

III. ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

<http://doi.org/10.17721/1728-2721.2021.80-81.5>
УДК 551.586

М. Матвієнко, асп.
ORCID ID: 0000-0002-6897-8422,
О. Шевченко, д-р геогр. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0003-3915-427X,
С. Сніжко, д-р геогр. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-2696-687X

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

АНАЛІЗ ЛОКАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗОН МІСТА КИЄВА

Грунтуючись на концепції локальних кліматичних (ЛКЗ) зон Т. Оке та І. Стюарта, з використанням алгоритму протоколу World Urban Database and Tools Portal (WUDAPT), проаналізовано територію Києва та виділено ЛКЗ в адміністративних кордонах міста та в межах забудованої території (англ. – built-up area (BUA)). Створено карту локальних кліматичних зон міста. Розкрито існування суттєвих відмінностей у співвідношенні між ЛКЗ у межах адміністративних кордонів міста та в межах BUA. Показано, що площі ЛКЗ із забудованими територіями (ЛКЗ-1-ЛК-9) охоплюють близько 40 % в адміністративних межах Києва і понад 65 % – в BUA, а зелені насадження (ЛКЗ-А, В, С і D) та водні об'єкти (ЛКЗ-Г) – у межах BUA становлять 32,6 %, що майже удвічі менше, ніж в адміністративних межах міста (59,0 %). Найбільшими відмінностями характеризується ЛКЗ-А (зона високих щільно посаджених дерев) – в адміністративних межах Києва на неї припадає 32,6 % території, а в межах BUA – лише 6,7 %. Таким чином, показано, що в межах території, де проживають та працюють жителі міста (BUA), близько 2/3 площі – це забудовані ділянки зі штучними поверхнями, які характеризуються значно нижчим альбедо (порівняно із природними) та низькою водопроникністю, і відповідно, є сприятливими для формування мікрокліматичних особливостей. Отримані результати є дуже важливими для дослідження мікрокліматичних особливостей і клімату Києва, оцінювання комфортності урбанізованого середовища, розроблення заходів адаптації міста до спеки й вирішення низки інших практичних задач.

Ключові слова: урбометеорологія, міський клімат, острів тепла, локальні кліматичні зони, WUDAPT.

Вступ. Упродовж останніх десятиліть кількість і розмір міст у всьому світі постійно збільшується. Зростання міського населення та розбудова міст призводить до зміни навколишніх екосистем і сприяє зниженню комфорту та якості життя людей у містах. Міські райони стають дедалі вразливішими до виявів зміни клімату, зокрема до виявів стихійних гідрометеорологічних явищ та екстремальної спеки. Використання штучних матеріалів, збільшення частки водонепроникних поверхонь, складна міська морфологія й антропогенна діяльність у поєднанні зі зменшенням рослинності спричинюють підвищення температури в міському середовищі. Температурна аномалія в межах міста, що характеризується вищою порівняно з периферією температурою, називається міським островом тепла (англ. – Urban Heat Island). Острів тепла може фіксуватися як у нижньому шарі атмосфери, так і на підстильній поверхні – тоді він називається поверхневим міським островом тепла (англ. – Surface Urban Heat Island). Ураховуючи складну міську морфологію, температурний режим може відрізнятися в різних районах міста. Таким чином, деякі райони можуть характеризуватися вищими (або нижчими) температурами, ніж інші. Острів тепла здійснює суттєвий негативний вплив на людину, міські зелені насадження та інфраструктуру. Найбільш помітний такий вплив на людський організм у літній період, особливо під час періодів хвиль тепла – в такі періоди в районах зі щільною забудовою й незначною кількістю зелених насаджень жителі зазнають значно сильнішого теплового навантаження. Саме тому інформація про особливості міського клімату та його залежність від структури забудови є важливою не лише для урбометеорологів, але й для архітекторів, фахівців із містобудування та соціальної медицини. Адже вона може допомогти підвищити рівень комфортності міста для проживання та зменшити негативний вплив спеки на здоров'я його жителів, що особливо важливо в умовах швидкого розвитку міст і зростання температури повітря у зв'язку зі зміною клімату.

Аналіз останніх досліджень. Загальновідомо, що перші дослідження клімату міст ґрунтувалися на порівнянні значень метеорологічних параметрів, вимірюваних на станціях, розташованих у містах та в передмісті або найближчих селах чи містечках. Тривалий час територія міста розглядалася як однорідна, при цьому ігнорувалася наявність відмінностей структури забудови й мікроклімату міського простору. Цілком очевидно, що такий підхід не може задовольнити потреби сучасних урбометеорологічних досліджень. Перші спроби виділити у великому місті райони на основі кліматичних особливостей були зроблені ще в 60-х рр. минулого століття. Однією з перших таких класифікацій вважається класифікація Т. Чандлера (Chandler, 1965), який розділив Лондон на чотири райони, кожен із яких відрізнявся своїм кліматом і формою забудови. Дотримуючись принципів класифікації Т. Чандлера, більш детально описати міську морфологію намагалися А. Ауер (1978), Р. Елфесент (1991), Ф. Вілмерс (1990), С. Грімонт і Т. Оке (1999). Хоча їхні схеми класифікації певною мірою сприяли вивченню міського клімату, проте в жодному з цих досліджень не була запропонована єдина система класифікації, яка могла б застосовуватися для міст усього світу та стала загальновикорисованою. Поєднуючи основні принципи попередніх класифікацій міського клімату, Т. Оке у 2004 р. запропонував концептуальну класифікацію "міських кліматичних зон" (англ. – Urban Climate Zones (UCZs)), згідно з якою у місті виділяється сім типів ділянок: від напівсільських до міських територій (Оке, 2004). 2009 р. Т. Оке та І. Стюарт (Stewart & Oke, 2012; Stewart & Oke, 2009) розробили класифікацію локальних кліматичних зон (ЛКЗ) (англ. – Local Climatic Zone (UCZ)), що частково дублюється із класифікацією міських кліматичних зон міста, проте є значно повнішою й детальнішою. ЛКЗ виділяють за щільністю та висотою забудови, типом підстильної поверхні, рівнем озеленення території, видом матеріалів, із яких сконструйовані будівлі. Як зазначають автори,

основною метою нової схеми класифікації ЛКЗ міських і сільських територій є забезпечення підґрунтя для досліджень острову тепла та стандартизація принципів міських (температурних) спостережень у всьому світі (Stewart & Oke, 2012).

Концепція локальних кліматичних зон швидко набула значної популярності серед урбометеорологів світу і активно застосовується під час реалізації різноманітних задач. На сьогодні майже для 300 міст по всьому світу здійснено картографування ЛКЗ (Sida et al., 2021). Використовуючи набір даних низки європейських міст, наявних у WUDAPT, було розроблено карту ЛКЗ для всієї Європи (Demuzere et al., 2019). Для створення карти використовували так званий трансферний підхід (англ. – city-to-city transfers), принцип якого базується на тому, що можна класифікувати міський ландшафт для одного міста, використовуючи частину інформації даних, створених для іншого. Хоча такий підхід значно полегшує картографування ЛКЗ, проте його результати будуть не такими точними, як у випадку аналізу окремих міст. Для України за супутниковими знімками 2013–2015 рр. було здійснено аналіз ЛКЗ двох міст – Києва та Львова (Danylo et al., 2016). Однак через постійну забудову великих міст, знищення зелених зон і створення нових об'єктів інфраструктури, існуючі класифікації ЛКЗ доволі швидко втрачають свою актуальність і вимагають оновлення. Наприклад, за даними Головного управління статистики м. Києва лише в 2019 р. за рахунок будівництва нових житлових будинків в експлуатацію прийнято 1 113 тис. м² загальної площі житла та 242 тис. м² – загальної площі нежитлових будівель (торгівельні й офісні центри, заклади освіти, медичного та оздоровлюючого призначення); відповідно на значних площах змінилися характеристики підстильної поверхні, що могло призвести до зміни співвідношення локальних кліматичних зон у місті.

Мета дослідження. Метою цього дослідження є виділення й аналіз локальних кліматичних зон у межах території міста Києва, ґрунтуючись на новітніх даних про стан підстильної поверхні та забудови міста.

Матеріали та методи досліджень. У цьому дослідженні класифікацію локальних кліматичних зон Києва здійснено ґрунтуючись на алгоритмі протоколу WUDAPT. World Urban Database and Tools Portal (WUDAPT) – це міжнародний спільний проєкт, який базується на створенні бази даних морфології міст, для вивчення клімату й полегшення вирішення розв'язання проблем міських районів. Проєкт WUDAPT ґрунтується на Національній міській базі даних та на інструмент-порталі (National Urban Database and Portal Tool – NUDAPT) (Ching et al., 2009), що розроблений для моделей, які потребують детальної тривимірної інформації про місто.

Процес збору даних у WUDAPT має ієрархічний підхід із трьома рівнями, де кожен з них представляє різну деталізацію. Рівень 0 описує місто стосовно характерного вигляду його мікрорайонів, використовуючи схему класифікації ЛКЗ. На рівні 1 уточнюються параметри кожної ЛКЗ, такі, як морфологія міста (висота забудови, ширина вулиць і т. д.) та його функціональні зони території (напр., житлова або промислова). Рівень 2 – застосовується найбільш деталізований опис параметрів міського ландшафту (альbedo, матеріали, типологія будівель, співвідношення стін/вікон та ін.). Це найвищий рівень, який стосується міських даних, зібраних у визначеному просторовому масштабі (приміром, 250 м).

Класифікація міського простору на типи ЛКЗ базується на напівавтоматизованому процесі з використанням супутникових знімків (напр., Landsat 8) та геоінфо-

рмаційних систем. Для виконання такого процесу обираються так звані "навчальні" зони, які відповідають певним типам ЛКЗ у досліджуваному місті. Ці "навчальні" зони використовуються для ідентифікації схожих пікселів на мультиспектральних зображеннях. Потім отримана інформація використовується для розроблення моделі, яка класифікує ці зображення на типи ЛКЗ. Універсальність класифікації ЛКЗ дозволяє користувачам легко визначати міський ландшафт за супутниковими знімками, використовуючи протокол WUDAPT. Супутникові знімки з відкритим доступом і високою роздільною здатністю, такі, як Sentinel 2 або Landsat 8, підтримують ініціативу проєкту WUDAPT і дозволяють послідовно й ефективно застосовувати протокол WUDAPT для картографування ЛКЗ у містах усього світу.

Покроковий протокол отримання карти ЛКЗ на рівні 0 проєкту WUDAPT було встановлено і описано (Bechtel et al., 2015), а також є на сайті WUDAPT. Як зазначають автори, дана методологія є універсальною та об'єктивною для всіх міст. Крім того, вона складається з відносно швидких і простих процедур, які дозволяють без знань дистанційного зондування проводити та підтверджувати класифікації ЛКЗ для досліджуваних міст.

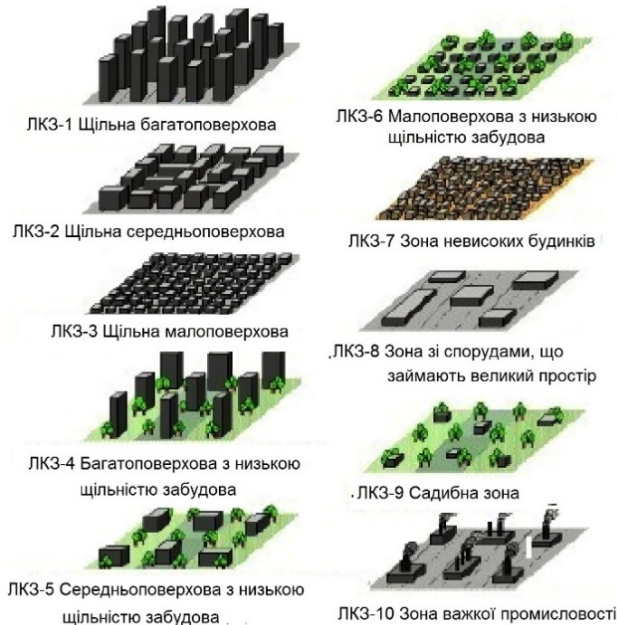
Для реалізації задач цього дослідження супутникові знімки міських поверхонь Києва (отримані за допомогою супутника Landsat 8) було завантажено з вебсайту Геологічної служби США (US Geological Survey, 2018, 2019). Було обрано чотири сцени з такими датами (14 липня 2018 р., 4 серпня 2018 р., 10 жовтня 2018 р. та 19 травня 2019 р.), вони мали хмарність менше 6 %. Створення зразків навчальних зон, які відповідають природному й міському ландшафту, виконувалося за допомогою безкоштовного програмного продукту Google Earth. Для класифікації ЛКЗ використовувалася ГІС-платформа – System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA). Алгоритм класифікації супутникових знімків у ЛКЗ реалізований, як інструмент у SAGA-GIS та базується на класифікаторі Random Forest. Візуалізація отриманих даних виконана в ArcMap.

Виклад основного матеріалу. ЛКЗ визначаються як території з однорідною підстильною поверхнею, забудовою, будівельними матеріалами й людською діяльністю, площі яких охоплюють від сотень метрів до кількох кілометрів у горизонтальному масштабі. Класифікація ЛКЗ складається із 17 класів (рис. 1), 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 покриття (або типів природних поверхонь) А–G (ЛКЗ-А – зона високих щільно посаджених дерев, В – зона розрідженої рослинності, С – зона кущів і чагарників, D – зона низькорослих рослин, Е – зона транспортної інфраструктури та скелястих гір, F – ґрунт або пісок, G – зона водних об'єктів). Типи земельного покриття додатково класифікуються за сезонними змінами або нетривалими змінами властивостей земельного покриття (тобто, коли поверхня вкривається снігом або мокра земля). Типи ЛКЗ називаються й упорядковуються за однією або кількома ключовими властивостями поверхонь. Їх розрізняють за значенням фактора відкритого неба (англ. – Sky View Factor); співвідношенням висоти й ширини

вуличних каньйонів (ЛКЗ 1–10) та відстані між деревами (ЛКЗ А – D); співвідношенням площі забудови та природних ділянок до загальної площі території; серед-

ньою висотою забудови/рослинності та коефіцієнтом шорсткості (*Davenport et al., 2000*).

ТИПИ ЗАБУДОВИ



ТИПИ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ

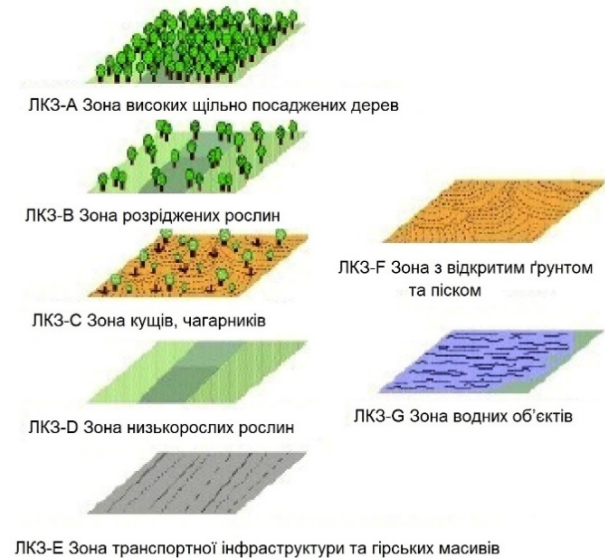


Рис. 1. Схема локальних кліматичних зон (Stewart & Oke, 2012)

Адміністративні межі міста, як правило, містять зони житлової, громадської, виробничої забудови та природні зони (рекреаційні, природоохоронні, оздоровчі). При цьому зелені зони в межах міста можуть займати значні території. Наприклад, у Варшаві й Мадриді природні зони займають більше половини міської території в межах адміністративних кордонів міст, а для Парижу та Брюсселю цей відсоток становить 12,8 та 13,8 % відповідно (*Shevchenko et al., 2020*). Проте реальні межі міст доволі часто виходять за свої адміністративні кордони за рахунок найближчих міст-супутників і забудованого передмістя, та разом із центральною частиною міста формують так звану забудовану територію (англ. – built-up area (BUA)). BUA зона включає забудову найближчих прилеглих сіл і виключає ті природні зони, які зазнали впливу людської діяльності. Відповідно, на забудованих територіях передмість можуть спостерігатися осередки тепла, що впливатимуть на загальний фон поля температури повітря міста. Тому, для того, щоб результати аналізу ЛКЗ були об'єктивнішими і могли використовуватися для вирішення більшої кількості важливих задач, слід здійснювати аналіз ЛКЗ і в адміністративних межах міста і в межах BUA.

Площа міста Києва в адміністративних межах становить 83,6 тис. га й охоплює не лише забудовану територію (37 тис. га), але й значні залісені території на півночі та сході. У місті налічується близько 500 малих річок і озер, які разом з акваторією річки Дніпро в межах міста займають 6,7 тис. га. Київ є одним із прикладів міст, де реальні межі виходять за його адміністративний кордон (рис. 2). Саме тому в цьому дослідженні проаналізовано ЛКЗ Києва в його адміністративних межах і в BUA-зоні.

Ідентифікація локальних кліматичних зон у адміністративних кордонах Києва свідчить, що на території міс-

та наявні 15 із 17 типів ЛКЗ, серед них 39,7 % належить до ЛКЗ забудованих типів (рис. 2). У місті відсутні ЛКЗ-7 та ЛКЗ-10. Аналіз карти ЛКЗ міста Києва показав, що найпоширенішими ЛКЗ є ті, що містять багатоповерхові (ЛКЗ-4) – 8,2 % та середньоповерхові (ЛКЗ-5) – 7,9 % будівлі з низькою щільністю житлової забудови. ЛКЗ-6 (малоповерхова забудова з низькою щільністю) займає 3,2 % від загальної площі Києва, це переважно одно – триповерхові будинки. ЛКЗ 4–6 спостерігаються у всіх районах міста. Центральна частина міста (Шевченківський і Печерський райони) характеризується змішаною середньо- (ЛКЗ-2) та багатоповерховою забудовою (ЛКЗ-3), що займають 3,9 і 0,2 % відповідно. ЛКЗ-8 зафіксована в різних частинах міста й сумарно займає 5,3 % від загальної площі. У Києві до цього типу належать зони легкої промисловості, комунально-складські та інженерні споруди. ЛКЗ-9, що містить садибну та садово-дачну зони із земельними ділянками, має найвищі показники – 10,8 % загальної площі міста.

В адміністративних межах Києва спостерігаються всі типи природних ЛКЗ. Вони займають більше половини (60,3 %) міської території. Зона високих щільно посаджених дерев (ЛКЗ-А) є найпоширенішою серед зелених зон – 32,6 % з найбільшою часткою в лівобережній частині міста. Найменші площі займають зони кущів і чагарників (ЛКЗ-С), низькорослих рослин (ЛКЗ-Д) – 1 % та 5,3 %, відповідно. ЛКЗ-Е представлена у вигляді транспортної інфраструктури міста, займає 0,9 % від його загальної площі. Зона з відкритим ґрунтовим і піщаним покривом (ЛКЗ-Ф) становить 0,5 %, та відповідає тим територіям, на яких здійснюється будівництво. Річка Дніпро разом з озерами (ЛКЗ-Г) займає 6,3 % загальної площі міста.

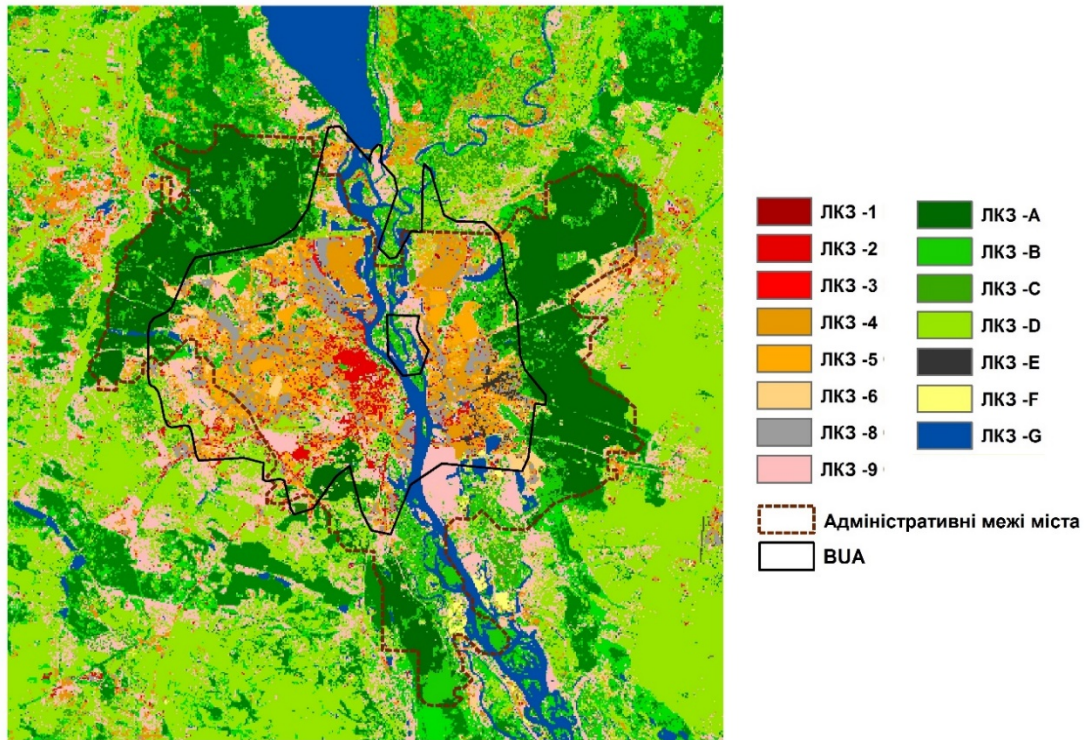


Рис. 2. Карта локальних кліматичних зон міста Києва

Розподіл ЛКЗ у межах BUA зони в Києві суттєво відрізняється від їхнього розподілу в адміністративних межах міста (рис. 3). Площі території із зонами щільної середньоповерхової забудови (ЛКЗ-2) у BUA-зоні є вищими та займають 10,4 % від загальної площі забудованої території. У межах BUA-зони є вищою частка багатопверхових і середньоповерхових будинків із низькою щільністю забудови (ЛКЗ-4 та ЛКЗ-5 відповідно). ЛКЗ-3 займає дуже малі території як в адміністративних межах Києва, так і в BUA-зоні – менше 0,4 %. Малоповерхова з низькою щільністю забудова (ЛКЗ-6) та споруди, що займають великий простір (ЛКЗ-8) у межах BUA становлять 4,3 та 9 % відповідно. Площі ЛКЗ-8 у BUA-зоні майже удвічі більші (порівняно з їхніми площами в адміністративних межах) за рахунок включення

територій передмість, на яких розташовані об'єкти легкої промисловості й комунально-складської забудови. На ЛКЗ-9, що відповідає приватній житловій забудові й дачним ділянкам, у BUA-зоні припадає 13,9 %. Таким чином, локальні кліматичні зони, що являють собою забудовані ділянки, займають понад 65 % території в BUA-зоні, що приблизно на 25 % більше, ніж в адміністративних межах міста. Аналіз ЛКЗ міста Києва показав, що більшість житлової забудованої території міста займають ЛКЗ-4, 5 та 9, а за рахунок включення передмістя їня частка в BUA зоні є вищою.

ЛКЗ-G (що представлена річкою Дніпро та іншими водними об'єктами міста) займає 7,9 % від загальної площі BUA. Території ЛКЗ A-D у межах BUA становлять 24,7 %, що більш ніж удвічі менше, ніж в адміністративних межах.

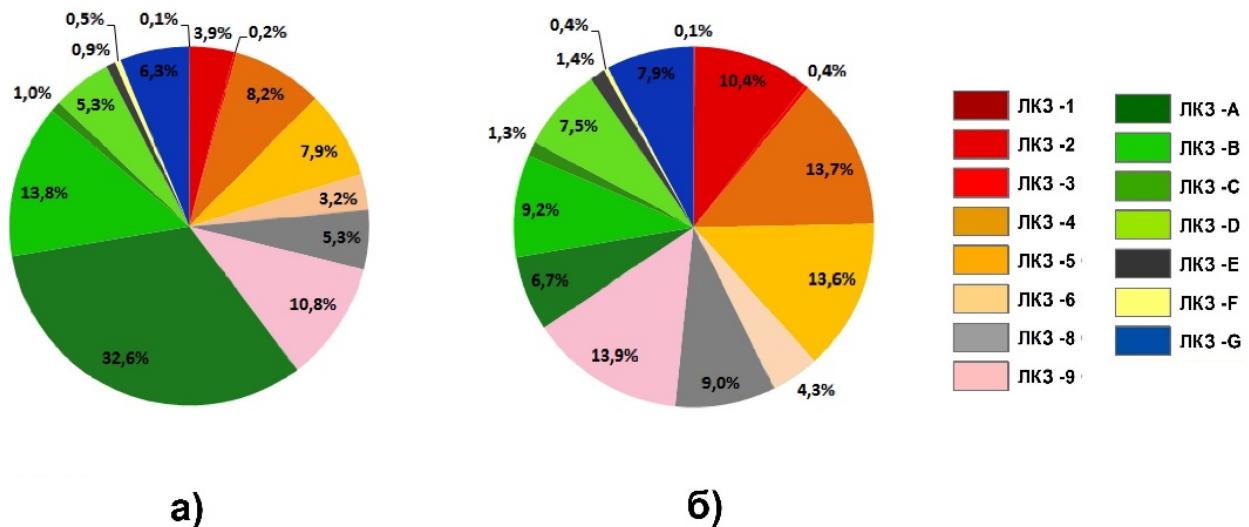


Рис. 3. Співвідношення локальних кліматичних зон (%): а) в адміністративних межах міста; б) у межах BUA зони

Висновки. Отже, у результаті аналізу локальних кліматичних зон Києва було встановлено існування суттєвих відмінностей у співвідношенні між ЛКЗ у межах адміністративних кордонів міста та в межах ВUA, що є дуже важливим для вивчення клімату міста й вирішення низки практичних задач. Площі ЛКЗ із забудованими територіями (ЛКЗ-1 – ЛКЗ-9) охоплюють близько 40 % в адміністративних межах і понад 65 % – у ВUA. Найбільші площі в межах ВUA займають ЛКЗ-4, ЛКЗ-5 та ЛКЗ-9 (висотна забудова з низькою щільністю, середньоповерхова з низькою щільністю, а також садибна зона) – 13,7, 13,6, 13,9 % відповідно. Зелені насадження (ЛКЗ-А, В, С і D) та водні об'єкти (ЛКЗ-Г) у межах ВUA становлять 32,6 %, що майже удвічі менше, ніж в адміністративних межах міста (59,0 %). Найбільшими відмінностями характеризується ЛКЗ-А (зона високих щільно посаджених дерев) – в адміністративних межах Києва на неї припадає 32,6 % території, а в межах ВUA – лише 6,7 %. Таким чином, у межах територій, де проживають і працюють жителі міста (ВUA), близько 2/3 площі – це забудовані ділянки зі штучними поверхнями, що характеризуються значно нижчим альбедо (порівняно із природними) та низькою водопроникністю, і відповідно, є сприятливими для формування мікрокліматичних особливостей.

References

1. Auer, A. H., & Jr., (1978). Correlation of Land Use and Cover with Meteorological Anomalies. In Journal of Applied Meteorology (1962–1982). American Meteorological Society. 17, 636–643. DOI: 10.2307/26178517
2. Bechtel, B., Alexander, P., Böhner, J., Ching, J., Conrad, O., Feddema, J., Mills, G., See, L., & Stewart, I. (2015). Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. ISPRS International Journal of Geo-Information, 4(1), 199–219. DOI: 10.3390/ijgi4010199
3. Chandler, T. J., (1965) The Climate of London. Hutchinson.
4. Ching, J., Brown, M., Burian, S., Chen, F., Cionco, R., Hanna, A., Hultgren, T., McPherson, T., Sailor, D., Taha And, H., & Williams, D., (2009). National urban database and access portal tool. Bulletin of the American Meteorological Society, 90(8), 1157–1168. DOI: 10.1175/2009BAMS2675.1

M. Matvienko, PhD Student,
O. Shevchenko, Dr. Sc., Geography, Associate Professor,
S. Snizhko, Dr.Sc., Geography, Professor
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF LOCAL CLIMATE ZONES OF KYIVCITY

According to the WUDAPT protocol which is based on the concept of local climate (LCZ) zones T. Oke and I. Stewart the territory of Kyiv was analyzed and was highlighted by the LCZ in the administrative boundaries of the city and within the built-up area (BUA). A map of the local climate zones of the city has been created. The existence of significant differences in the ratio between LCZs within the administrative boundaries of the city and within the BUA is disclosed. It is shown that the areas of LCZ with built-up territories (LCZ-1 – LCZ-9) cover about 40% within the administrative boundaries of Kyiv and over 65% in BUA, and green areas (LCZ-A, B, C, and D) and water bodies (LCZ-G) cover 32,6% within the BUA, which is almost twice less than within the administrative boundaries of the city (59,0%). The LCZ-A are characterized by biggest differences (dense trees) – within the administrative boundaries of Kyiv it accounts for 32,6% of the territory, and within the BUA it accounts only 6,7%. Thus, it is shown that within the territories where the citizens live and work (BUA) about 2/3 of the area is built-up areas with man-made surfaces which are characterized by a much lower albedo (compared to natural) and low water permeability, and accordingly, they are favorable for the formation of microclimatic features. The obtained results are very important for the study of microclimatic conditions and climate of Kyiv, assessment of the thermal comfort conditions of the urban environment, development of measures of adaptation the city to heat, and for solving a number of other practical problems.

Keywords: urban meteorology, city climate, urban heat island, local climate zone, WUDAPT.

M. Матвиенко, асп.,
О. Шевченко, д-р геогр. наук, доц.,
С. Снизко, д-р геогр. наук, проф.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН ГОРОДА КИЕВА

Основываясь на концепции локальных климатических (ЛКЗ) зон Т. Оке и И. Стюарта, с использованием алгоритма протокола World Urban Database and Tools Portal (WUDAPT), проанализирована территория Киева, в которой выделено ЛКЗ в административных границах города и в пределах застроенной территории (англ. – built-up area (BUA)). Создано карту локальных климатических зон города. Раскрыто наличие существенных различий в соотношении между ЛКЗ в пределах административных границ города и в пределах ВUA-зоны. Показано, что площади ЛКЗ с постройками (ЛКЗ-1–ЛКЗ-9) охватывают около 40 % в административных пределах и более 65 % – в ВUA, а зеленые насаждения (ЛКЗ-А, В, С и D) и водные объекты (ЛКЗ-Г) в пределах ВUA составляют 32,6 %, что почти вдвое меньше, чем в административных границах города (59,0 %). Наибольшими различиями характеризуется ЛКЗ-А (зона высоких плотно посаженных деревьев) – в административных пределах Киева на нее приходится 32,6 % территории, а в пределах ВUA – всего 6,7 %. Таким образом показано, что в пределах территорий, где проживают и работают жители города (ВUA), около 2/3 площади – это застроенные участки с искусственными поверхностями, которые характеризуются более низким альбедо (по сравнению с природными) и низкой водопроницаемостью, что в свою очередь является благоприятным для формирования микроклиматических особенностей. Полученные результаты очень важны для исследования микроклиматических особенностей и климата Киева, оценки комфортности урбанизированной среды, разработки мер по адаптации города к высоким температурам и для решения ряда других практических задач.

Ключевые слова: урбометеорология, городской климат, городской остров тепла, локальные климатические зоны, WUDAPT.

5. Danylo, O., See, L., Bechtel, B., Schepaschenko, D., & Fritz, S., (2016). Contributing to WUDAPT: A Local Climate Zone Classification of Two Cities in Ukraine. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 9(5), 1841–1853. DOI: 10.1109/JSTARS.2016.2539977

6. Davenport, A. G., Grimmond, C. S. B., Oke, T. R., Wieringa, J., & Society, A. M., (2000). Estimating the roughness of cities and sheltered country. American Meteorological Society, 96–99.

7. Demuzere, M., Bechtel, B., Middel, A., & Mills, G., (2019). Mapping Europe into local climate zones. PLOS ONE, 14(4), e0214474. DOI: 10.1371/journal.pone.0214474

8. Ellefsen, R., (1991). Mapping and measuring buildings in the canopy boundary layer in ten U.S. cities. Energy and Buildings, 16 (3–4), 1025–1049. DOI: 10.1016/0378-7788(91)90097-M

9. Grimmond, C. S. B., & Oke, T., (1999). Aerodynamic Properties of Urban Areas Derived from Analysis of Surface Form. Journal of Applied Meteorology, 38(9), 1262–1292. DOI: 10.1175/1520-0450(1999)038<1262:APOUAD>2.0.CO;2

10. Heolohichnoyi sluzhby SSHA [US Geological Survey] Retrieved from <http://earthexplorer.usgs.gov/>

11. Holovne upravlinnia statystyky v m. Kyievi [Main Department of Statistics in Kyiv]. Retrieved from: <http://kiev.ukrstat.gov.ua/> (In Ukrainian)

12. Oke, T., (2004). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Rep. 81, WMO/TD-No. 1250, 47 pp. [Available online at www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf]

13. Shevchenko, O., Matvienko, M., & Snizhko, S. (2020). A GIS and WUDAPT based mapping of the local climate zones in Ukrainian cities. Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020, (1), 1–5. DOI: 10.3997/12214-4609.2020geo100

14. Sida, J., Huang, F., Zhan, W., Bechtel, B., Liu, Z., Demuzere, M., Huang, Y., Qian, J., Xia, W., Ma, L., Hong, F., Jiang, L., Lai, J., Wan, C., Kong, F., Du, H., Miao S., Chen, Y., Zhang, X., (2021). Mapping Local Climate Zones: A Bibliometric Meta-Analysis and Systematic Review. OSF Preprints. Retrieved from osf.io/c2bez

15. Stewart, I., & Oke, T. (2009). Classifying urban climate field sites by "local climate zones": the case of Nagano, Japan. 7th International Conference on Urban Climate, 1-5 http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/385055-1-090515165722-002.pdf

16. Stewart, I., & Oke, T., (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bulletin of the American Meteorological Society, 93(12), 1879–1900. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1

17. Wilmsers, F., (1990). Effects of vegetation on urban climate and buildings. Energy and Buildings, 15(3–4), 507–514. DOI:10.1016/0378-7788(90)90028-h

Надійшла до редколегії 15.10.21