якість повітря через прискорення фотохімічних реакцій утворення озону та зростання викидів його попередників. Використання викопного палива для виробництва електроенергії супроводжується викидами парникових газів, зокрема діоксиду вуглецю, що посилює глобальні кліматичні

зміни. Таким чином, зменшення впливу теплових островів є важливою складовою забезпечення сталого розвитку міст і може бути досягнуте шляхом поліпшення міського мікроклімату. Сучасні дослідження доводять, що існує низка інноваційних, економічно доцільних і простих у впровадженні заходів, здатних покращити мікроклімат та сприяти відновленню міських територій. До таких заходів належать використання холодних матеріалів, розвиток зелених зон, ефективний сонцезахист і застосування ґрунтово-повітряних теплообмінників [29].

Холодні матеріали характеризуються високою відбивною здатністю сонячного випромінювання та значною інфрачервоною емісійністю, що забезпечує зниження температури зовнішніх поверхонь і зменшення теплового потоку всередину будівель, а також сприяє охолодженню навколишнього повітря. Такі матеріали, які найчастіше мають світле забарвлення, у літній період можуть залишатися на кілька десятків градусів прохолоднішими за традиційні покриття. Окрім цього, розробляються холодні матеріали темних кольорів із підвищеною відбивною здатністю, що дозволяє поєднати енергоефективність з естетичними вимогами та уникнути проблем засліплення. Холодні дорожні покриття також здатні зменшувати акумуляцію тепла та знижувати температуру поверхні порівняно з традиційними асфальтовими або бетонними матеріалами. Збільшення сонячної відбивної здатності таких поверхонь дозволяє суттєво зменшити їх нагрівання в літній період, що позитивно впливає на температуру повітря в міському середовищі. Моделювання показує, що широке впровадження холодних покриттів і дахів сприяє зниженню потреби в охолодженні будівель, зменшенню утворення смогу та скороченню викидів парникових газів. Зелені насадження, зокрема дерева та рослинність, відіграють важливу роль у формуванні сприятливого мікроклімату завдяки затіненню та процесам випаровування вологи. Крони дерев зменшують надходження сонячної радіації до поверхні землі, що призводить до значного зниження температури. Випаровування води з листя додатково охолоджує повітря. Дослідження свідчать, що температура повітря в парках може бути на кілька градусів нижчою,

ніж у навколишніх забудованих районах, а масштабне озеленення міст здатне знизити загальну температуру повітря на один–три градуси [29].

Ґрунт у багатьох кліматичних умовах може використовуватися як джерело охолодження, оскільки на певній глибині його температура влітку залишається значно нижчою за температуру повітря. Пропускання гарячого зовнішнього повітря через підземні труби дозволяє ефективно його охолоджувати перед подачею в будівлі, зменшуючи потребу в механічному кондиціонуванні. Сталий розвиток і реновація міських територій є ключовими напрямками європейської міської політики. Їх успішна реалізація забезпечує екологічно, економічно та соціально збалансоване майбутнє для міського населення. Для підвищення ефективності таких заходів необхідним є глибоке розуміння процесів формування міського мікроклімату, що досягається шляхом детального моніторингу, математичного моделювання та комп'ютерних симуляцій, зокрема із застосуванням методів обчислювальної гідродинаміки [29].

Стратегія покращення локального мікроклімату:

1. Використання холодних покриттів на всій території.

- Холодні матеріали характеризуються високою дифузною відбивною здатністю щодо сонячного випромінювання та значною емісійністю, що забезпечує зниження температури поверхні й зменшення теплопередачі до навколишнього повітря. У відкритих зонах площі передбачено використання холодних тротуарних покриттів, тоді як на прилеглих вулицях — холодного та фотокаталітичного асфальту. Холодні тротуарні покриття виконані у вигляді бетонних плиток із застосуванням інфрачервоно-відбивних пігментів, які дозволяють отримувати матеріали з високою сонячною відбивною здатністю та різноманітною кольоровою гамою без погіршення механічних властивостей. Порівняльні вимірювання показали, що температура поверхні таких плиток може бути до 10 °С нижчою порівняно з традиційними покриттями аналогічного кольору. Обрані матеріали мають коефіцієнт сонячної відбивної здатності близько 0,68 та емісійність близько 0,9. Холодний асфальт являє собою світлі асфальтові покриття з підвищеною відбивною здатністю. Якщо традиційний

чорний асфальт має відбивну здатність близько 5 %, то промислові зразки холодного асфальту можуть перевищувати 50 %, що забезпечує зниження температури поверхні майже на 10 °С. Для зменшення забруднення повітря, зокрема транспортного походження, на поверхні дорожніх покриттів застосовано фотокаталітичні матеріали з діоксидом титану. Під дією сонячного світла такі матеріали сприяють перетворенню шкідливих домішок у менш небезпечні сполуки, які змиваються атмосферними опадами, а також мають властивість самоочищення [29].

## 2. Розвиток зелених зон і створення затінення у відкритому просторі.

- Зелені насадження відіграють ключову роль у формуванні сприятливого мікроклімату міського простору. Вони забезпечують природне затінення, що зменшує надходження сонячної радіації до поверхні ґрунту та твердих покриттів, унаслідок чого знижується їх нагрівання. Завдяки цьому суттєво скорочується інтенсивність конвективного теплообміну між поверхнями та приземним шаром повітря. Додатковий охолоджувальний ефект створюється за рахунок процесів випаровування вологи з листової поверхні рослин, у ході яких поглинається значна кількість теплової енергії, що сприяє зниженню температури навколишнього повітря та покращенню умов теплового комфорту. З метою подальшого зменшення температури повітря та покращення вентиляції у підвітряних зонах передбачено використання ґрунту як холодного теплового резервуара. Ґрунт на певній глибині характеризується стабільною та нижчою порівняно з атмосферним повітрям температурою, особливо в літній період. Це дає змогу ефективно використовувати його охолоджувальний потенціал шляхом організації ґрунтово-повітряного теплообміну. Проходячи через підземні елементи теплообмінної системи, зовнішнє повітря охолоджується та подається у відкритий простір, що не лише знижує температуру приземного шару, а й підвищує швидкість повітряних потоків у зонах із недостатньою природною вентиляцією. У поєднанні з озелененням такі заходи забезпечують комплексне покращення мікрокліматичних умов і сприяють підвищенню якості міського середовища [29].

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Мікроклімат належить до ключових фізичних чинників, що визначають стан організму людини під час перебування у виробничих приміщеннях. Сукупність метеорологічних умов у робочій зоні формується такими основними параметрами: температурою повітря, відносною вологістю, швидкістю руху повітря, барометричним тиском та інтенсивністю теплового випромінювання від нагрітих поверхонь. Врахування зазначених показників обумовлене необхідністю підтримання теплового балансу організму людини. Кількість тепла, що виробляється організмом, залежить від рівня фізичного навантаження та метеорологічних умов і змінюється від сімдесяти п'яти кілокалорій за годину у стані спокою до чотирьохсот кілокалорій за годину під час виконання важкої фізичної роботи. Для нормального перебігу фізіологічних процесів надлишкове тепло має ефективно відводитися в навколишнє середовище. Узгодженість між тепловиділенням організму та теплообмінними властивостями середовища визначає комфортність умов праці [19].

Комфортний тепловий стан забезпечується за умови збереження теплового балансу організму, при якому тепло відводиться через одяг, шляхом конвекції, теплового випромінювання, випаровування вологи з поверхні шкіри та нагрівання повітря, що вдихається. Завдяки цьому механізму температура внутрішніх органів людини підтримується на рівні тридцяти шести і шести десятих градуса Цельсія. Здатність організму зберігати сталу температуру тіла за змін умов мікроклімату та різного рівня фізичної активності називається терморегуляцією. За температури навколишнього середовища вісімнадцять градусів Цельсія у стані спокою частка тепловіддачі становить: через одяг — близько тридцяти відсотків, шляхом конвекції — сорок п'ять відсотків, випромінюванням — двадцять відсотків, шляхом нагрівання вдихуваного повітря — близько п'яти відсотків. За зміни метеорологічних умов зазначені співвідношення можуть істотно змінюватися. Важливу роль у формуванні теплового самопочуття людини відіграє поєднання температури повітря,

відносної вологості та швидкості його руху. Підвищена вологість повітря, понад вісімдесят п'ять відсотків, ускладнює процеси терморегуляції через зниження інтенсивності випаровування поту, тоді як надто низька вологість, менше двадцяти відсотків, спричиняє пересихання слизових оболонок дихальних шляхів. Оптимальними вважаються значення відносної вологості в межах від тридцяти до шістдесяти відсотків [12].

Людина починає відчувати рух повітря за швидкості близько нуля цілих двох десятих метра за секунду. У холодний період року допустима швидкість руху повітря становить від нуля цілих трьох десятих до нуля цілих п'яти десятих метра за секунду, у теплий період — від нуля цілих п'яти десятих до одного цілого п'яти десятих метра за секунду. Барометричний тиск впливає на парціальний тиск кисню та азоту, а отже — на процеси дихання. Діяльність людини можлива в досить широкому діапазоні атмосферного тиску — від п'ятисот п'ятдесяти до дев'ятисот п'ятдесяти міліметрів ртутного стовпчика. Водночас небезпеку для здоров'я становлять не абсолютні значення тиску, а його різкі коливання, які навіть у межах кількох міліметрів ртутного стовпчика можуть викликати неприємні відчуття. Відповідно до санітарних норм двісті сорок п'ять – сімдесят один визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату для робочої зони приміщень, яка охоплює простір висотою до двох метрів від рівня підлоги або робочого майданчика. Нормування здійснюється з урахуванням пори року, категорії виконуваних робіт за рівнем енерговитрат та величини надлишкового тепла в приміщенні [10].

Роботи поділяють на легкі, середньої тяжкості та важкі залежно від величини енерговитрат. Виробничі приміщення класифікують за величиною теплових надлишків на приміщення з незначним надлишком тепла — до двадцяти кілокалорій на кубічний метр за годину, та зі значним надлишком — понад двадцять кілокалорій на кубічний метр за годину. Величина теплових надлишків визначається на основі теплового балансу приміщення як різниця між сумарними тепловиділеннями та тепловтратами. З урахуванням перелічених чинників встановлюють нормативні значення температури, відносної вологості

та швидкості руху повітря. Так, для легких робіт у холодний період року в приміщеннях з незначними тепловими надлишками допустимими є температура від сімнадцяти до двадцяти двох градусів Цельсія, відносна вологість не вище сімдесяти п'яти відсотків і швидкість руху повітря не більше нуля цілих трьох десятих метра за секунду. Тепловіддача організму людини в навколишнє середовище відбувається шляхом конвекції, теплового випромінювання та випаровування вологи з поверхні шкіри. За низьких температур і невеликої швидкості руху повітря переважає випромінювання, тоді як за високих температур основним механізмом тепловіддачі стає випаровування поту (Рисунок 25). Разом із потом організм втрачає воду, мінеральні солі та вітаміни, що може призводити до зневоднення й порушення обміну речовин. У зв'язку з цим працівників гарячих цехів забезпечують підсоленою газованою водою [4].

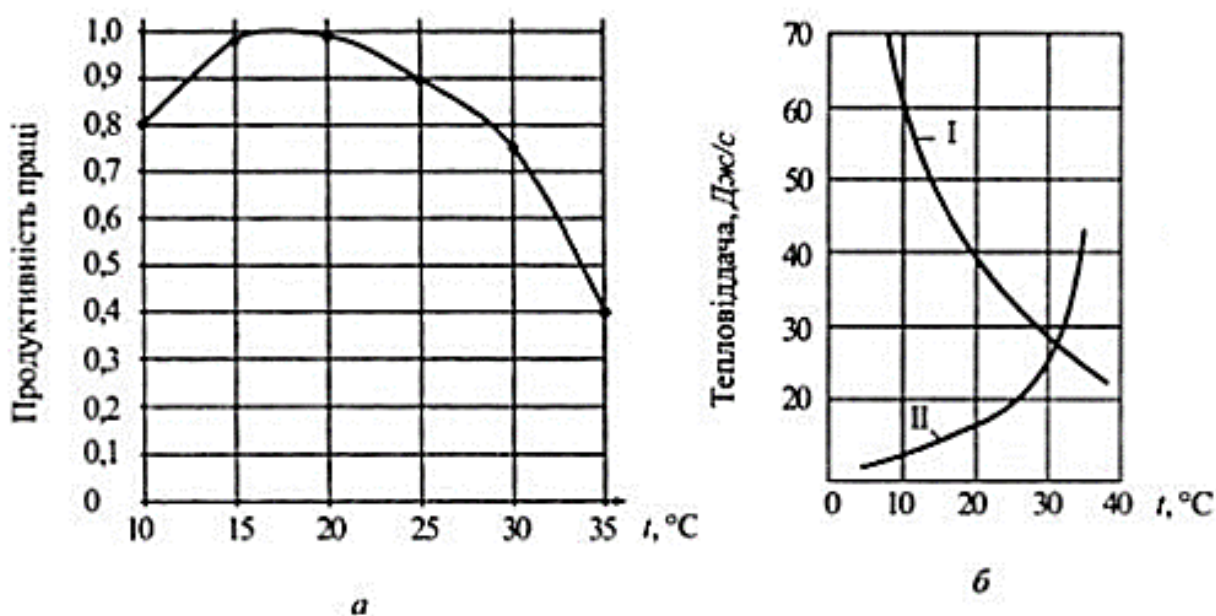


Рисунок 25. Вплив температури повітря на продуктивність праці (а) та тепловіддачу організму людини (б): I – випромінюванням і конвекцією; II – випаровуванням

Вологість повітря суттєво впливає на процес тепловіддачі шляхом випаровування. За умов підвищеної вологості інтенсивність випаровування зменшується, що ускладнює відведення тепла від організму. Натомість зниження вологості сприяє активізації випаровування та покращує тепловіддачу. Водночас

надмірно низькі значення вологості призводять до пересихання слизових оболонок дихальних шляхів. Рух повітря визначає інтенсивність тепловіддачі з поверхні шкіри шляхом конвекції та випаровування. У жарких виробничих приміщеннях за температури рухомого повітря до тридцяти п'яти градусів Цельсія його циркуляція сприяє підвищенню тепловіддачі організму. Однак зі зростанням температури рухоме нагріте повітря починає передавати тепло тілу людини, що зумовлює його додаткове нагрівання [12].

За низьких температур рух повітря може викликати переохолодження організму. Значні коливання температури у приміщеннях, де спостерігається продування холодним повітрям (протяги), істотно порушують процеси терморегуляції та можуть спричинити простудні захворювання. Параметри мікроклімату тісно взаємопов'язані між собою. Зокрема, підвищенню температури повітря зазвичай відповідає більша швидкість його руху, тоді як за вищої відносної вологості оптимальною є нижча температура. Однаковий тепловий вплив на організм людини за відсутності руху повітря можуть забезпечувати такі поєднання температури та відносної вологості: сімнадцять і сім десятих градуса Цельсія при ста відсотках вологості; вісімнадцять і три десятих градуса Цельсія при дев'яноста відсотках; двадцять і сім десятих градуса Цельсія при п'ятдесяти відсотках; двадцять два і три десятих градуса Цельсія при тридцяти відсотках. Адаптаційні можливості організму людини до метеорологічних умов є значними, проте мають певні межі. Верхньою межею ефективної терморегуляції для людини, що перебуває у стані спокою, вважається температура від тридцяти до тридцяти одного градуса Цельсія за відносної вологості вісімдесят п'ять відсотків або сорок градусів Цельсія за вологості тридцять відсотків. Під час виконання фізичної роботи зазначена межа суттєво знижується. Так, при виконанні важкої роботи теплова рівновага організму ще може зберігатися за температури від двадцяти п'яти до двадцяти шести градусів Цельсія за відносної вологості від сорока до шістдесяти відсотків. Отже, для забезпечення нормального теплового самопочуття людини необхідно, щоб

температура повітря, його відносна вологість і швидкість руху перебували у взаємоузгодженому співвідношенні [4].

В основу нормування параметрів мікроклімату покладено диференційований підхід до оцінки оптимальних і допустимих метеорологічних умов у робочій зоні залежно від категорії виконуваних робіт, пори року та типу робочих місць. Оптимальні мікрокліматичні умови визначаються як таке поєднання параметрів мікроклімату, яке за тривалого та систематичного впливу на організм людини забезпечує збереження нормального теплового стану без залучення активних механізмів терморегуляції. Такі умови сприяють формуванню відчуття теплового комфорту та створюють сприятливі передумови для підтримання високого рівня працездатності. Допустимі мікрокліматичні умови — це поєднання параметрів, які за тривалого впливу можуть спричиняти тимчасові зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються в межах фізіологічної адаптації та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції. За таких умов не виникає порушень стану здоров'я, однак можливі дискомфортні теплові відчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності [10].

Інтенсивність теплового опромінення працівників від нагрітих поверхонь технологічного обладнання, освітлювальних приладів, а також внаслідок інсоляції через засклені огорожувальні конструкції не повинна перевищувати (Таблиця 1):

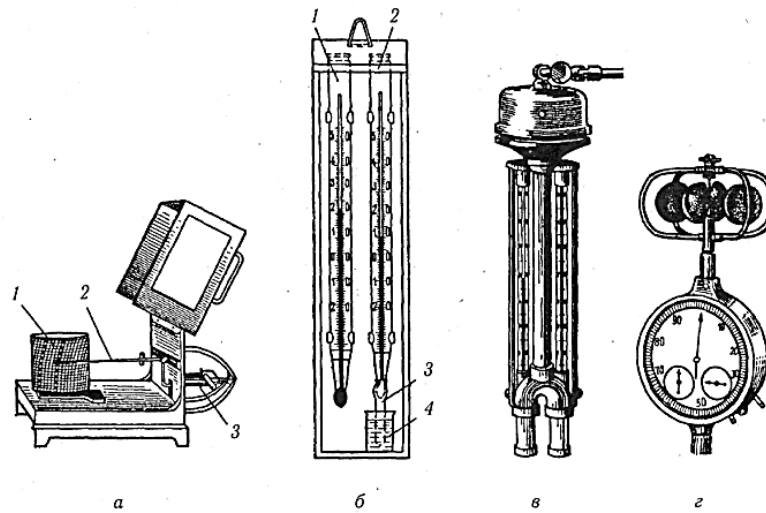
- тридцяти п'яти ват на квадратний метр — за умови опромінення п'ятдесяти відсотків і більше поверхні тіла;
- сімдесяти ват на квадратний метр — при опроміненні від двадцяти п'яти до п'ятдесяти відсотків поверхні тіла;
- ста ват на квадратний метр — у разі опромінення не більше двадцяти п'яти відсотків поверхні тіла.

Таблиця 1.

Оптимальні та допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с		
		оптимальна	допустима		оптимальна	допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більше ніж	оптимальна, не більше ніж	допустима на робочих місцях постійних і непостійних*		
			верхня межа	нижня межа						
			на робочих місцях							
постійних	непостійних	постійних	непостійних							
Холодний Теплий	Легка — Іа	22—24	25	26	21	18	40—60	75	0,1	Не більше ніж 0,1
	Легка — Іб	21—23	24	25	20	17	40—60	75	0,1	0,1
	Середньої важкості — Па	18—20	23	24	17	15	40—60	75	0,2	Не більше ніж 0,2
	Середньої важкості — Пб	17—19	21	23	15	13	40—60	75	0,2	0,2
	Легка — Іа	16—18	19	20	13	12	40—60	75	0,3	Не більше ніж 0,3
	Легка — Іб	23—25	28	30	22	20	40—60	55 (при 28 °С)	0,1	0,3
	Важка — ІІІ	22—24	28	30	21	19	40—60	60 (при 27 °С)	0,2	Не більше ніж 0,3
	Легка — Іа	21—23	27	29	18	17	40—60	65 (при 26 °С)	0,3	0,4
	Легка — Іб	20—22	27	29	16	15	40—60	70 (при 25 °С)	0,3	Не більше ніж 0,4
	Середньої важкості — Па	18—20	26	28	15	13	40—60	75 (при 24 °С)	0,4	0,5
	Середньої важкості — Пб									0,1—0,2
	Важка — ІІІ									0,1—0,3 0,2—0,4 0,2—0,5 0,2—0,6

Для встановлення відповідності повітряного середовища конкретного приміщення чинним нормативним вимогам необхідно здійснити кількісну оцінку кожного з параметрів мікроклімату. Температуру повітря визначають за допомогою ртутних або спиртових термометрів. У приміщеннях, де спостерігається інтенсивне теплове випромінювання, застосовують парний термометр, який складається з двох приладів — із зачерненим та посрібленим резервуарами. Для безперервного контролю та реєстрації температури повітряного середовища використовують самописні прилади — термографи (Рисунок 26).



*a* — термограф: 1 — барабан; 2 — стрілка; 3 — біметалева пластинка; *б* — психрометр Августа: 1 — «сухий» термометр; 2 — «вологий» термометр; 3 — марля; 4 — мензурка з водою; *в* — аспіраційний психрометр; *г* — чашковий анемометр

### Рисунок 26. Прилади для вимірювання деяких параметрів мікроклімату

Вимірювання температури повітря здійснюють у декількох точках робочої зони, зазвичай на висоті від одного цілого трьох десятих до одного цілого п'яти десятих метра від рівня підлоги, у різний час доби. На робочих місцях, де температура повітря поблизу підлоги істотно відрізняється від температури у верхній частині приміщення, додаткові вимірювання проводять також на рівні ніг — на висоті від нуля цілих двох десятих до нуля цілих трьох десятих метра від підлоги. Відносна вологість повітря, яка визначається як співвідношення фактичної маси водяної пари, що міститься в одному кубічному метрі повітря, до максимально можливої її кількості за даної температури, вимірюється за допомогою психрометра Августа, аспіраційного психрометра, а також гігрометрів і гігрографів. Для визначення швидкості руху повітря використовують крильчасті анемометри, призначені для вимірювання швидкостей у межах від нуля цілих трьох десятих до нуля цілих п'яти десятих метра за секунду, та чашкові анемометри, що застосовуються для швидкостей від одного до двадцяти метрів за секунду. Для фіксації малих швидкостей руху

повітря, менших за нуль цілих п'ять десятих метра за секунду, використовують термоанемометри та кататермометри [12].

Температуру нагрітих поверхонь визначають за допомогою електротермометрів, термопар та інших контактних вимірювальних приладів. Інтенсивність теплового опромінення вимірюють із застосуванням актинометрів, термостовпців та спеціалізованих радіометрів. Загальні заходи та засоби нормалізації параметрів мікроклімату в робочій зоні непостійних робочих місць. Для забезпечення нормативних параметрів мікроклімату на виробництві застосовують комплекс організаційних, технологічних та технічних заходів. Одним із найефективніших напрямів є удосконалення технологічних процесів та обладнання. Упровадження сучасних технологій, що не потребують виконання робіт в умовах інтенсивного теплового впливу, дозволяє суттєво зменшити надходження тепла у виробничі приміщення. До таких заходів належать заміна гарячих способів обробки металів холодними, використання індукційного нагріву замість нагріву полум'ям, а також заміна горнових печей тунельними. Важливе значення має раціональне розміщення технологічного устаткування. Основні джерела тепловиділення доцільно розташовувати під аераційними ліхтарями або поблизу зовнішніх стін будівлі, в один ряд і на такій відстані, щоб теплові потоки не перехрещувалися в межах робочих місць. Для охолодження гарячих виробів рекомендується передбачати окремі приміщення. Найбільш ефективним рішенням є розміщення тепловиділяючого обладнання в ізольованих приміщеннях або на відкритих виробничих майданчиках [19].

Широко застосовуються теплоізоляція обладнання та захисні екрани. Як теплоізоляційні матеріали використовують азбест, азбоцемент, мінеральну вату, склотканину, керамзит, пінопласт та інші матеріали. Захисні екрани за принципом дії поділяють на тепловідбивні, теплопоглинальні, тепловідвідні та комбіновані. Важливу роль у профілактиці перегрівання відіграють засоби індивідуального захисту. Спеціальний одяг має бути повітро- та вологопроникним, зручного крою та виготовленим з натуральних матеріалів. Для роботи в екстремальних умовах застосовують спеціальні костюми з

металізованих тканин. Для захисту голови використовують каски та повстані головні убори, для очей — захисні окуляри, для обличчя — маски з прозорими екранами. Захист від низьких температур забезпечується теплим спецодягом, а під час опадів — плащами та гумовими чоботами. На непостійних робочих місцях температура повітря у холодний період року повинна становити від двадцяти до двадцяти шести градусів Цельсія, а в теплий період року допускається підвищення температури до двадцяти восьми — тридцяти градусів Цельсія. Інтенсивність теплового опромінення від нагрітих поверхонь обладнання, освітлювальних приладів та інсоляції через засклені огороження не повинна перевищувати тридцяти п'яти ват на квадратний метр при опроміненні половини або більшої частини поверхні тіла, сімдесяти ват на квадратний метр при опроміненні від чверті до половини поверхні тіла та ста ват на квадратний метр при опроміненні не більше чверті поверхні тіла працівника [4].

За наявності джерел випромінювання з інтенсивністю тридцять п'ять ват на квадратний метр і більше температура повітря на постійних робочих місцях не повинна перевищувати верхніх меж оптимальних значень для теплового періоду року, а на непостійних — верхніх меж допустимих значень для постійних робочих місць. Мікроклімат виробничих приміщень є одним із визначальних чинників, що впливає на самопочуття, стан здоров'я та працездатність працівників. Він формує умови внутрішнього середовища, в яких відбувається теплообмін організму з навколишнім середовищем шляхом конвекції, теплопровідності, теплового випромінювання та випаровування вологи. Параметри мікроклімату характеризуються значною мінливістю та нерівномірністю як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямках, що зумовлено особливостями технологічних процесів, кліматичними умовами місцевості, конструктивними рішеннями будівель та організацією повітрообміну. Визначальним метеорологічним фактором є температура повітря, вплив якої може як посилюватися, так і послаблюватися іншими параметрами мікроклімату. Сукупна дія цих чинників може мати синергічний або

антагоністичний характер, що визначає загальний рівень впливу мікроклімату на організм людини [4, 12].

## ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз сучасних підходів до вивчення проблеми міського мікроклімату з метою узагальнення ключових чинників, що формують мікроклімат у міському середовищі.

2. Встановлено, що визначальними чинниками формування міського мікроклімату є не лише географічні особливості міст, але й щільність забудови, екологічний стан території, теплові характеристики будівель, а також вплив зелених насаджень і водних об'єктів.

3. Сучасне моделювання міського мікроклімату ґрунтується на інтегрованому, багаторівневому та системному підході, оскільки оптимізація мікрокліматичних умов у містах є складним і багатогранним завданням, що потребує врахування різних чинників на кількох рівнях.

4. Виявлено недостатній рівень практичного впровадження накопичених наукових знань і результатів досліджень у сфері проєктування та будівництва, а також наголошено на необхідності розроблення нормативних засад формування міського мікроклімату.

5. За останні шість десятиліть у Львові спостерігається чітка тенденція до потепління: середньорічна температура повітря зросла приблизно на одну цілу одну десяту градуса Цельсія. Найбільше підвищення зафіксовано для середньомісячних температур зимових і літніх місяців, зокрема січня, лютого, липня та серпня, де приріст перевищив півтора градуса.

6. Абсолютні мінімальні значення температури повітря за аналізований період істотно не змінилися, як і загальна річна кількість атмосферних опадів, що свідчить про відносну стабільність цих кліматичних показників.

7. Очікується, що впродовж наступних десятиліть темпи підвищення температури збережуться й навіть посиляться: середньорічна температура може зрости більш ніж на три градуси Цельсія протягом найближчих восьми десятиліть.

8. У середньорічному вимірі кількість опадів імовірно дещо зменшиться, водночас прогнозується зростання частоти та інтенсивності

екстремальних погодних явищ, зокрема злив, буревіїв і тривалих посушливих періодів.

9. Підвищення температури повітря сприятиме інтенсивнішій евапотранспірації, що зумовить дефіцит вологи в атмосфері та ґрунтах, а також зменшення водності річок і дебіту джерел, особливо в літній період.

10. Скорочення водних ресурсів призведе до зростання концентрації забруднювальних речовин у поверхневих і підземних водах та посилення водного стресу для живих організмів, передусім рослин.

11. На тлі кліматичних змін зростатиме значення лісових і болотних екосистем як природних регуляторів клімату та водного режиму території.

12. Потепління створюватиме сприятливі умови для поширення інвазійних видів, у тому числі нових для регіону, що може негативно впливати на місцеве біорізноманіття.

13. Зміна температурного режиму зумовить скорочення енергоспоживання на опалення будівель у зимовий період і водночас збільшення витрат енергії на охолодження влітку.

14. Зелені зони міста — присадибні ділянки, парки, сквери та вуличні насадження — потребуватимуть частішого поливу в літні місяці через дефіцит вологи.

15. Посилення ефекту міського острова тепла сприятиме накопиченню забруднювальних речовин у приземному шарі повітря, що може негативно позначатися на якості атмосферного повітря та умовах проживання населення.

## ПРОПОЗИЦІЇ

З метою підвищення рівня комфорту міського середовища та покращення мікрокліматичних характеристик доцільно реалізувати такі заходи:

✓ застосовувати адаптовані архітектурно-планувальні рішення, зокрема враховувати колірні та матеріальні властивості поверхонь будівель, просторову організацію висотної забудови, а також використовувати зелені покрівлі й вертикальні системи озеленення;

✓ забезпечувати раціональне міське планування шляхом дотримання вимог зонування, зменшення негативного впливу об'єктів, що трансформують навколишнє середовище, а також підвищення логістичної, виробничої та екологічної ефективності територій;

✓ посилювати роль зеленої інфраструктури в структурі міста, зокрема шляхом збільшення площ озеленення в районах із їх дефіцитом та покращення стану наявних зелених насаджень;

✓ інтегрувати водні елементи, такі як водойми та фонтани, у громадські міські простори;

✓ удосконалювати системи управління транспортними потоками з метою зниження навантаження на міське середовище;

✓ впроваджувати інноваційні технології та сучасні підходи в процесі містобудівного проектування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Артамонов Б. Б. Аналіз впливу мікрокліматичних зон на процеси клімато-утворення у містах в умовах глобальної зміни клімату. Науковий вісник НЛТУ України, 23, 2013. С. 133–137.
2. Артамонов, В. В., Василенко М. Г., Міхно П. Б. Землепорядні аспекти формування екологічного каркасу оптимального агроландшафту. Зб. наук. пр. НУК. Миколаїв : НУК, 2018. № 1–2 (473). С. 32–36.
3. Водчиць О.Г., Затула В.І. Основи метеорології і кліматології: Навч. посібник. Київ: НАУ, 2017. 360 с.
4. Гасило Ю. А., Крюковська О. А., Левчук К. О., Романюк Р. Я. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник. Кам'янське : ДДТУ, 2017. 369 с.
5. Гнатів П. С., Бальковський В. В., Лопотич Н. Я., & Дацко Т. М. Техно- й урбосистеми: методологічні підходи до оцінювання стану урбанізованого довкілля. Науковий вісник НЛТУ України, 2019. (29, № 5), 82-87.
6. Затула В.І. Регіональні особливості співвідношення кількості атмосферних опадів в весняно-літнє та осінньо-зимове півріччя в Україні. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2015. Т. 4(39). С. 32-40.
7. Затула В.І., Затула Н.І. Регіональні особливості показника нерівномірності випадіння атмосферних опадів в Україні. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2015. Т. 3(38). С. 100-108.
8. Зміна клімату міста Львова: ретроспективна та перспективна характеристики. URL: <https://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geography/article/view/13664/14209>
9. Климчик О. М., Кучерук В. М. Альтернативні системи озеленення для забезпечення теплового комфорту мікроклімату міста. Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку : матеріали ІХ Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф., 04–15 листоп. 2019 р. Ірпінь : Ун-т ДФС України, 2019. С. 264–267.

10. Ковжога С. О., Тузіков С. А., Карманний Є. В., Зенін А. П. Цивільний захист і охорона праці в галузі : навч. посіб. Хпрків, Нац. ун-т «Юрид. акад. України імені Ярослава Мудрого», 2019. 192 с.
11. Козятник І. П. Планувальна організація житлових територій із застосуванням методів регулювання теплового режиму мікроклімату : дис. канд. арх. наук Київ, 2015. 194 с.
12. Кравченко Л. В., Сусло Л. В. Охорона праці в галузі : навч. посіб. МОН України, Уманський держ. пед. ун-т імені Павла Тичини. Умань : Візаві, 2020. 188 с.
13. Кучерявий В. П. Озеленення населених місць. Львів : «Новий Світ-2000», 2020. 666 с.
14. Кучерявий В. П. Урбоекологія. Львів : «Новий Світ-2000», 2021. 460 с.
15. Львів. URL:  
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%8C%D0%B2%D1%96%D0%B2>
16. Ляшенко Г.В., Данілова Н.В. Практикум з мікрокліматології: навч. посібник. Одеса: ТЕС, 2016. 220 с.
17. Оцінка вразливості та заходи з адаптації до зміни клімату. URL:  
[https://necu.org.ua/wp-content/uploads/ad\\_Lviv\\_City\\_A4.pdf](https://necu.org.ua/wp-content/uploads/ad_Lviv_City_A4.pdf)
18. Паньків Р. П., Кость М. В., Сахнюк І. І., Майкут О. М., Мандзя О. Б., Навроцька І. П., Козак Р. П. Геохімічні особливості ґрунтових вод в межах території львівського прогину. Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. 2016. № 1(18). С. 23–30.
19. Пожарова О. В. Охорона праці : навч. - метод. посібник. Одеса, 2021. 80 с.
20. Поліщук, І. С. Екологічна оцінка впливу забудови на мікроклімат міста : кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 101 "Екологія" / наук. кер. О. В. Медведєва ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - 35 с.

21. Решетченко А. І., Телюра Н. О., & Коновалов А. В. Підвищення екологічної безпеки урбосистем при реалізації будівельної діяльності на засадах сталого розвитку. Науковий вісник будівництва, 2020. 1(109), С. 37-41.
22. Сучасні проблеми урбоекосистем : зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф. (1-2 жовтня 2020 р., Кам'янець-Подільський) / за заг. ред. О.І. Любинського. Кам'янець-Подільський: ТОВ «Друкарня «Рута», 2020. 168 с.
23. Церковна О.Г. Фонтани – специфічні споруди, що формують мікроклімат міського середовища. Науковий журнал «ЛОГОС. The art of scientific mind». Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа», 2019. № 2. С. 24–27
24. Шемберко Т.В. Житло в гармонії з природою. Крок у науку. 2015. №1. с. 40–55.
25. Щербань І. Особливості температурного режиму Канева в сучасних кліматичних умовах. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія. 1 (63). Київ : ВПЦ «Київський університет», 2015. С. 31–33.
26. Янковська Л. Екологічні проблеми урбосистем у різні історичні періоди. Сучасні проблеми урбоекосистем: зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф. (1-2 жовтня 2020 р., Кам'янець-Подільський). Кам'янець-Подільський : Друкарня «Рута», 2020. С.159-163.
27. Climate change: global temperature. URL: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>
28. Factors affecting microclimatic conditions in urban environment. URL: [https://www.researchgate.net/publication/350183464\\_Factors\\_affecting\\_microclimatic\\_conditions\\_in\\_urban\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/350183464_Factors_affecting_microclimatic_conditions_in_urban_environment)
29. Improving the microclimate in urban areas: A case study in the centre of Athens. URL: [https://www.researchgate.net/publication/231590014\\_Improving\\_the\\_microclimate\\_in\\_urban\\_areas\\_A\\_case\\_study\\_in\\_the\\_centre\\_of\\_Athens](https://www.researchgate.net/publication/231590014_Improving_the_microclimate_in_urban_areas_A_case_study_in_the_centre_of_Athens)

30. Microclimate, an important part of ecology and biogeography. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/geb.13834>
31. Schmidli J., Quimbayo-Duarte J. Diurnal Valley Winds in a Deep Alpine Valley: Model Results. *Meteorology*. 2023. Vol. 2, Iss. 1. P. 87–106. DOI: <https://doi.org/10.3390/meteorology2010007>
32. What is a microclimate? URL: <https://www.clementgaillard.com/en/articles/blog-en/bioclimate-design/what-is-a-microclimate>
33. What Is A Microclimate? What Causes Microclimates To Form? URL: <https://tempest.earth/resources/what-is-a-microclimate/>
34. What Is Climate Change? URL: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>
35. Zatula V.I., Kyhtenko Ya.V., Oliinyk R.V., Snizhko S.I. Evaluation of atmosphere clearness and cloudiness parameters in the southern regions of Ukraine using statistical analysis. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. 2021. Vol. 55. P. 159-173. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-12>
36. Zatula V.I., Zatula N.I., Symonets T.S. Observation and forecasting of thunderstorms in the modern practice of advisory of Kyiv International Airport (Zhuliany). *Conference Proceedings, Geoinformatics, May 2021*. Vol. 2021, p.1- 6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521076>