МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МЕТЕОРОЛОГІЇ ТА КЛІМАТОЛОГІЇ

На правах рукопису
УДК 551.584.5

ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМУ ВОЛОГОСТІ В РІЗНИХ ЛОКАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗОНАХ МІСТА ПОЗНАНЬ

Галузь знань **10 – Природничі науки**

Спеціальність **103 – Науки про Землю**

Освітня програма **Метеорологія**

Кваліфікаційна робота бакалавра
студентки 4-го курсу
освітнього рівня бакалавр
Квашніної Аліси Андріївни

Науковий керівник:
д.геогр.н. проф. Шевченко Ольга Григорівна,

Допустити до захисту:
завідувач кафедри, д. геогр. н., проф. Сніжко С. І.
“____”_____ 2024 р.

Київ – 2024

РЕФЕРАТ

У роботі розглянуто питання особливостей режиму вологості в різних локальних кліматичних зонах (ЛКЗ) міста Познань.

На основі сучасних досліджень охарактеризовано особливості клімату великого міста та розкрито концепцію локальних кліматичних зон. Для виконання задач даної роботи, було використано значення температури та вологості повітря у 2008–2017 рр. для трьох метеорологічних станцій (МС), розташованих у Познані. МС Лавіца розташована у ЛКЗ-D – зоні низькорослих рослин, МС Пекари – у ЛКЗ-2 – щільна середньоповерхова забудова і МС Руса розташована у ЛКЗ-5 – середньоповерхова забудова з низькою щільністю. Встановлено, що середні річні значення відносної вологості повітря у місті Познань варіювалися від 75.1% на МС Лавіца до 79.1 % на МС Руса. Найвищі середні значення зафіксовано взимку, а найнижчі – влітку. У зимовий період на всіх трьох МС відносна вологість повітря є високою і перевищує 86%. Навесні значення варіюються в межах 69.3–73.5 %, влітку – 67.8–72.8 %. Показано, що діапазон значень відносної вологості є найвищим у травні, червні та липні. В місті (МС Руса та МС Пекари) діапазон становить 79–83%, а на станції Лавіца у ці ж місяці діапазони значень є дещо вищими та коливаються в межах 83–85%. Найменша амплітуда значень відносної вологості спостерігалась у грудні – діапазон становив близько 27% на міських МС, а на станції Лавіца – 37%.

На основі розрахунку різниць значень відносної вологості між МС Лавіца та Руса та між МС Лавіца та Пекари встановлено, що відносна вологість була вищою у місті. У відсотковому розподілі різниць значень відносної вологості між станціями Лавіца та Пекари 0,4% різниць були рівні нулю, 39,7% мали додатній знак, 59,9% – від'ємний, між МС Лавіца та Руса – 0,4% значень були рівні нулю, 26,5% мали додатній знак і 73,1% – від'ємний.

Ключові слова: локальні кліматичні зони, Познань, режим вологості, особливості клімату міста.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……4

РОЗДІЛ 1. КЛІМАТ ВЕЛИКОГО МІСТА ТА КОНЦЕПЦІЯ ЛОКАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗОН……..……6

1.1 Особливості радіаційного балансу та термічного режиму міста……....6

1.2 Поле вологості……13

1.3 Хмарність та режим опадів……16

1.4 Особливості поля вітру великого міста……17

1.5 Локальні кліматичні зони……..…….22

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ……..……..26

2.1 Характеристика території дослідження……....26

2.2 Вихідні дані та методика дослідження……27

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ВІДМІННОСТЕЙ РЕЖИМУ ВОЛОГОСТІ В РІЗНИХ ЛОКАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗОНАХ МІСТА ПОЗНАНЬ……..……..….30

3.1. Характеристика режиму вологості у місті Познані……...….30

3.2. Особливості режиму вологості в межах різних ЛКЗ міста Познань……32

ВИСНОВКИ……..…….……46

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……...……...48

ВСТУП

Актуальність. У Польщі понад 60% населення проживає в містах. Найбільші міські центри Польщі включають Варшаву, Краків, Лодзь, Вроцлав, Познань і Гданськ. За останні десятиліття ці міста пережили значне зростання та розвиток. Зросла економічна діяльність, відбувся розвиток міської інфраструктури. Разом із розвитком міст відбуваються значні зміни у компонентах природного середовища міст. Заміна природних діяльних поверхонь штучними у містах та активна людська діяльність спричинюють те, що на території великих міст встановлюється особливий клімат, який, перш за все, проявляється у формуванні острову тепла, відмінностей режиму вітру та вологості. Клімат міста є цікавим предметом дослідження не лише з точки зору отримання наукових знань про його особливості, а й з огляду на можливості їхнього практичного використання для підвищення комфортності міст для проживання.

Метою роботи є вивчення особливостей режиму вологості в різних локальних кліматичних зонах міста Познань.

Для досягнення мети були визначення завдання:

- за результатами сучасних досліджень визначити особливості клімату великого міста та охарактеризувати концепцію локальних кліматичних зон;

- здійснити збір та первинну обробку даних про відносну вологість у місті Познань;

- охарактеризувати режим вологості міста Познань;

- встановити відмінності режиму вологості в межах різних ЛКЗ міста Познань.

Об’єктом дослідження є режим вологості міста Познань.

Предметом дослідження є закономірності перебігу атмосферних процесів, що відбуваються в граничному шарі атмосфери, над територією міста та чинників, що впливають на формування особливостей режиму вологості міста Познань.

Матеріали та методи – у роботі використані добові дані температури та вологості повітря в 2008-2017 роках на трьох метеорологічних станціях міста Познань. Класифікацію локальних кліматичних зон Познані здійснено за допомогою алгоритму протоколу WUDAPT (World Urban Database and Tools Portal).

Структура кваліфікаційної роботи – вступ, три розділи, висновки та перелік використаних джерел (38 найменувань). У роботі наведено 20 рисунків, 2 таблиці. Загальний обсяг роботи 51 сторінка.

РОЗДІЛ 1. КЛІМАТ ВЕЛИКОГО МІСТА ТА КОНЦЕПЦІЯ ЛОКАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗОН

1.1 Особливості радіаційного балансу та термічного режиму міста

Радіаційний баланс будь-якої поверхні може бути визначеним за наступним рівнянням:

$$Q^* = K^* + L^* = K_\downarrow - K_\uparrow + L_\downarrow - L_\uparrow \quad (1.1)$$

Де

Q^*, K^* та L^* – це бюджет загального, короткохвильового та довгохвильового діапазону спектру відповідно.

$K_\downarrow$ – сумарна сонячна радіація (пряма і розсіяна)

$K_\uparrow$ – сонячна радіація відбита від активної поверхні

$L_\downarrow$ – довгохвильове випромінювання атмосфери, спрямоване до поверхні Землі

$L_\uparrow$ – довгохвильове випромінювання, спрямоване від активної поверхні вгору [26].

Радіаційний режим великого міста формується в результаті взаємодії атмосферних процесів та характеристик міського середовища. Вплив міста на радіаційний баланс можна узагальнити у трьох аспектах. По-перше, забруднення атмосфери впливає на зменшення прямої сонячної радіації, що доходить до земної поверхні. Дослідження показують, що великі міста відрізняються значними варіаціями в надходженні сонячної радіації до земної поверхні. Забруднення атмосфери призводить до послаблення прямої сонячної радіації, що особливо помітно в промислових містах. У Києві спостерігається різниця в інтенсивності радіації між різними районами міста, а найбільше послаблення спостерігається при низьких кутах падіння сонячних променів (схід та захід). Послаблення прямої

сонячної радіації у містах призводить до перерозподілу видів сонячної радіації та відображає просторову неоднорідність забруднення атмосфери у межах міста.

По-друге, особливості геометрії міста впливають на розподіл радіаційних компонентів (рис. 1.1). Якщо спрощено розглядати відбиття одного променя сонячної радіації у двомірній площині, то це виглядатиме наступними чином: отримання прямого пучка випромінювання через вершину каньйону (рис. 1.1, а), перше відбиття від граней каньйону (рис. 1.1, б), подальше перевідбивання (рис. 1.1, в). Дослідження підтверджують, що геометрія міста здійснює суттєвий вплив на розподіл радіаційних компонентів. Висота будинків, однорідність висоти міської забудови, щільність забудови та орієнтація вулиць відносно сторін горизонту визначають рівень відбивання та поглинання сонячної радіації в міському середовищі.

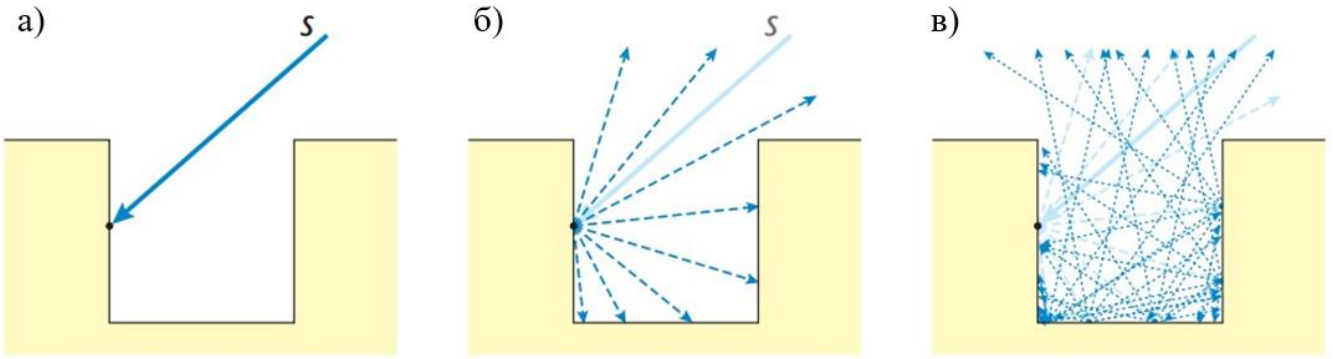


Рис. 1.1. Вплив геометричних особливостей міста на розподіл радіаційних компонентів [26]

Врахування геометричних особливостей міста є важливим при моделюванні теплового режиму та урбометеорологічних дослідженнях для вдосконалення кліматичного комфорту та енергоефективності у міських середовищах. Основними параметрами є співвідношення висоти до ширини каньйону (Height/Width (H/W) –

англ.), довжина каньйону, його орієнтація та фактор відкритого неба (ФВН). Співвідношення висоти до ширини відображає секційні пропорції каньйону, довжина каньйону відображає відстань між перетинами вулиці, а ФВН відображає ступінь відкритості небосхилу. Ці параметри важливі для розуміння розподілу сонячної радіації та інших аспектів міського клімату. Для складних геометричних структур використовуються спеціалізовані програмні засоби для розрахунку фактора відкритого неба [10].

І, по-третє, альбедо штучних міських поверхонь відрізняється від альбедо природних поверхонь (рис. 1.2). Урбанізовані території міст характеризуються низьким альбедо штучних поверхонь, що призводить до поглинання більшої кількості сонячної радіації та підвищення теплового навантаження. Оцінка інтегрального альбедо міських районів вимагає урахування не лише альбедо підстильної поверхні, але і характеристик окремих "граней" забудови, що може змінюватися в залежності від будівельних матеріалів, кольору, ступеня заскленості та інших факторів. На рис. 1.2 зображено вплив міської геометрії на інтегральне альбедо міських районів. Значення отримані за допомогою моделі, виготовленої з бетонних блоків, покладених на основу з того самого матеріалу, і за якими проводили спостереження протягом року. Зі збільшенням H/W альбедо поверхні зменшується і спостерігається збільшення поглинання [10].

За даними Т. Оке, середнє значення альбедо міста є на 15 % нижчим від альбедо сільської місцевості. Оцінка інтегрального альбедо міської забудови є важливим для урбометеорологічних досліджень та може бути здійснена за допомогою поєднання вимірювань на місцевості, даних з літаків та супутників, а також моделювання перенесення та поглинання сонячної радіації.

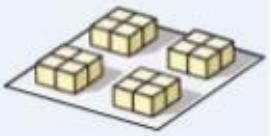
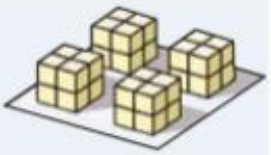
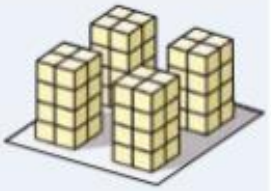
Форма забудови	H/W	λ_c	Альбедо α	Зміна поглинання
	0	1	0.40	
	0.5	1.5	0.32	+17%
	1	2	0.27	+21%
	2	3	0.23	+27%

Рис. 1.2. Вплив міської геометрії на інтегральне альбедо міста [26]

Тепловий баланс будь-яких територій визначається їх радіаційним балансом. Рівняння теплового балансу для міських територій виглядає наступним чином:

$$Q_N = Q_I(1 - A) + Q_{L\downarrow} - Q_{L\uparrow} = Q_S + Q_H + Q_E + Q_P \qquad (1.2)$$

Де

Q_N – сумарний радіаційний баланс,

Q_I – низхідне короткохвильове випромінювання, що досягає поверхні землі,

$Q_{L\downarrow}$ – низхідне довгохвильове випромінювання,

$Q_{L\uparrow}$ – висхідне довгохвильове випромінювання,

Q_S – потік тепла в ґрунт (або інше середовище),

Q_H – перенесення тепла між атмосферою та поверхнею землі,

Q_E – втрати тепла на випаровування з поверхні землі чи його накопичення за рахунок процесів конденсації

Q_P – антропогенне тепло [10].

Дослідження показують, що температура біля поверхні землі в містах зазвичай вища, ніж у сільській місцевості, і ця різниця прямо залежить від розміру міста. Це явище, відоме як міський острів тепла (Urban Heat Island, UHI). Міський острів тепла (МОТ) — це явище, при якому температура у місті вища, ніж у навколишніх сільських районах. Цей термін був введений Л. Говардом у 1818 році для опису цього феномену в Лондоні. Одним із методів підтвердження існування міського острова тепла є порівняння температурних даних до і після побудови міста. Однак це рідко можливо, тому зазвичай аналізуються різниці температур між містом та прилеглими сільськими територіями [10].

До формування міського острова тепла призводять наступні чинники:

1. Поверхні міста мають нижче альбедо, ніж природні покриття.

2. Місто має менше випаровування, оскільки більша частина сонячної енергії поглинається будівлями та асфальтом.

3. Забруднене міське повітря знижує прозорість атмосфери, що зменшує пряме сонячне випромінювання і нічне охолодження.

4. Велика кількість енергії, витраченої на потреби міста, нагріває повітря і ґрунти.

5. Забудовані території утворюють зони застою повітря, що перешкоджають тепловіддачі і турбулентному перемішуванню повітря.

Серед факторів, що впливають на формування міського острова тепла, основними є перші два, тоді як інші мають менший вплив [10].

Структура острова тепла кожного міста є унікальною, оскільки залежить від його конфігурації. Наприклад, парки та зелені зони знижують температуру, а бізнес-центри, промислові зони та густонаселені райони її підвищують. Кожна

будівля і дорога змінюють мікроклімат навколо себе, сприяючи формуванню загальноміського острова тепла [10].

У більшості міст щільність забудови зростає ближче до центру, що збільшує споживання теплової енергії, тоді як площа зелених зон зменшується. Це створює типовий розподіл температури з максимумом в центрі та мінімумом на навітряних територіях.

Дослідження свідчать, що тепловий вплив міста проявляється в межах нижнього шару атмосфери на висоті 100-500 метрів, а іноді до 1500 метрів. Острів тепла може існувати як на міських поверхнях, так і в атмосфері над містом [10].

Виділяють три види островів тепла: поверхневий, піддахового шару та у граничному шарі атмосфери.

На інтенсивність острова тепла впливають кілька факторів:

1. Погода: Вітер і хмарність суттєво впливають на розмір острова тепла. За тихої ясної погоди він найбільший, а при збільшенні швидкості вітру відбувається перемішування повітря і зниження температури. Певна швидкість вітру може повністю знищити острів тепла.

2. Географічне розташування: Впливає через клімат регіону, включаючи напрямки і швидкість вітру та режим хмарності. У прибережних містах можуть виникати бризові циркуляції, що знижують температуру.

3. Пора року та час доби: Вдень різниця температур між містом і передмістям мінімальна, а максимальна – через 2–3 години після заходу сонця. У великих містах острів тепла зберігається до світанку, підвищуючи мінімальну ранкову температуру.

4. Функції міста і людська діяльність: Впливають прямо і опосередковано. Прямий вплив пов’язаний з виділенням тепла від опалення, транспорту і промисловості. Непрямий вплив – через викиди парникових газів, таких як CO2, що сприяє формуванню міського парникового ефекту.

5. Форма і розміри міста: Чим більше місто, тим більша інтенсивність острова тепла через збільшення господарської діяльності.

6. Рельєф: інтенсивність острова тепла залежить від особливостей рельєфу.

7. Водні об’єкти: вода має низьке альбедо і високу теплоємність, повільно нагрівається і охолоджується, тому є найхолоднішою поверхнею вдень та найтеплішою вночі.

8. Щільність забудови: впливає на інтегральне альбедо території, тепловий баланс і інтенсивність острова тепла.

9. Рослинність: має три напрямки впливу на енергетичний баланс:

- затінює поверхню, перехоплюючи сонячну радіацію;
- частково блокує довгохвильове випромінювання від неба і земної поверхні;
- знижує швидкість вітру та забезпечує вологу через евапотранспірацію [4].

Міські острови тепла мають метеорологічні, екологічні і соціально-економічні наслідки, як позитивні, так і негативні. До метеорологічних наслідків належить формування міської циркуляції – сільського бризу, що рухає повітря від холодних окраїн до теплих центральних частин міста. Це часто призводить до затягування забрудненого повітря з околиць у центр, формуючи забруднений купол [10].

Острів тепла негативно впливає на забруднення атмосфери, сприяючи фотохімічним процесам, що потребують високих температур. Вищі температури в місті збільшують кількість днів з відлигами, що створює незручності для мешканців, додає роботи комунальним службам і негативно впливає на рослини. Після відлиг широко застосовуються реагенти для боротьби з ожеледицею, що призводить до засолення ґрунтів і пригнічення росту рослин. Аерозолі з реагентами подразнюють слизові оболонки очей і верхні дихальні шляхи [10].

Проте, міський острів тепла позитивно впливає на біологічну активність міських рослин, оскільки збільшується тривалість вегетаційного періоду. Це також призводить до скорочення тривалості залягання снігового покриву, його висоти, і

зменшує частоту випадання твердих опадів у зимовий період, що позитивно впливає на міську інфраструктуру. Внаслідок існування острова тепла останні весняні заморозки в центрі міста можуть припинятися на кілька тижнів раніше, а перші осінні — розпочинатися на кілька тижнів пізніше, ніж у передмісті чи сільській місцевості [10].

1.2 Поле вологості

На формування режиму вологості великого міста може впливати значний перелік чинників, включаючи температуру повітря, водний режим підстильної поверхні, режим вітру, наявність рослинності, тощо. Розуміння закономірностей, які впливають на формування режиму вологості у великому місті, може допомогти краще розуміти чинники, які впливають на рівень вологості, і їх взаємодію один з одним. Одним з найважливіших чинників, що впливають на формування особливостей режиму вологості великого міста, є ефект міського острова тепла. У результаті повітря в містах, як правило, сухіше, ніж у сільській місцевості. Наприклад, дослідження показали, що рівень вологості в м. Токіо, Японія, зазвичай нижчий, ніж у сільській місцевості [27].

Рослинність може відігравати значну роль у формуванні рівня вологості в міських районах. Дерева та інші рослини виділяють водяну пару (цей процес відомий як транспірація), що підвищує рівень вологості в навколишньому повітрі. Крім того, рослинність може допомогти зменшити наслідки ефекту міського острова тепла, затіняючи будівлі та інші споруди, що може сприяти зниженню температури та підвищенню рівня вологості.

Близькість території до водойм (озер, річок або океанів), також може впливати на режим вологості. З водойм відбувається випаровування води, що впливає на рівень вологості навколишнього середовища. Крім того, вітри з водойм, переносять вологу далеко від них та збільшують вологість в інших районах міста.

Загалом на формування режиму вологості у великому місті впливає складний комплекс факторів, які можуть змінюватись залежно від місця розташування, часу доби та інших чинників.

Вивчення повітря вологості великого міста є досить складним завданням, перед усім, через структуру міського середовища і мінливість перебігу атмосферних процесів у нижньому шарі міської атмосфери. Основні проблеми, з якими стикаються дослідники під час вивчення вологості у великому місті:

1. Збір даних: отримати точні дані про рівень вологості у великому місті є складно через його розмір та різноманітність міського середовища, де значення вологості різко відрізняються між різними пунктами спостереження.

2. Моделювання рівнів вологості у великому місті ускладнюється через унікальність міського оточення, що потребує урахування різноманітних факторів, таких як температура, вітровий режим та вплив будівель і споруд на обмін повітрям.

3. Велике місто зазнає впливу різноманітних чинників, таких як температура, вітровий режим і опади, що робить складним розуміння їх взаємодії.

Згідно з результатами досліджень, місто може виглядати як сухіша місцевість, яка характеризується нижчою відносною вологістю повітря. Це викликано підвищенням температури повітря в місті, а також швидшим стіканням дощової води в каналізаційну систему, що призводить до зменшення випаровування з горизонтальних поверхонь, наприклад, вулиць, площ тощо [19]. Зазвичай вдень у теплу пору року вологість повітря в сільській місцевості вища, ніж у місті, через активне випаровування зелених насаджень. Однак ночі в місті, зокрема при наявності міського острова тепла, можуть характеризуватися більш високими значеннями. Це пов'язано з інтенсивнішою конденсацією у сільській місцевості, що зменшує вміст водяної пари в приземних шарах повітря [14, 26].

Явище, коли вологість повітря у місті знижена, порівняно з сільською місцевістю, називається сухим островом або міським островом сухості (МОС). Через високі темпи урбанізації в Китаї МОС також були зафіксовані в деяких

великих китайських містах, включаючи Шанхай, Пекін і Увей. На прикладі Пекіну було доведено, що міське середовище може знижувати відносну вологість [22]. Одне із досліджень у Шанхаї показало, що МОС завжди супроводжується явищем міського острову тепла [36, 35].

П. Янг та ін. [35] на основі строкових даних у Пекіні встановили, що відносна вологість в місті нижча, ніж у приміських районах, що вказує на вплив урбанізації на вологість повітря в нижньому шарі атмосфери. Інтенсивність міських островів сухості є високою в центральних міських районах, при цьому найсильніші значення інтенсивності МОС спостерігаються восени, а найслабші – навесні. Високі значення інтенсивності МОС зафіксовані ввечері та напочатку ночі наприкінці літа і до середини осені, а низькі – переважно у другій половині дня навесні, взимку та пізньої осені [35].

Однак деякі дослідження описують місто як територію з підвищеною вологістю [20], але цю картину можуть спотворювати місцеві фактори, наприклад, додаткове надходження водяної пари через антропогенні чинники, такі як спалювання палива або інфраструктурні проекти з водопостачання [20, 15].

Результати дослідження просторового розподілу трьох параметрів вологості повітря (відносна вологість, тиск водяної пари та дефіцит вологості) в районі Торуня в 1982 році показали, що найсухішим місцем в Торуні з 5 обстежених пунктів є станція у центрі міста, а найвологішим місцем був пункт, який характеризувався як міська паркова та дачно-садова зона [28]. Різниця у вологості повітря між цими точками за середньорічними значеннями становила 7% і 0,4 гПа для відносної вологості та тиску водяної пари відповідно. Протягом року більші відмінності значень відносної вологості між досліджуваними точками спостерігалися в період з березня по серпень (від 8 до 12%), а менші відмінності в решту періоду року (4–6%). За результатами дослідження відносної вологості в Торуні у 2012 році встановлено, що найнижчі середньорічні значення цього показника спостерігалися в центрі міста (75%), тоді як найвищі значення

фіксувалися в пунктах розташованих у сільській місцевості та у зоні лісів (82%) [28]. Дуже подібні результати були отримані А. Дравською [14] за 1982 рік та Р. Пшибиляком [29] за 2012 рік. За даними обох досліджень відмінності відносної вологості між центром міста та заміською територією становлять 7%. Швидше за все, це пов'язано з тим, що старе місто Торунь майже не зазнало архітектурних змін [28].

1.3 Хмарність та режим опадів

Одним з основних компонентів клімату є режим хмарності та опадів, які не тільки впливають на погоду, але й мають значний вплив на екосистеми та економіку.

Урбанізація призводить до змін у характеристиках підстильної поверхні, що сприяє зміні режиму хмарності. Високі будівлі і щільна забудова створюють умови для посилення турбулентного перемішування повітря, що може призвести до збільшення хмарності над містами. Водночас, викиди забруднюючих речовин у атмосферу сприяють утворенню аерозолів, які є ядрами конденсації для формування хмар.

Міські території також зазнають змін у режимі опадів. Загалом, спостерігається тенденція до збільшення кількості опадів у містах порівняно з навколишніми сільськими районами. Це обумовлено кількома чинниками:

1. Внаслідок ефекту міського острова тепла, середня температура повітря у містах вища, що може сприяти більшому випаровуванню та конвекційній активності, що, в свою чергу, збільшує ймовірність випадання опадів.

2. Антропогенні аерозолі можуть слугувати ядрами конденсації, що сприяє формуванню опадів. Вважається, що нітрати є найактивнішими ядрами конденсації завдяки їх великому розміру та гігроскопічності. Вони сприяють утворенню великих крапель у хмарах, що може викликати дощ за умов достатньої потужності

хмари. Сульфати, які є дуже дрібними, стабілізують хмарність. Вплив забруднення повітря на кількість опадів змінюється залежно від сезону та інших факторів, але взимку він може бути значним, прискорюючи конденсацію вологи в умовах температурної інверсії [10].

У деяких випадках велика кількість гігроскопічних часток у міській атмосфері може зменшувати кількість опадів, оскільки утворюються численні дрібні хмарні частки, які залишаються у повітрі у зваженому стані і не випадають. У містах спостерігаються особливі погодні умови, порівняно з сільськими районами, такі як більша кількість опадів у центральних частинах міст [10].

3. Високі будівлі можуть впливати на потоки повітря, уповільнюючи рух синоптичних систем.

Крім того, існують інші фактори, такі як наявність водойм, промисловість, які також впливають на режим опадів у містах, але їхній вплив ще потребує більш детального дослідження [10].

1.4 Особливості поля вітру великого міста

Дослідження характеристик вітру великих міст розпочалися понад сто років тому, коли В. Кремсер у 1909 році вперше встановив зниження швидкості вітру на урбанізованих територіях, порівняно з приміськими незабудованими зонами у Берліні. Подальші дослідження, проведені у різних містах світу, також підтвердили цю закономірність. У середньому за рік спостерігається зниження швидкості вітру в містах приблизно на 30%, порівняно з їх околицями. Більшість досліджень також вказують на те, що в містах більше безвітряних днів і днів зі слабкими вітрами, які не перевищують 2 м/с, порівняно з сільською місцевістю. Кількість штилів у містах може зростати на 20%. Максимальна швидкість вітру в більшості випадків є на 10–30% нижчою, порівняно з незабудованими територіями. На ділянках з високою забудованістю та всередині груп будівель, які формують замкнуті і напівзамкнуті

внутрішньодворові простори, спостерігається зниження швидкості вітру на 70% і більше [10].

Дослідження вітрового режиму великих міст України показали зниження швидкості вітру порівняно з їхніми околицями. Наприклад, у Києві швидкість вітру протягом доби на більшій частині території в середньому в 0.6–0.7 разів менша, ніж за межами міста. У більшості районів Києва швидкість вітру є у 1.5–2.5 рази більшою, ніж у його центрі. В Харкові відношення швидкості вітру між центром міста та позаміською територією становить 0.7. У Полтаві на центральній та промисловій зоні швидкість вітру менша від 1.5 до 2.0 разів, ніж на околицях. У Львові центральна частина, розташована в улоговині, має найменшу швидкість вітру порівняно з передмістям та іншими районами міста. В Луцьку центральна частина також характеризується меншою швидкістю вітру, аніж околиці. У Дніпрі відношення швидкості вітру у місті до значень за містом змінюється переважно в межах 0.75–0.85. Проте на відкритих частинах території великих міст в окремі години доби швидкість вітру може наближатися до показників у заміській зоні, або навіть бути трохи вищою. Наприклад, це спостерігається на Багриновій горі в Києві, або в певні години доби в Дніпрі на підвищених і добре провітрюваних територіях.

Урбанізовані території характеризуються послабленням швидкості вітру головним чином через кілька причин. По-перше, це пов'язано з вищою шорсткістю міської поверхні порівняно з природними ландшафтами і особливостями рельєфу, що створює пасивні перешкоди для повітряного потоку. Це може спричиняти бокове обтікання міста повітряним потоком та збільшення вертикальної компоненти швидкості вітру. Наприклад, швидкість висхідного потоку в денний час може становити близько 0.3–0.4 м/с, що призводить до зменшення горизонтальної складової швидкості вітру. Крім того, рослинність також впливає на швидкість вітру. Дослідження, проведені у Відні і Нешвілі, показали, що зелені крони дерев можуть зменшувати швидкість вітру на 20–30%, а після опадання листя вітер в середньому посилюється на 25–40%.

Урбанізована територія також відрізняється від сільської місцевості не лише середньою швидкістю вітру, але і вертикальним профілем вітру, що залежить від щільності забудови, висоти будівель, контрастності міського середовища та інші показників [10].

Найпоширенішою моделлю забудови, яка використовується для аналізу змін вітрового режиму в урбанізованому середовищі, є міський каньйон. Перетворення вітрового потоку всередині міського каньйону характеризується наступними закономірностями:

I. У випадку, коли напрямок вітру майже паралельний або повністю паралельний напрямку міського каньйону, повітря, що опускається в каньйон і утворює вторинний потік, збільшує швидкість вітру в каньйоні. Це відбувається згідно ефекту Вентурі: при звуженні трубки швидкість газу зростає пропорційно зменшенню площі її поперечного перерізу.

II. Коли напрямок вітру перпендикулярний напрямку міського каньйону, у каньйоні виникає вихровий потік, що призводить до послаблення швидкості вітру. Вторинний потік може мати різні форми в залежності від характеристик каньйону, такі як співвідношення його висоти до ширини та довжини до ширини.

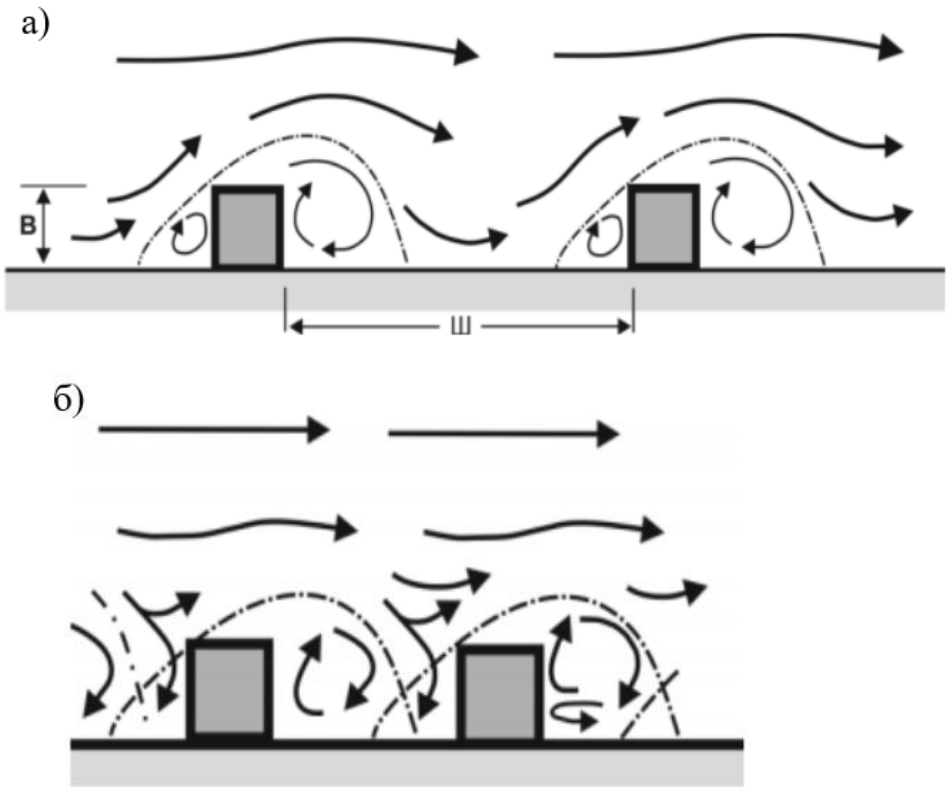
Дослідження свідчать, що в звичайному міському каньйоні, орієнтованому таким чином, що його вісь перпендикулярна до напрямку вітру, можна виділити три різних типи вітрового режиму (рис. 1.3).

1. Ізольовані збурення потоку виникають, коли відстань між будівлями є значною, відношення висоти будівель до їх ширини (H/W) менше 0.3–0.5. У цьому випадку кожна будівля розглядається як окрема перешкода, і циркуляція повітря біля кожної з них незалежна від інших (рис. 1.3, а).

2. Інтерференція повітряних потоків відбувається, коли відстань між будинками в міському каньйоні менша, і відношення висоти забудови до відстані між нею становить від 0.5 до 0.65. В цьому випадку одночасно діють підпираючі вихори з навітряного боку та підвітряні циркуляції, що збільшують турбулентність

під впливом основних потоків. Незважаючи на більшу турбулентність, середня швидкість вітру виявляється нижчою, ніж у випадку більшої відстані між будівлями (рис. 1.3, б).

3. Режим ковзаючого потоку виникає, коли будівлі розташовані дуже близько одна до одної, так що відношення висоти будівель до ширини каньйону перевищує 0.65. У цьому випадку міський каньйон може бути захищеним від прямого впливу вітру, і формується стабільний циркуляційний вихор. Більша частина повітряного потоку не входить в каньйон, а основний потік "ковзає" над будинками, що призводить до слабкого вітру в межах забудови (рис. 1.3, в).



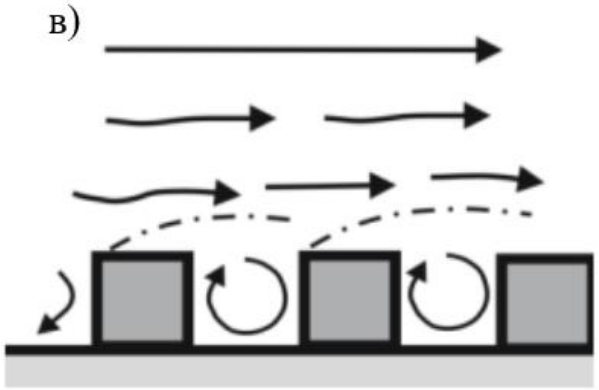


Рис. 1.3. Режими руху повітряного потоку в міському каньйоні у випадку коли напрям вітру є перпендикулярним до його напрямку [24]

Якщо в межах забудови будівлі мають різну висоту, то повітряний потік буде рухатися за наступною схемою: перед високою будівлею потік розділяється, частина повітря підіймається вгору, а інша частина опускається вниз, утворюючи сильний вихор і створюючи високий тиск на будівлю. Підвищені швидкості повітря спостерігаються з боків високої будівлі (рис. 1.4).

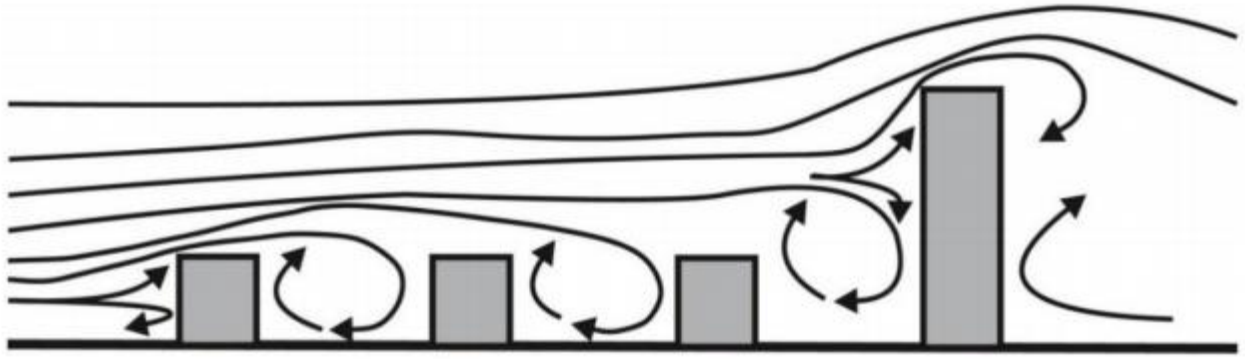


Рис. 1.4. Рух повітря в межах міської забудови різної висоти [10]

Коли повітряний потік потрапляє в ділянку звуження в межах забудови, відбувається збільшення швидкості руху повітря згідно ефекту Вентурі (рис. 1.5).

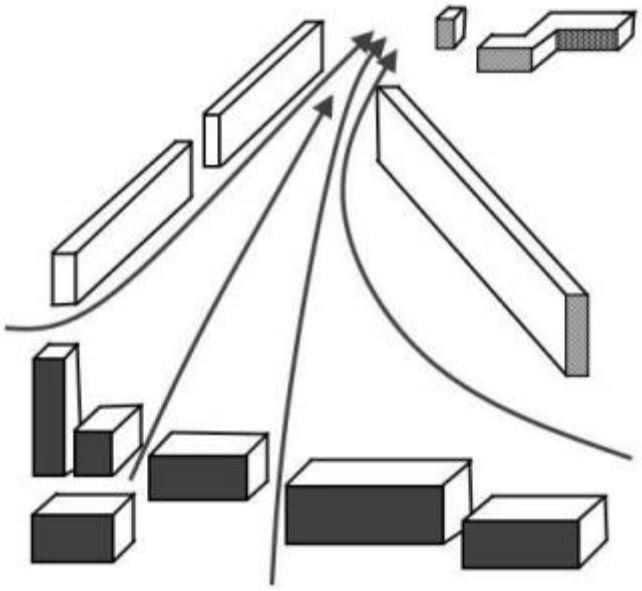


Рис. 1.5. Посилення швидкості руху в межах міської забудови згідно ефекту Вентурі [10]

Отже, в умовах реальної міської забудови спостерігається складна структура вітру, де різноманітні трансформації повітряного потоку відбуваються одночасно. Напрямок і швидкість вітру також можуть значно відрізнятися в різних шарах атмосфери над містом, що залежить від конфігурації забудови та розташування будівель.

1.5 Локальні кліматичні зони

Перші дослідження клімату міст базувалися на порівнянні значень метеорологічних параметрів, виміряних на пунктах спостереження, розташованих у місті, з тими, що знаходяться у передмісті або найближчих селах та містечках. Однак, цей підхід не враховував різницю в структурі забудови та мікроклімату міста, що викликало необхідність у нових методах дослідження. У 60-х роках минулого століття були проведені перші спроби виділити у великих містах окремі райони з урахуванням їх мікрокліматичних особливостей. У 1965 році Т. Чандлер

поділив Лондон на чотири райони з різними кліматичними умовами та типами забудови. Надалі, інші дослідники, такі як А. Ауер, Р. Еллефсент, Ф. Вілмерс, С. Грімонд і Т. Оке, спробували більш детально описати міську морфологію [3]. Їхні роботи зробили внесок у розуміння особливостей міського клімату, проте жодна із запропонованих ними класифікацій не стала загальновизнаною, яка могла б застосовуватися у всіх містах світу.

У 2004 році Т. Оке запропонував концепцію класифікації "міських кліматичних зон", яка враховує сім типів ділянок у місті, від напівсільських до центральних міських територій, а у 2009 році Т. Оке та І. Стюарт розробили більш детальну класифікацію локальних кліматичних зон (ЛКЗ) [3].

ЛКЗ визначаються як території з однорідною підстильною поверхнею, забудовою, що складена однаковими будівельними матеріалами, й на яких реалізується однотипна людська діяльність (рис. 1.6).

Класифікація ЛКЗ складається із 17 класів, в яких виділяється 10 типів забудови: ЛКЗ – 1, 2, 3 – щільна багатоповерхова, середньоповерхова та малоповерхова забудова; ЛКЗ – 4, 5, 6 – зони з невисокою щільністю забудови, відповідно багатоповерхова, середньоповерхова й малоповерхова; ЛКЗ – 7 – зона невисоких будинків, що побудовані з найпростіших будівельних матеріалів – дерева, соломи, гофрованого металу тощо; ЛКЗ – 8 – зона зі спорудами, що займають великий простір; ЛКЗ – 9 – садибна зона; ЛКЗ – 10 – зона важкої промисловості та сім типів земельного покриву (або типів природних поверхонь): ЛКЗ – A – зона високих щільно посаджених дерев, B – зона розрідженої рослинності, C – зона кущів і чагарників, D – зона низькорослих рослин, E – зона транспортної інфраструктури та скелястих гір, F – ґрунт або пісок, G – зона водних об'єктів.

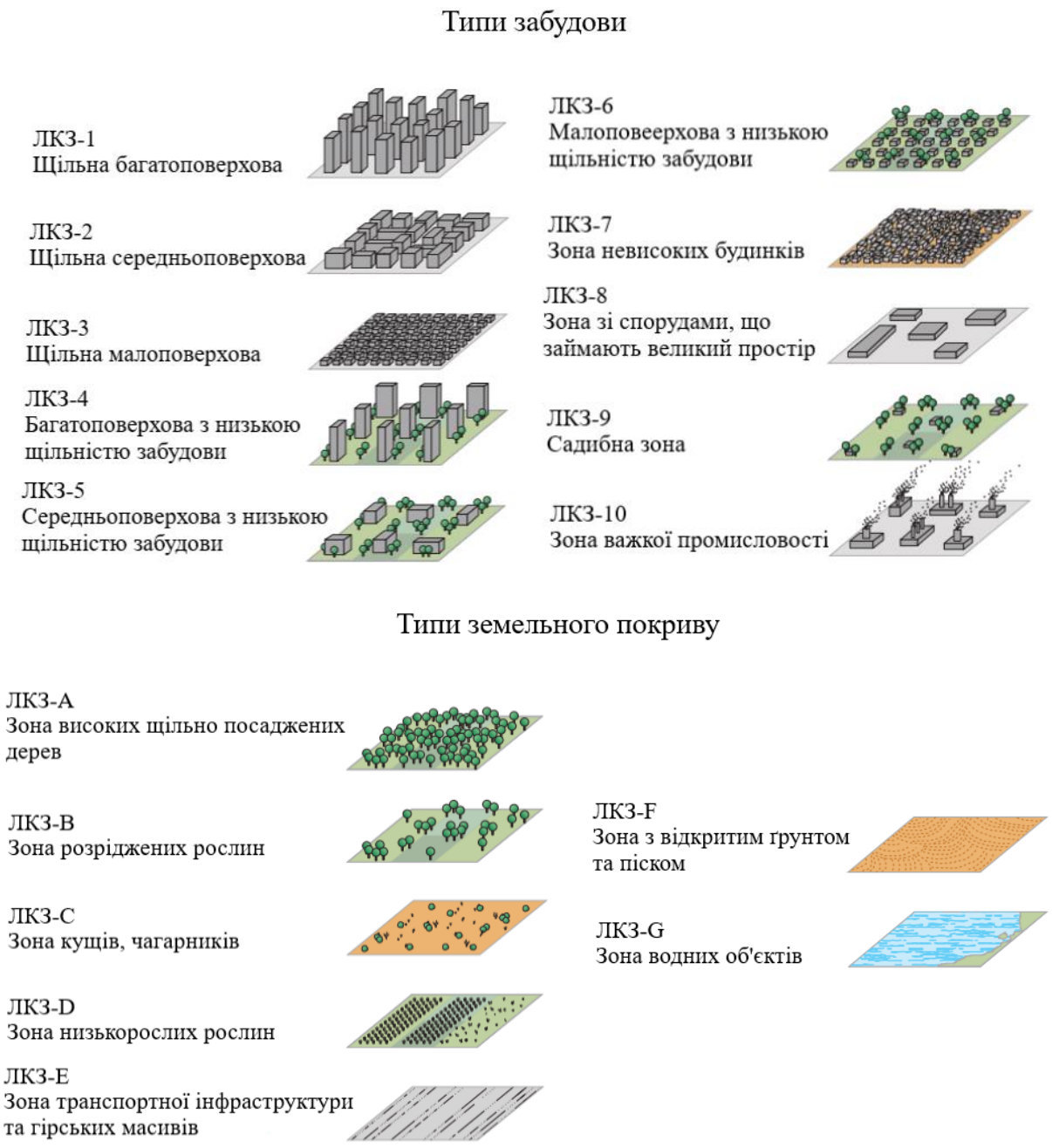


Рис. 1.6. Класи і типи локальних кліматичних зон [26]

Типи земельного покриву додатково класифікуються за сезонними змінами або нетривалими змінами властивостей земельного покриву (тобто, коли поверхня вкривається снігом або мокра земля). Типи ЛКЗ називаються й упорядковуються за однією або кількома ключовими властивостями поверхонь. Їх розрізняють за

значенням фактору відкритого неба; співвідношенням висоти й ширини вуличних каньйонів (ЛКЗ 1–10) та відстані між деревами (ЛКЗ A–D); співвідношенням площі забудови та природних ділянок до загальної площі території; середньою висотою забудови/рослинності та коефіцієнтом шорсткості [3].

Висновки до розділу 1

В даному розділі систематизовано результати досліджень клімату великих міст. Охарактеризовано особливості радіаційного балансу міста та описано особливості термічного режиму; визначено чинники, які впливають на формування особливостей хмарності та режиму опадів міста; проаналізовано вплив міської забудови на поле вітру в різних районах міста. Наведено концепцію локальних кліматичних зон, запропоновану в 2009 році Т. Оке та І. Стюартом. ЛКЗ – це територія з однорідною підстильною поверхнею, забудовою, що складена однаковими будівельними матеріалами, й на яких реалізується однотипна людська діяльність. Класифікація ЛКЗ складається із 17 класів, в яких виділяється 10 типів забудови та сім типів земельного покриву (або типів природних поверхонь). Концепція локальних кліматичних зон на сьогодні є найактуальнішою та найбільш вживаною для вивчення кліматичних особливостей великих міст і саме вона використовувалася в даній роботі для типізації міського простору Познані.

2. Характеристика території дослідження, вихідних даних та методика дослідження

2.1 Характеристика території дослідження

Познань – найбільше місто Великопольського воєводства на заході Польщі (рис. 2.1), в якому проживає 540,2 тис. осіб [38]. За чисельністю населення Познань - п'яте місто в Польщі і восьме – за площею [31]. Місто знаходиться в трьох фізико-географічних мезорегіонах, а саме: Познаньське поозер’я, Вжесінська рівнина та Познанська ущелина річки Варта [32].

Рис. 2.1. Розташування міста Познань на карті Польщі

Згідно з кліматичною класифікацією Кеппена, місто має помірний континентальний клімат, який характеризується теплим літом без посушливого сезону Dfb [16].

Середньорічна температура повітря в Познані становить 9,5 °C (1991–2020 рр.), найвища температура в липні (19,5 °C), а найнижча в січні (-0,4 °C). Середньорічна кількість опадів – 539 мм, найбільше – у липні (84,4 мм), найменше – у лютому (30,7 мм). Через розташування міста найчастіше на погоду мають вплив полярні повітряні маси із заходу (близько 70%); значно рідше зустрічаються полярні континентальні, арктичні і тропічні повітряні маси [18, 23].

Протягом року переважають вітри із заходу. Середня швидкість вітру становить 4,1 м/с і коливається від 3,5 м/с у серпні до 4,8 м/с у березні [33].

2.2 Вихідні дані та методика дослідження

Для виконання задач даної роботи, було використано значення температури та вологості повітря у 2008–2017 рр. для трьох метеорологічних станцій (МС), розташованих у Познані (табл. 2.1, рис. 2.2). Дані були надані кафедрою кліматології Університету Адама Міцкевича в Познані. Температуру та вологість повітря виміряно на висоті 2 м над рівнем землі самописцями HOBO U23-001 з роздільною здатністю 30 хвилин.

Таблиця 2.1. Розташування пунктів спостереження у м.Познані

№	Розташування МС	Географічна широта	Географічна довгота	Локальні кліматичні зони
1	Пекари	52°24’19.96”	16°55’39.60”	Щільна середньоповерхова забудова
2	Лавіца	52°24’59.46”	16°50’4.71”	Низькорослі рослини
3	Руса	52°23’29.65”	16°59’0.75”	Середньоповерхова з низькою щільністю забудови

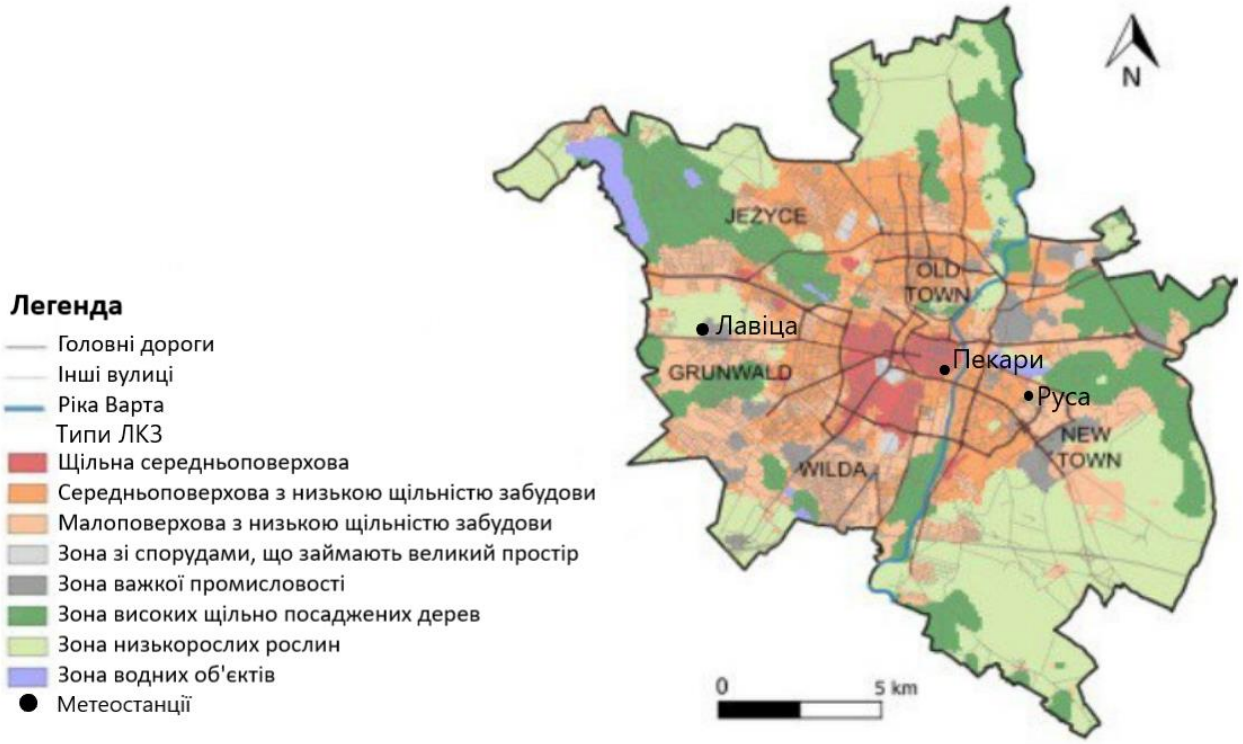


Рис. 2.2 Локальні кліматичні зони Познані [37]

Для обробки даних, обчислень та побудови графіків була використана програма Microsoft Excel 16.0.

МС Лавіца, яка розглядається як сільська місцевість, розташована в аеропорту Познань-Лавіца у західній частині міста. Місцевість в основному рівнинна з низькорослою рослинністю, оточена лісами з півночі та заходу. Згідно класифікації локальних кліматичних зон – це ЛКЗ- D – зона низькорослих рослин.

Станціями, які розглядаються як міські, є Пекари та Руса. МС на вулиці Пекари розташована у центральній частині міста – комерційному та житловому районі. З точки зору щільності забудови, район є типовим для міського середовища, з поєднанням старих і нових будівель, включаючи житлові будинки, офіси та магазини. Згідно класифікації локальних кліматичних зон МС Пекари розташована

у ЛКЗ-2 – щільна середньоповерхова забудова. Ця ЛКЗ характеризується невисокими будівлями з низьким рослинним покривом.

Характерною рисою району станції, розташованої в житловому комплексі Руса у східній частині міста, є середньоповерхова забудова. Житловий комплекс розташований біля озера Мальта, де є залишки фруктових садів. Згідно класифікації локальних кліматичних зон МС Руса розташована у ЛКЗ-5 – середньоповерхова забудова з низькою щільністю. Ця ЛКЗ характеризується невисокими будівлями з великою часткою відкритих просторів і зелені. Саме ця ЛКЗ характерна для більшої частини Познані.

Висновки до розділу 2

В даному розділі наведена коротка характеристика території дослідження – міста Познань, використаних даних та методики. Місто Познань має населення близько 540 тис. Згідно з кліматичною класифікацією Кеппена, місто має помірний континентальний клімат, який характеризується теплим літом без посушливого сезону (Dfb). Середньорічна температура повітря в Познані становить 9,5 °C, річна сума опадів – 539 мм. Переважаючий напрям вітру – західний, середня швидкість – 4,1 м/с. Для виконання задач даної роботи, було використано значення температури та вологості повітря у 2008–2017 рр. за даними трьох метеорологічних станцій, розташованих у Познані. МС Лавіца розташована у ЛКЗ-D – зоні низькорослих рослин, МС Пекари – у ЛКЗ-2 – щільна середньоповерхова забудова і МС Руса розташована у ЛКЗ-5 – середньоповерхова забудова з низькою щільністю.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ВІДМІННОСТЕЙ РЕЖИМУ ВОЛОГОСТІ В РІЗНИХ ЛОКАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗОНАХ МІСТА ПОЗНАНЬ

3.1. Характеристика режиму вологості у місті Познані

Як вже зазначалося, відносна вологість повітря у місті залежить від багатьох чинників. До основних з них належать температура, вітровий режим та характер підстильної поверхні. У місті на неї має вплив характер та щільність забудови, переважаючі штучні типи підстильної поверхні, рух транспортних засобів, відсоток зелених насаджень та водних об'єктів.

Середньорічне значення відносної вологості повітря у місті Познань за 2008–2017 рр. варіювалися від 75,1 на МС Лавіца до 79,1 % на МС Руса (табл. 3.1). Найвищі середні значення зафіксовано взимку, а найнижчі – влітку. У зимовий період на всіх трьох МС відносна вологість повітря є високою і перевищує 86% (86,0–88,9 %). Весна та літо відзначаються зниженням відносної вологості, порівняно з зимою. Навесні значення варіюються в межах 69,3–73,5 %, влітку – 67,8–72,8 %. На станції Лавіца відносна вологість повітря є найнижчою серед усіх трьох МС, різниці середніх за сезон значень вологості між МС Руса та Лавіца варіюються в межах 2,9–5,0 %, а між МС Пекари і Лавіца не перевищують 1,9 %.

Максимальне значення відносної вологості повітря протягом періоду дослідження на всіх метеостанціях становило 100,0 %. Абсолютний мінімум відносної вологості за досліджуваний період на станції Руса – 17,5%, на станції Пекари – 15,5 %, на станції – 14,0 % (табл. 3.1). Варто зазначити, що мінімальні значення вологості на досліджуваних станціях зафіксовані в різні роки та місяці.

Таблиця 3.1. Середні сезонні значення відносної вологості повітря (%) та абсолютні максимальні і мінімальні значення відносної вологості повітря (%) за 2008–2017 рр.

Сезон/МС	Руса	Пекари	Лавіца
зима	88.9	87.9	86.0
весна	73.5	71.2	69.3
літо	72.8	69.7	67.8
осінь	81.3	79.1	77.4
рік	79.1	77.0	75.1
Fмакс	100.0	100.0	100.0
Fмін	17.5 (14.05.2008)	15.5 (09.06.2008)	14.0 (10.03.2014)

Середні місячні значення відносної вологості повітря найвищі у листопаді як у місті, так і поза його межами (рис. 3.1). Найвищі середні значення на станції Руса становлять 91,6%, на станції Пекари – 89,8%, на станції Лавіца – 88,3%. Найменш вологим місяцем є вересень, коли середнє значення відносної вологості становить 66,5% та 64,0% на станціях Руса і Пекари, та менше 63% на станції Лавіца. Загалом відносна вологість повітря протягом року набуває найбільших значень у холодну пору року (з жовтня по лютий), коли середні місячні значення на різних МС міста Познань варіюються від 81,0 до 91,6 %, натомість найнижчі значення спостерігаються у тепле півріччя (з березня по вересень) і знаходяться в межах 62,7–79,5 %.

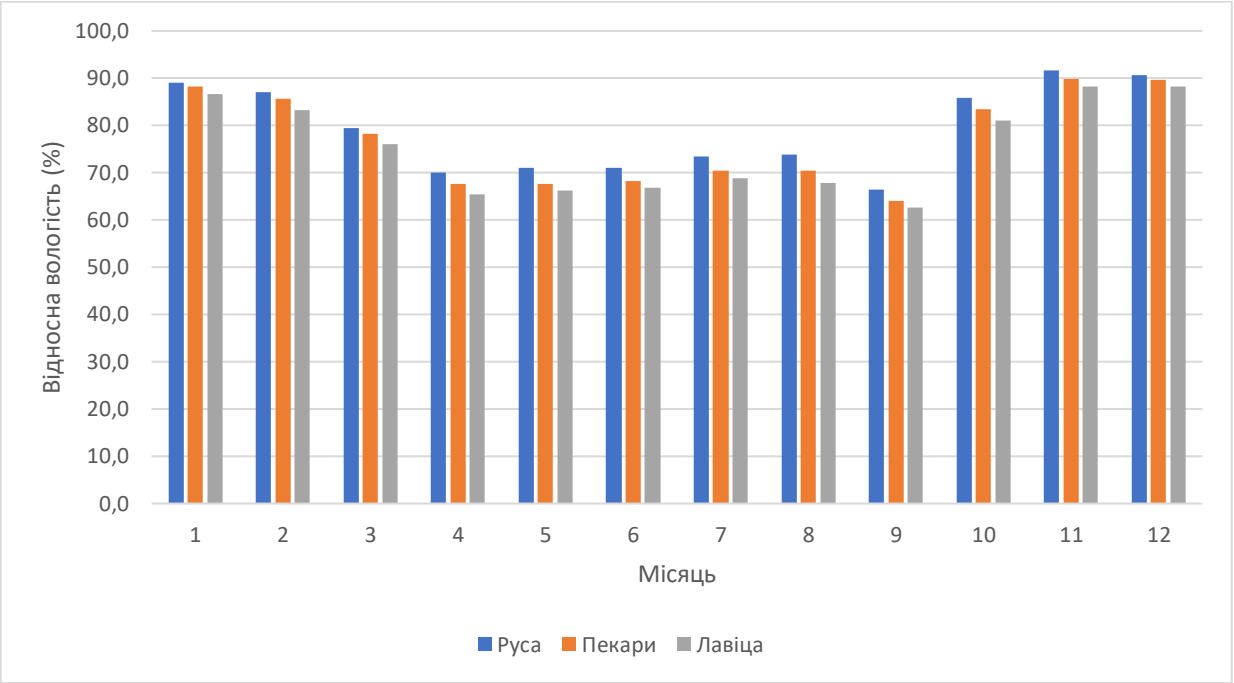
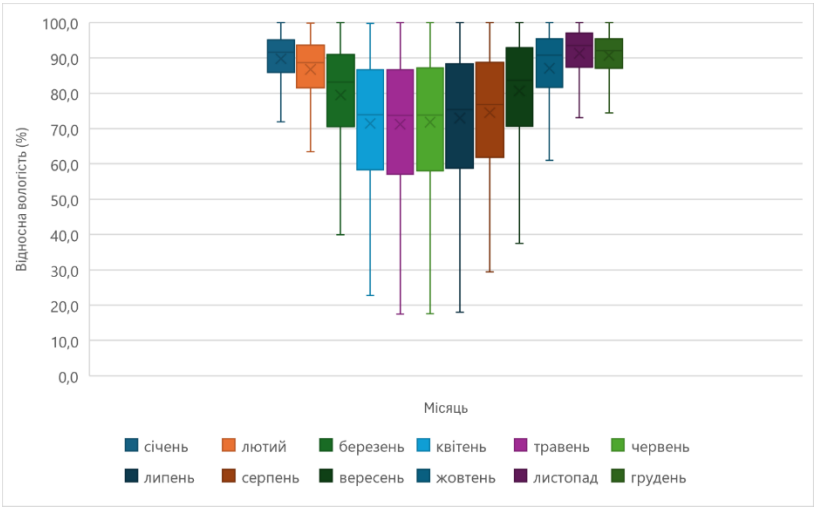


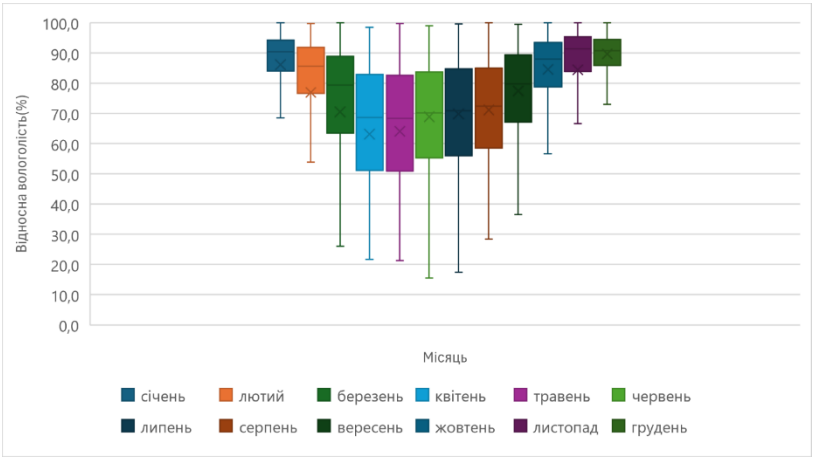
Рис. 3.1 Середні місячні значення відносної вологості повітря на МС міста Познань за 2008–2017 рр.

3.2. Особливості режиму вологості в межах різних ЛКЗ міста Познань

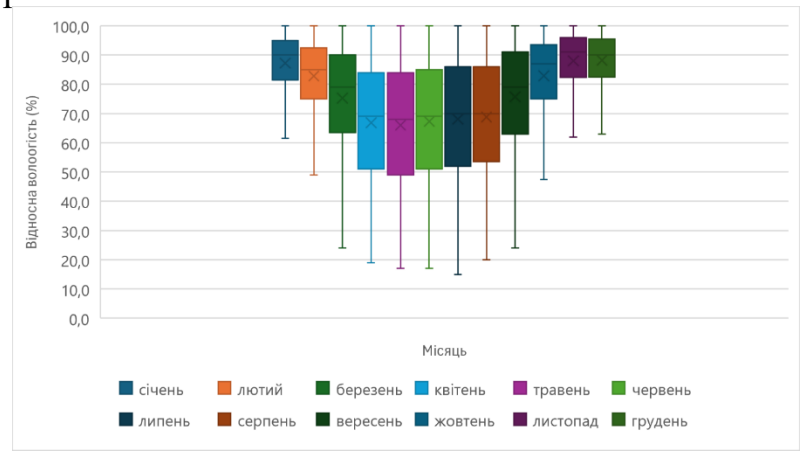
В окремі місяці діапазони значень відносної вологості є високими, наприклад, у травні, червні та липні протягом досліджуваного періоду в місті (МС Руса та МС Пекари) діапазон становить 79–83% (рис. 3.2). На станції Лавіца у ці ж місяці діапазони значень є дещо вищими та коливаються в межах 83–85%. Це пояснюється тим, що вологість повітря зазвичай змінюється більше в теплу пору року через інтенсивніше випаровування води з поверхні землі та водних джерел, а також внаслідок більшої кількості опадів.



а) МС Руса



б) МС Пекари



в) МС Лавіца

Рис. 3.2 Діаграма розмаху місячних значень відносної вологості повітря у місті Познань у 2008–2017 рр.

Найменша амплітуда значень відносної вологості спостерігалась у грудні – діапазон становив близько 27% на міських МС, а на станції Лавіца – 37%. Найвищі амплітуди зафіксовані у травні–липні. У ці місяці на всіх досліджуваних станціях (за винятком станції Пекари у травні) амплітуда перевищує 80%. На станції Лавіца відносна вологість характеризується більшими амплітудами, ніж у місті, що пояснюється тим, що за містом в середньому евапотранспірація вища приблизно на 10%, порівняно з урбанізованим середовищем, а інфільтрація вологи в ґрунт становить близько 50%, в той час як у місті цей показник становить близько 15% [10].

З усієї сукупності значень (34665) були розраховані різниці відносної вологості повітря між станціями Лавіца та Руса ($\Delta F_{Л-Р}$) і станціями Лавіца та Пекари ($\Delta F_{Л-П}$). Величина та знак цієї різниці служать показниками того, в якому пункті і на скільки відносна вологість повітря є більшою чи меншою. Повторюваність різниць ($\Delta F_{Л-Р}$) та ($\Delta F_{Л-П}$) за відповідними градаціями наведена на рис. 3.3–3.4.

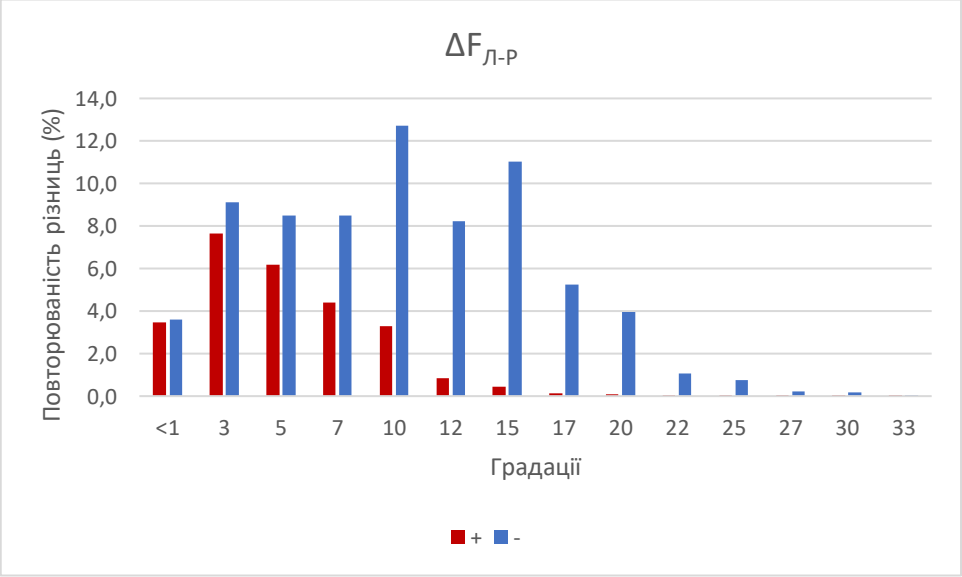


Рис. 3.3. Відсотковий розподіл різниць ($\Delta F_{Л-Р}$) за градаціями

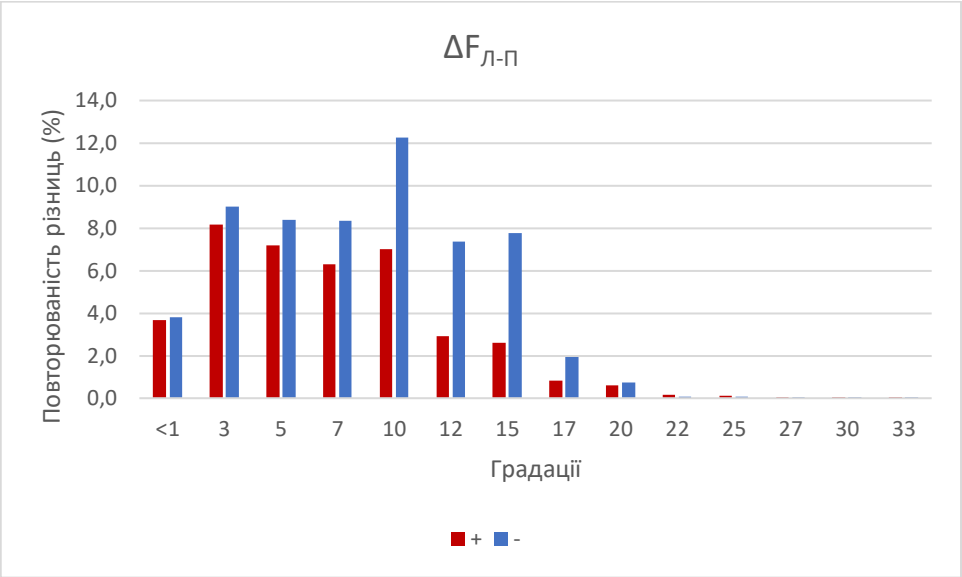


Рис. 3.4. Відсотковий розподіл різниць ($\Delta F_{Л-П}$) за градаціями

При обчисленні різниць ($\Delta F_{Л-Р}$) 0,4% значень були рівні нулю, 26,5% мали додатній знак, що свідчить про вищі значення відносної вологості на станції, яка розташована за містом, і 73,1% – від'ємний, що свідчить про те, що відносна вологість була вищою у місті. Незначні різниці до 1% характеризуються майже однаковою кількістю додатних та від'ємних значень (3,5 та 3,6% відповідно). У діапазоні значень різниці 3–7% у групі додатних різниць становлять 18,2%, тоді як у групі від'ємних – 26,1%. 12,7% від'ємних різниць припадають на градацію 10%, тоді як частка додатних різниць у цій же градації становить 3,3%. Варто також зазначити, що хоча повторюваність таких випадків незначна (1.1% і нижче), проте були зафіксовані випадки, коли різниця значень відносної вологості між станціями Лавіца та Руса становила понад 20%. У всіх цих випадках вологість повітря була вищою у межах міста.

Майже аналогічна ситуація відзначається на графіку, який показує відсотковий розподіл різниць значень відносної вологості між станціями Лавіца та Пекари (рис. 3.4): 0,4% різниць між цими МС значень були рівні нулю, 39,7% мали додатній знак, 59,9% – від'ємний. Частка від'ємних величин різниці у всіх

діапазонах більша, ніж додатних. Серед різниць до 1% зафіксовано 3,7% додатніх та 3,8% - від'ємних. У діапазоні значень різниці 3–7% додатні різниці становлять 21,7%, а від'ємні – 25,7%. Найбільше від'ємних різниць припадають на градацію 10% і становить 12,3%, тоді як частка додатних різниць у цій же градації становить 7%. У діапазоні 12–17% частка від'ємних значень становить 17,1%, тоді як додатних – 6,4%. Також були зафіксовані одиничні випадки різниць у межах 20–25%.

Порівняння середніх місячних значень відносної вологості повітря між станціями Лавіца та Руса ($\Delta f_{Л-Р}$) і станціями Лавіца та Пекари ($\Delta f_{Л-П}$) (рис. 3.5), показало що 100% цих різниць мали від'ємний знак. Різниці за середніми місячними значеннями були значно нижчими і варіювалися від кількох відростків до трохи вище ніж 5%. При цьому різниці між МС Лавіца та Пекари ($\Delta f_{Л-П}$) не перевищували 2,5%, а між МС Лавіца та Руса ($\Delta f_{Л-Р}$) – різниці перебували в межах від 2,5% і вище.

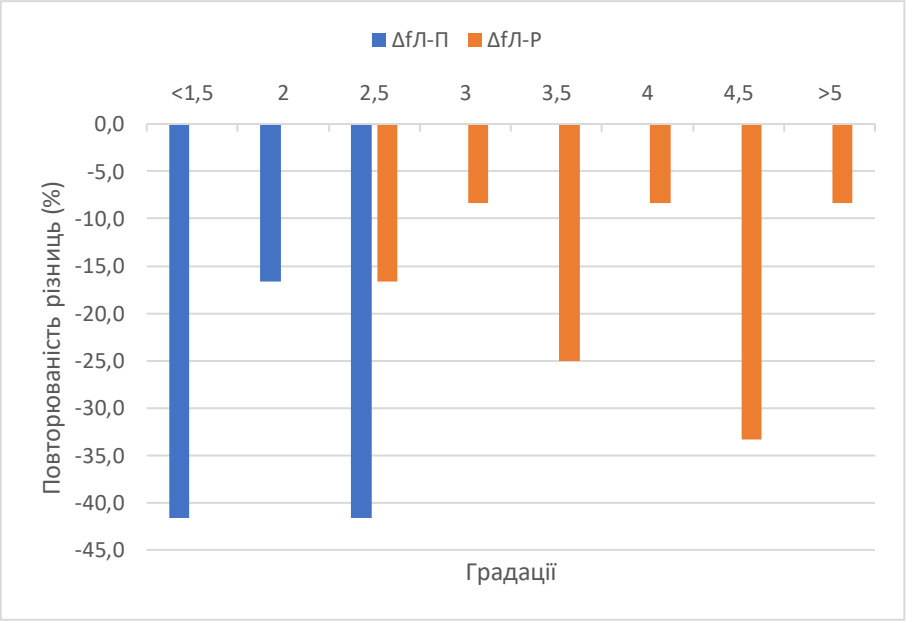
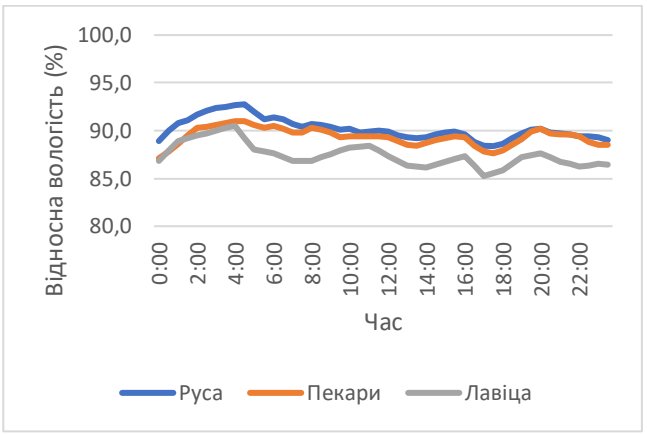
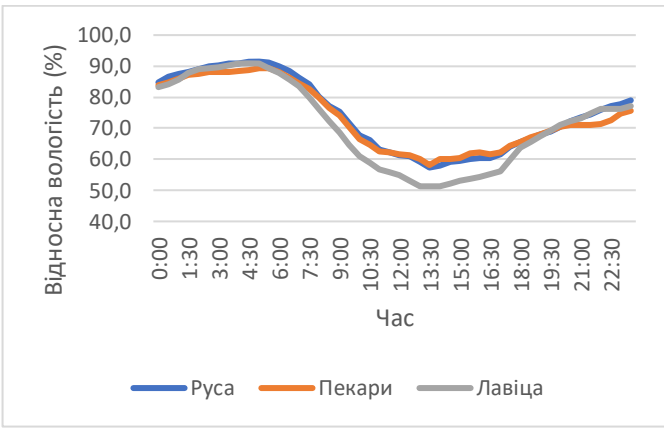


Рис. 3.5. Відсотковий розподіл різниць ($\Delta f_{Л-Р}$) та ($\Delta f_{Л-П}$) за градаціями

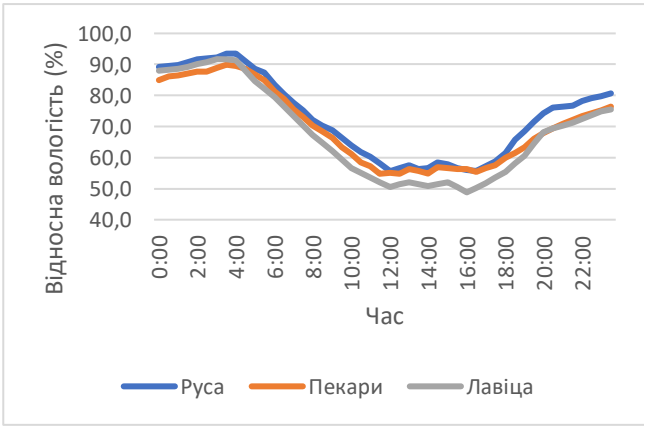
Як правило, добових хід відносної вологості у місті та за містом є дуже схожим, проте амплітуди добового ходу відносної вологості повітря у місті є нижчими, порівняно із заміськими територіями. Для вивчення особливостей добового ходу відносної вологості повітря у різних локальних кліматичних зонах міста Познань були побудовані графіки добового ходу за усередненими значеннями для різних місяців. Для прикладу на рис. 3.6 представлено графіки добового ходу для січня, квітня, липня та жовтня.



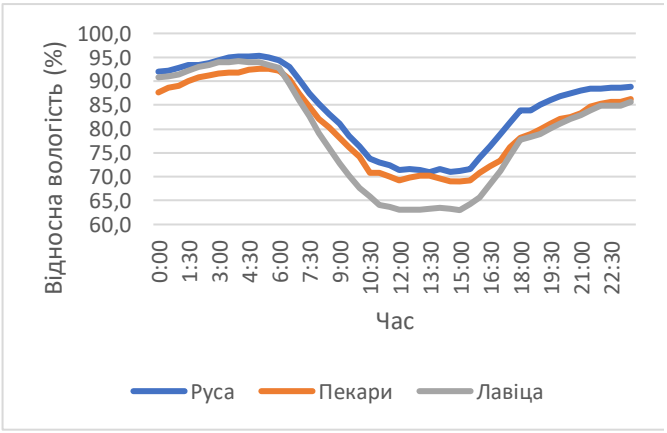
а) у січні



б) у квітні



в) у липні



г) у жовтні

Рис. 3.6. Середні добові значення відносної вологості повітря на метеорологічних станціях міста Познань

Найменші коливання відносної вологості протягом доби помітні у січні, коли значення амплітуди вологості повітря є найменшими, порівняно з іншими місяцями та становлять 4,4% на станції Руса, 3,9% та 5,3% на станціях Пекари і Лавіца відповідно. На МС Лавіца не лише зафіксовано найнижчі добові амплітуди, а також чітко виділяються нижчі значення відносної вологості протягом всієї доби (рис. 3.6, а). Загалом добовий хід відносної вологості у січні у Познані характеризується відсутністю чіткого добового максимуму та мінімумів, що характерно для зимового сезону в помірних широтах.

У квітні добові амплітуди відносної вологості повітря є значно вищими і становлять 34,1% на станції Руса, 31,2% та 39,6% на станціях Пекари і Лавіца відповідно (рис. 3.6, б). Графік добового ходу вологості повітря характеризується наявністю чітко виражених мінімуму (о 13:00–13:30) та максимуму – в нічні та передранкові години.

Добовий хід відносної вологості у місті Познань також характеризується добре вираженими максимумами та мінімумами та значними добовими амплітудами. Максимальна відносна вологість повітря фіксувалася на досліджуваних МС о 4:30–5:00. На станції Руса вона становила 91,4%, на МС Пекари – 89,3%, а на МС Лавіца – 90,8%. Мінімальні значення відносної вологості фіксувалися з 13:00 до 14:30 і становили 57,3% – на МС Руса, 58,1% – на МС Пекари та 51,3% – на МС Лавіца.

У жовтні максимальна відносна вологість повітря на станції Руса зафіксована о 6:00 – 94,4%, а мінімальна – 71% о 13:30 (рис. 3.6, г). На станції Пекари ці показники становили 89,3% (о 5:00) та 58,1% (о 13:30). На станції Лавіца мінімальне значення відносної вологості становило 94,2% (о 4:00), а максимальне – 63% (о 15:00). У жовтні значення амплітуди вологості повітря становлять 34,1% на станції Руса, 31,2% та 39,6% на станціях Пекари і Лавіца відповідно, тобто на МС, розташованих у місті амплітуди добового ходу є дещо нижчими, порівняно зі станцією Лавіца.

Підсумовуючи, можна сказати, що у квітні, липні та жовтні мінливість відносної вологості повітря протягом доби на усіх метеостанціях є більш вираженою, ніж у січні та набуває максимальних значень у нічні години приблизно з 3:30 до 6:00. Найнижчі показники відносної вологості у цих місяцях переважають о 12:00–14:30.

Добре відомо, що відносна вологість та температура повітря характеризуються оберненою залежністю, і в добовому ході цих метеорологічних елементів в той час коли фіксуються максимальні значення температури – відмічаються мінімальні значення вологості і навпаки. Ці закономірності чітко простежуються в теплий період року, коли добовий хід цих метеорологічних елементів добре виражений. Як було зазначено вище, у січні відносна вологість повітря протягом доби змінюється не суттєво, коливаючись у межах 93–85,3% на всіх станціях. У той час значення амплітуди температури повітря також є низькими і в середньому становили 2,1–2,4°С (рис. 3.7, а; 3.8, а та 3.9, а).

а) у січні

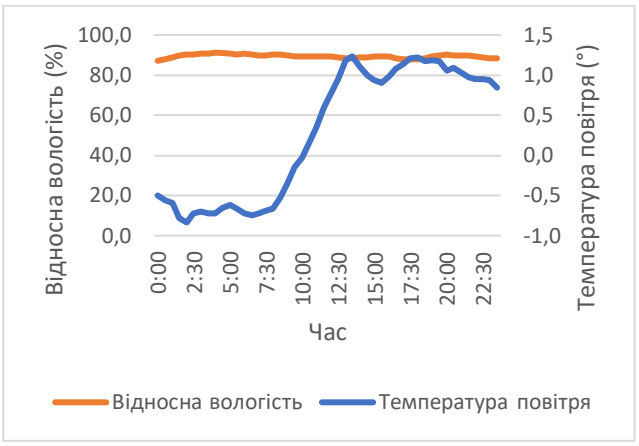
б) у квітні

в) у липні

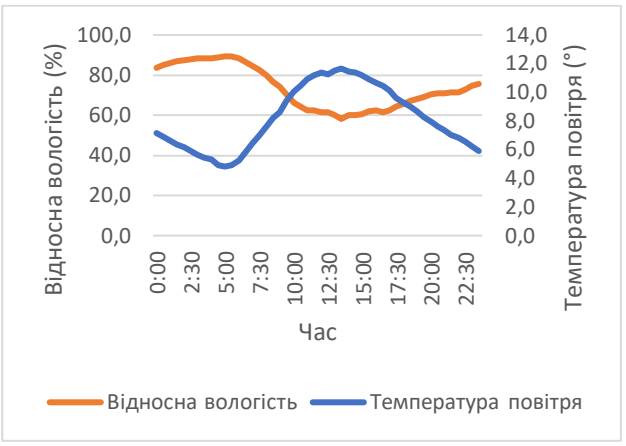
г) у жовтні

Рис. 3.7. Добовий хід відносної вологості та температури повітря на метеорологічній станції Руса

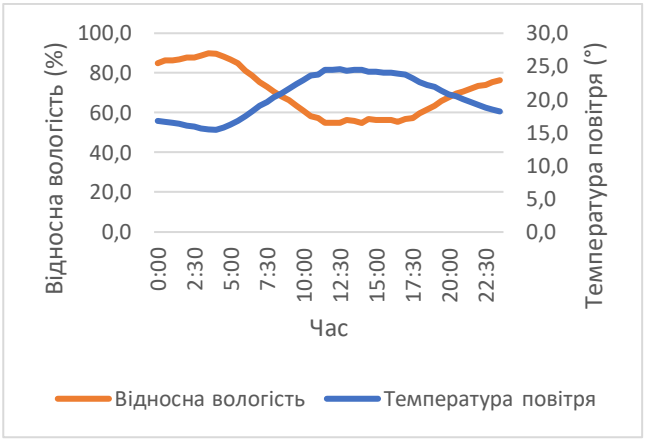
У квітні середні добові значення відносної вологості та температури повітря на МС, які розташовані у місті, змінюються наступним чином: вологість коливається у межах 57,3–91,4% на станції Руса та 58,1–89,3% на станції Пекари із максимумом у ранкові години та мінімумом о 13:30–15:00 годинах (рис. 3.7, б; 3.8, б та 3.9, б). Добовий хід температури повітря виглядає протилежним чином, досягаючи найвищих значень о 13:30–15:00 годинах та найнижчих – о 4:00–5:30.



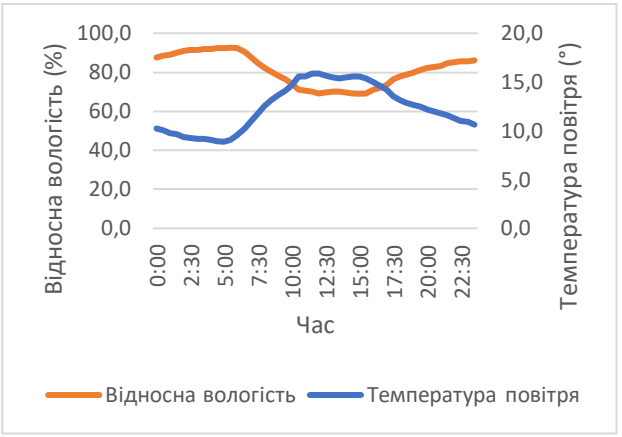
а) у січні



б) у квітні



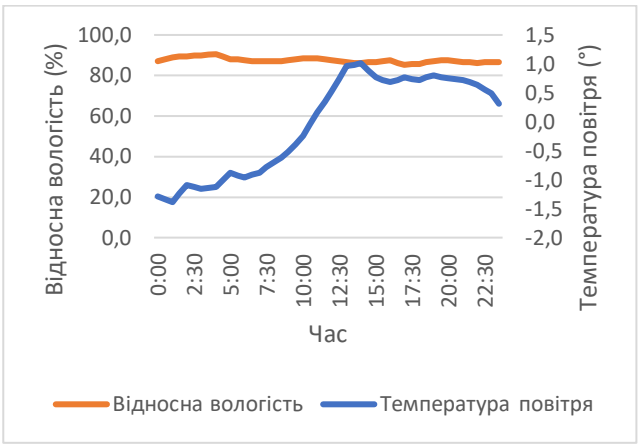
в) у липні



г) у жовтні

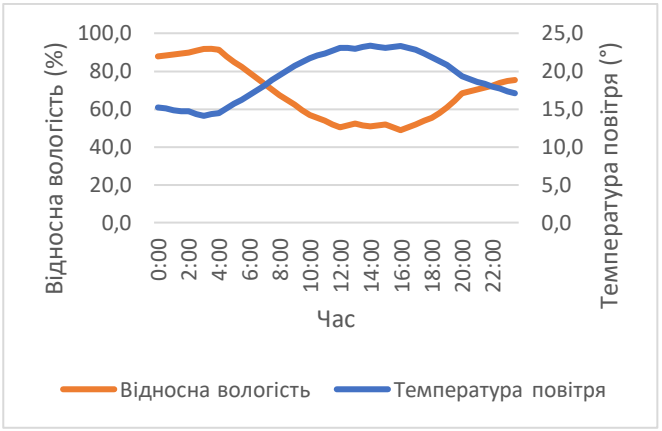
Рис. 3.8. Добовий хід відносної вологості та температури повітря на метеорологічній станції Пекари

У липні значення амплітуди як відносної вологості, так і температури повітря на станції Руса є найвищими й становлять 37,9% та 9,5°C відповідно. На метеостанції Пекари ці значення становили 54,8–89,9% та 15,4–24,6°C. Максимальні значення температури зафіксовано о 15:30–16:00 годинах, тоді як показник відносної вологості досяг найменших значень і становив 56,0% і 56,2% на станціях Руса та Пекари, відповідно (рис. 3.7, в; 3.8, в та 3.9, в).



а) у січні

б) у квітні



в) у липні

г) у жовтні

Рис. 3.9. Добовий хід відносної вологості та температури повітря на метеорологічній станції Лавіца

У жовтні найвищі значення відносної вологості на станції Руса коливаються у межах 71,0–95,3% та 8,1–15,5°C для температури, а в ті ж години, на станції Пекари – у межах 69,0–92,6% і 8,9–15,9°C (рис. 3.7, г; 3.8, г та 3.9, г).

У сільській місцевості на станції Лавіца добові значення амплітуди відносної вологості та температури повітря переважно вищі, ніж у місті. Це пояснюється тим, що у сільській місцевості менша кількість штучних поверхонь, які швидше охолоджуються та нагріваються порівняно з містом. В містах, де переважають будівлі та асфальт, тепло акумулюється, зменшуючи різницю температур і

вологості протягом доби. У квітні відносна вологість протягом доби коливається у межах 51,3–90,9% із максимумом о 4:30 та мінімумом о 12:30–15:00 годинах. Добовий хід температури повітря виглядає протилежним чином, досягаючи найвищих значень о 13:30–15:00 годинах та найнижчих – о 4:30–5:00. У жовтні екстремальні значення цих показників коливаються у межах 63,0–94,2% для вологості та 7,7-15,4°C для температури в ті ж години. У липні значення амплітуди як відносної вологості, так і температури повітря є найвищими й становлять 42,9% та 9,3°C відповідно. Максимальні значення температури повітря зафіксовано о 15:30–16:00 годинах, тоді як показник відносної вологості досяг найменших значень і становив 48,8%.

Розрахунок кореляційних зв'язків між рядами даних відносної вологості повітря на трьох МС та їх подальший аналіз показав, що коефіцієнти кореляції є високими (понад 0,9), що свідчить про те, що умови формування значень відносної вологості на цих станціях є дуже схожими. Коефіцієнт кореляції між станціями Руса та Пекари є найвищим і наближається до 1 (рис. 3.10). Коефіцієнт кореляції між МС Лавіца та МС Руса і між МС Пекари та МС Лавіца становить 0,91 (рис. 3.11–3.12).

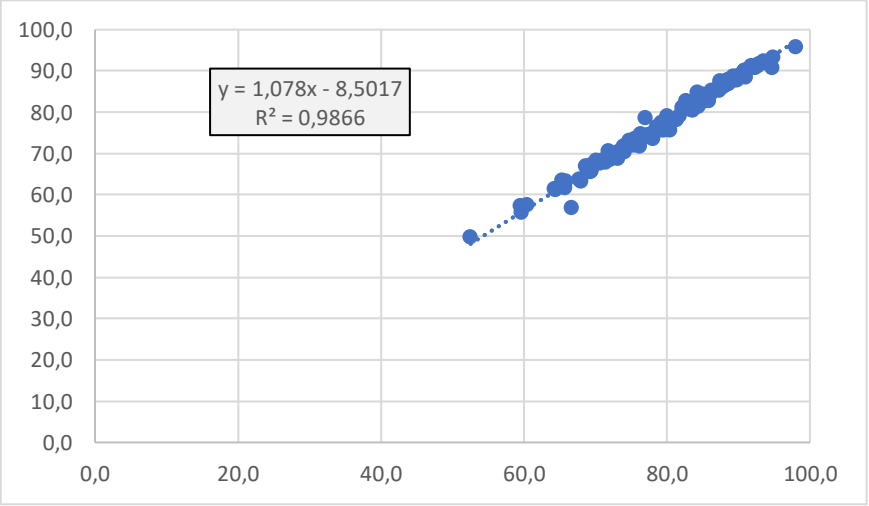


Рис. 3.10. Кореляційна діаграма відносної вологості повітря на метеорологічних станціях Руса та Пекари

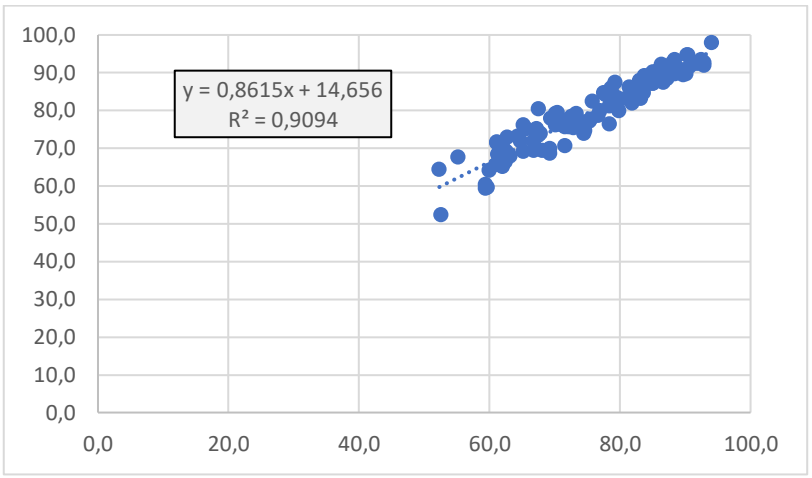


Рис. 3.11. Кореляційна діаграма відносної вологості повітря на метеорологічних станціях Руса та Лавіца

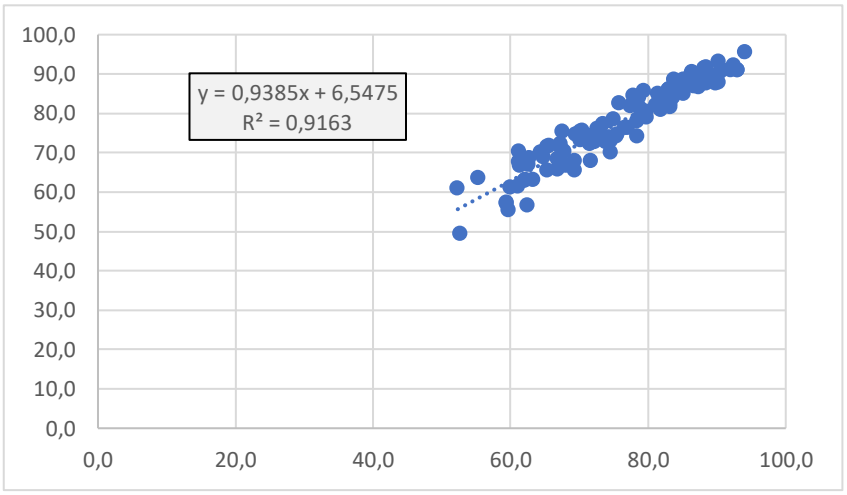


Рис. 3.12. Кореляційна діаграма відносної вологості повітря на метеорологічних станціях Пекари та Лавіца

Висновки до розділу 3

Середньорічне значення відносної вологості повітря у місті Познань за 2008–2017 рр. варіювалися від 75,1 на МС Лавіца до 79,1 % на МС Руса. Найвищі середні значення зафіксовано взимку, а найнижчі – влітку. У зимовий період на всіх трьох МС відносна вологість повітря є високою і перевищує 86% (86,0–88,9 %). Навесні значення варіюються в межах 69,3–73,5 %, влітку – 67,8–72,8 %.

Діапазон значень відносної вологості є найвищим у травні, червні та липні. В місті (МС Руса та МС Пекари) діапазон становить 79–83%, а на станції Лавіца у ці ж місяці діапазони значень є дещо вищими та коливаються в межах 83–85%. Найменша амплітуда значень відносної вологості спостерігалась у грудні – діапазон становив близько 27% на міських МС, а на станції Лавіца – 37%.

Розрахунок різниць значень відносної вологості ($\Delta F_{Л-Р}$) показав, що 0,4% значень були рівні нулю, 26,5% мали додатній знак, що свідчить про вищі значення відносної вологості на МС Лавіца, яка розташована за містом, і 73,1% – від'ємний, що свідчить про те, що відносна вологість була вищою у місті. Були зафіксовані випадки (хоча їх повторюваність незначна – 1,1% і нижче), коли різниця значень відносної вологості між станціями Лавіца та Руса становила понад 20%. Відсотковий розподіл різниць значень відносної вологості між станціями Лавіца та Пекари був схожим: 0,4% різниць між цими МС значень були рівні нулю, 39,7% мали додатній знак, 59,9% – від'ємний. Також були зафіксовані одиничні випадки різниць у межах 20–25%, з вищою вологістю на міських МС.

ВИСНОВКИ

1. Систематизовано результати досліджень клімату великих міст. Охарактеризовано особливості радіаційного балансу міста та описано особливості термічного режиму; визначено чинники, які впливають на формування особливостей хмарності та режиму опадів міста; проаналізовано вплив міської забудови на поле вітру в різних районах міста.

2. Розкрито концепцію локальних кліматичних зон, запропоновану в 2009 році Т. Оке та І. Стюартом. ЛКЗ – це територія з однорідною підстильною поверхнею, забудовою, що складена однаковими будівельними матеріалами, й на яких реалізується однотипна людська діяльність. Класифікація ЛКЗ складається із 17 класів, в яких виділяється 10 типів забудови та сім типів земельного покриву (або типів природних поверхонь). Концепція локальних кліматичних зон на сьогодні є найактуальнішою та найбільш вживаною для вивчення кліматичних особливостей великих міст і саме вона використовувалася в даній роботі для типізації міського простору Познані.

3. Місто Познань згідно з кліматичною класифікацією Кеппена має помірний континентальний клімат, який характеризується теплим літом без посушливого сезону (Dfb). Середньорічна температура повітря в Познані становить 9,5 °С, річна сума опадів – 539 мм. Переважаючий напрям вітру – західний, середня швидкість – 4,1 м/с.

4. Середньорічні значення відносної вологості повітря у місті Познань за 2008–2017 рр. варіювалися від 75,1% на МС Лавіца до 79,1 % на МС Руса. Найвищі середні значення зафіксовано взимку, а найнижчі – влітку. У зимовий період на всіх трьох МС відносна вологість повітря є високою і перевищує 86% (86.0–88.9 %). Навесні значення варіюються в межах 69,3–73,5 %, влітку – 67,8–72,8 %.

5. Діапазон значень відносної вологості є найвищим у травні, червні та липні. В місті (МС Руса та МС Пекари) діапазон становить 79–83%, а на станції Лавіца у

ці ж місяці діапазони значень є дещо вищими та коливаються в межах 83–85%. Найменша амплітуда значень відносної вологості спостерігалась у грудні – діапазон становив близько 27% на міських МС, а на станції Лавіца – 37%.

6. Розрахунок різниць значень відносної вологості ($\Delta F_{Л\text{-}Р}$) показав, що 0,4% значень були рівні нулю, 26,5% мали додатній знак, що свідчить про вищі значення відносної вологості на МС Лавіца, яка розташована за містом, і 73,1% – від'ємний, що свідчить про те, що відносна вологість була вищою у місті. Були зафіксовані випадки (хоча їх повторюваність незначна – 1.1% і нижче), коли різниця значень відносної вологості між станціями Лавіца та Руса становила понад 20%. Відсотковий розподіл різниць значень відносної вологості між станціями Лавіца та Пекари був схожим: 0,4% різниць між цими МС значень були рівні нулю, 39,7% мали додатній знак, 59,9% – від'ємний. Також були зафіксовані одиничні випадки різниць у межах 20–25%, з вищою вологістю на міських МС.

7. Отримані результати, які показали, що відносна вологість в межах міста у більшості розглянутих випадків була вищою, свідчать про необхідність проведення детальнішого дослідження режиму вологості різних ЛКЗ Познані. Потребує детального аналізу МС Лавіца – як фонова точка для визначення відносної вологості. Можливо, розташування МС в межах великого аеропорту, який є п'ятим за величиною аеропортом Польщі за кількістю пасажирів, призвело до того, що мікроклімат даної території, який сформувався під впливом активної людської діяльності, є більш антропогенно зміненим, ніж клімат в районах МС Пекари та Руса, які представляють ЛКЗ-2 – щільна середньоповерхова забудова та ЛКЗ-5 – середньоповерхова забудова з низькою щільністю, відповідно.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Виставна Ю. Ю. Бірюков О. В., Зубкович С. О., Аспекти вітрового режиму урбанізованого міста. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Серія: Екологія. 2014. - № 1140. Вип. 11. С. 70–73.

2. Ліпінський В., Дячук В., Бабіченко В. Клімат України – К.: Вид. Раєвського, 2003. – 343 с.

3. Матвієнко М., Шевченко О., Сніжко С. Аналіз локальних кліматичних зон міста Києва. Вісник Київського університету. Серія географія. 2021. Вип. 3/4(80/81). с. – 31-35.

4. Мельничук С. П. Мікроклімат різних типів підстилаючої поверхні у м. Львові. Науковий вісник Українського державного лісотехнічного університету. 2003. Вип. 13.5. – с. 194–198.

5. Осадчий В., Косовець О., Бабіченко В. Клімат Києва – К.: Центр Ніка, 2010.

6. Шевченко О. Г. Вплив інверсій на рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва. Український гідрометеорологічний журнал. 2011, № 8. − с. 5−11.

7. Шевченко О. Г. Вразливість урбанізованого середовища до зміни клімату. Фізична географія та геоморфологія. 2014. Вип. 4 (76). − с. 112–120.

8. Шевченко О. Г. Сніжко С. І., Самчук Є. В. Вітровий режим великого міста. Вісник Київського університету. Серія географія. 2018. № 3 (72). – с. 13–20.

9. Шевченко О. Г. Температурні аномалії великого міста. Український гідрометеорологічний журнал. 2011. № 8. − с. 67−74.

10. Шевченко О. Г. Теоретико-методологічні засади комплексних досліджень урбометеорологічних трансформацій у містах: монографія. К.: ДІА, 2021. – 288 с.

11. Chandler T. J. Absolute and relative humidities in towns. Bulletin of the American Meteorological Society. 1967. 48. № 6. − с. 394–399.

12. Chandler T. J. The climate of London. London: Hutchinson, 1965. 289 p.

13. Dobrovolny P. The surface urban heat island in the city of Brno(Czech Republic) derived from land surface temperatures and se-lected reasons for its spatial variability. Theoretical and Applied Climatology. 2012. 112:89–98.

14. Drawska A. Przestrzenny i czasowy rozkład wilgotności powietrza na obszarze Torunia w 1982 r. Maszynopis pracy magisterskiej. Archiwum UMK w Toruniu. 1983.

15. Fortuniak, K. Miejska wyspa ciepła: podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego. 2003. 233.

16. Hylke E. Beck, Tim R. McVicar, Vergopolan N., Berg A., Lutsko N.J., Dufour A., Zeng Z., Jiang X., van Dijk A. I. J. M., Miralles D. G. High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections. Springer Nature Limited. 2023

17. Junk, J.; Goergen, K.; Krein, A. Future heat waves in different European capitals based on climate change indicators. Int. J.Environ. Res. Public Health 2019,19, 3959

18. Kolendowicz L. et al. Homogenization of air temperature and its long-term trends in Poznań (Poland) for the period 1848–2016. Theoretical and Applied Climatology. 2019. 136, 1357–1370.

19. Lewińska, J. (red.). Klimat miasta. Vade mecum urbanisty. Kraków: Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, 1991. 168.

20. Lewińska, J. Klimat miasta. Zasoby, zagrożenia, kształtowanie. Kraków: Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, 2000. 151.

21. Landsberg H. E. The Urban Climate. International Geophysics Series. 1981. 28. 769–779.

22. Liu, W. D., You H. L., Dou J. X. Urban–rural humidity and temperature differences in the Beijing area. Theoretical and Applied Climatology. 2009. 96. 201–207.

23. Majkowska, A., Kolendowicz L., Półrolniczak M., Hauke J., Czernecki B. The urban heat island in the city of Poznań as derived from Landsat 5 TM. Theoretical and Applied Climatology. 2017. 128, 769–783.

24. Oke T. R. Boundary layer climates. 2nd edition. London: Routledge. 1988. 460.

25. Oke T.R. Review of urban climatology 1973–1976. Technical Note № 169. WMO №539. Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization, 1979. 114.

26. Oke T., Mills G., Christen A., Voogt J. Urban climates. Cambridge University Press. 2017. 542.

27. Okamoto, M., Uchida, T. Spatial and temporal characteristics of the urban heat island and urban humidity in Tokyo, Japan. Science of the Total Environment. 2017. 574, 536-544.

28. Przybylak R., Uscka-Kowalkowska J. Research on the urban climate of Toruń by the Department of Meteorology and Climatology of NCU: an overview of history and results. Acta Geographica Lodziensia. 2019. 108. 93-107.

29. Przybylak R., Uscka-Kowalkowska J., Araźny A., Kejna M., Kunz M., Maszewski R. Spatial distribution of air temperature in Toruń (Central Poland) and its causes. Theoretical and Applied Climatology. 2017. 127, 1: 441-463.

30. Stewart I. D., Oke T. R. Local climate zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society. 2012. 93(12), 1879–1900.

31. Statistical Yearbook of the Republic of Poland 2023. Statistics Poland. 2023. 789.

32. Tomczyk A.M., Półrolniczak M., Kolendowicz L., Cold Waves in Poznań (Poland) and Thermal Conditions in the City during Selected Cold Waves. Atmosphere 2018. 9. 208. 2018.

33. Woś, A. "Climate of Poland in the Second Half of the 20th Century." Poznań, Poland: Wyd. Naukowe UAM, 2010.

34. Stewart I., Oke T. Classifying urban climate field sites by «local climate zones: the case of Nagano, Japan. The seventh International Conference on Urban Climate 29 June-3 July 2009. 2009. 6.

35. Yang P., Ren G., Hou W. Temporal–Spatial Patterns of Relative Humidity and the Urban Dryness Island Effect in Beijing City. Journal of applied meteorology and climatology. 56. 2017. 2221–2237.

36. Zhou, S. Z. Discussion of the urban–rural differences in atmospheric humidity of Shanghai area. Trans. Oceanol. Limnol. 1994. 2, 13–25.

37. Zwolska, A., Półrolniczak M., Kolendowicz L. Urban growth's implications on land surface temperature in a medium-sized European city based on LCZ classification. 2024.

38. Статистичне бюро в Познані: https://poznan.stat.gov.pl/ (дата звернення: 31.05.2024)