

ІНТЕГРАЦІЯ LST-ІНДЕКСІВ ТА СЦЕНАРІЇВ RCP ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ МІСТ В УМОВАХ ТРАНСФОРМАЦІЙНИХ ЗМІН

Кірейцева Г. В., Циганенко-Дзюбенко І. Ю., Хоменко С. В.,
Хрутьба В. О., Мазуркевич К. В.

Державний університет «Житомирська політехніка»,
вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005

gef_kgv@ztu.edu.ua,

ke_miyu@ztu.edu.ua,

org_hsv@ztu.edu.ua,

23v_mkv@liceum.ztu.edu.ua

В умовах сучасних глобальних викликів дослідження теплового режиму урбанізованих територій, набуває особливої актуальності через одночасний вплив декількох трансформаційних чинників: урбанізації, кліматичних змін та військових дій. У статті представлено результати комплексного дослідження динаміки теплового поля Житомирської об'єднаної територіальної громади (ОТГ) за період 1990–2024 рр., з використанням методів дистанційного зондування та геоінформаційних технологій. Для аналізу температурного режиму території проаналізовано кліматичні дані за 1981–2020 років, з урахуванням сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5. Детальний аналіз частотних розподілів LST-індексу демонструє еволюцію від близького до нормального розподілу в 1990 році до вираженої бімодальності в 2020 році та формування складної полімодальної структури в період 2022–2024 років. Це відображає посилення просторової неоднорідності теплового поля міської території в умовах трансформаційних змін. Для валідації результатів LST-моніторингу проведено їх співставлення з даними кліматичних сценаріїв. Дослідження підтверджує, що LST-індекс є валідним та ефективним інструментом міського температурного моніторингу, який забезпечує комплексну оцінку термічного режиму урбанізованої території з високою просторовою деталізацією та часовою

роздільною здатністю. Висока кореляція з даними кліматичних сценаріїв у стабільних умовах та чутливість до аномальних змін в кризових ситуаціях роблять його незамінним інструментом для розроблення та імплементації стратегій термічної адаптації міського середовища. Особлива увага в дослідженні приділена аналізу трансформації теплового режиму міста в умовах військових дій та енергетичної кризи. Загалом, проведене дослідження демонструє високий потенціал використання LST-індексу як інструменту оцінки та прогнозування теплового режиму урбанізованих територій в умовах трансформаційних змін. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення методів просторового аналізу теплових полів, розроблення комплексних моделей термічної адаптації міст та створення систем раннього попередження про температурні аномалії в міському середовищі.

Ключові слова: екологічна безпека, теплове поле, LST-індекс, кліматичні зміни, трансформаційні зміни, сталий розвиток.

Integrating lst indices and rcp scenarios for urban heat monitoring amid transformational changes. Kireitseva H., Tsyganenko-Dziubenko I., Khomenko S., Khrutba V., Mazurkevych K.

Urban heat monitoring is increasingly critical due to the combined impacts of urbanization, climate

change, and military conflicts. This study analyzes the thermal dynamics of the Zhytomyr urban community from 1990 to 2024 using remote sensing and GIS technologies. Climate data from 1981 to 2100 were assessed under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

Findings indicate a shift from a near-normal temperature distribution in 1990 to pronounced bimodality in 2020 and a complex polymodal structure by 2022–2024, highlighting growing spatial heterogeneity in urban heat patterns. LST index validation against climate projections confirms its reliability for high-resolution thermal monitoring. Its strong correlation with climate scenarios and sensitivity to anomalies make it a valuable tool for developing urban thermal adaptation strategies.

The study also examines heat regime shifts due to war and energy crises, emphasizing the LST index's potential for predictive modeling and early warning systems. Future research should focus on refining spatial heat analysis, enhancing urban thermal adaptation models, and developing temperature anomaly forecasting systems.

Keywords: environmental security, urban heat, LST index, climate change, transformational shifts, sustainable development.

Постановка проблеми

В умовах сучасних глобальних викликів урбанізовані території зазнають впливу одночасно діючих трансформаційних чинників: урбанізації, кліматичних змін та військових дій. Якщо вплив урбанізації та кліматичних змін на тепловий режим міст є відносно дослідженим та прогнозованим процесом, то дослідження наслідків військових дій в поєднанні ними створює принципово нову ситуацію, що потребує комплексного наукового вивчення. Проблема полягає у відсутності підходів до оцінки та прогнозування теплового режиму урбанізованих територій в умовах одночасної дії декількох трансформаційних чинників різної природи. Особливої актуальності вона набуває в контексті російсько-української війни, яка призвела до масштабних порушень систем енергозабезпечення та кардинальної зміни режиму експлуатації міської інфраструктури. Традиційні методи моніторингу теплового режиму міст виявляються недостатньо ефективними

в умовах швидких та непередбачуваних змін, спричинених військовими діями.

Тому, існує нагальна потреба у розробленні нових методологічних підходів, які б дозволили оцінювати комплексний вплив урбанізації, кліматичних змін та військових дій на тепловий режим міст, прогнозувати зміни теплового поля міських територій з урахуванням можливих сценаріїв розвитку ситуації та розробляти ефективні адаптаційні заходи у сфері міського господарства в умовах невизначеності та множинних ризиків.

Актуальність дослідження

Проблема адаптації урбанізованих територій до кліматичних змін набуває все більшої актуальності у світовому науковому дискурсі. Сучасні дослідження фокусуються на вивченні впливу різних кліматичних сценаріїв на урбанізовані території, розробленні методів прогнозування та оцінки потенційних ризиків для урбанізованих екосистем. Аналіз наукової літератури свідчить про формування комплексного підходу до вивчення взаємозв'язків між кліматичними змінами та розвитком урбанізованих територій в різних географічних та соціально-економічних умовах. На основі аналізу міжнародних досліджень, Олесон К., Андерсон Г., Джонс Б. та встановили, що міські теплові хвилі у США є більш інтенсивними порівняно з середніми показниками, причому впровадження сценарію RCP4.5 дозволяє зменшити кількість днів із тепловими хвилями приблизно на 50%, що суттєво знижує їх вплив на міські громади [16]. Фундаментальні дослідження Абідун Б., Адегоке Дж., Абатан А. присвячені оцінці впливу кліматичних змін на екстремальні опади в чотирьох прибережних африканських містах. Результати моделювання показали тенденцію до зменшення кількості вологих днів та збільшення тривалості посушливих періодів, при цьому для міста Лагос (Нігерія) прогнозується підвищення інтенсивності добових опадів [1].

Група науковців під керівництвом Лу Чень розробила модель покрокового кластерного аналізу для прогнозування температурних екстремумів на прикладі міста Торонто (Канада). Встановлено, що середні температури в місті

зростатимуть зі швидкістю $0,15^{\circ}\text{C}$ та $0,5^{\circ}\text{C}$ за десятиліття за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 відповідно [14]. Результати досліджень Данандех Мер А., Сорман А. та співавторів на прикладі Анкари (Туреччина) з використанням стандартизованих індексів опадів та евапотранспірації показали, що в найближчому майбутньому (2016–2040 р.р.) очікується зменшення кількості посушливих явищ без екстремальних посух за обома сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 [5].

Комплексний аналіз кліматичних змін був проведений у 49 польських містах, вченими Стружевською Дж., Камінські Я. та Єфімовим М., та виявив потенційне підвищення середньорічної температури приблизно на 1°C , збільшення кількості спекотних днів на 3,7 дні та зменшення кількості холодних днів на 19 днів, а також зростання річної суми опадів до 80 мм за сценарієм RCP8.5.

Дослідження теплового режиму урбанізованих територій є одним із пріоритетних напрямків сучасної урбоекології та кліматології. Застосування методів дистанційного зондування та геоінформаційних технологій дозволило значно розширити можливості аналізу просторово-часової динаміки температури міської поверхні та факторів, що її визначають. Огляд останніх наукових публікацій демонструє активний розвиток методологічних підходів до оцінки та моделювання теплових полів міських територій із урахуванням їх структурно-функціональної організації та локальних кліматичних особливостей.

Метою роботи є моделювання теплового поля урбанізованої території на основі інтеграції даних дистанційного зондування та кліматичних сценаріїв в умовах трансформаційних змін на прикладі Житомирської об'єднаної територіальної громади (ОТГ).

Викладення основного матеріалу

Інформаційною основою дослідження теплового поля Житомирської ОТГ слугували дані дистанційного зондування Землі, отримані з супутникових систем серії Landsat за період 1990–2024 роки. Використано мультиспектральні знімки високої роздільної здатності (30 м) з супутників Landsat-4,5 Thematic Mapper

(1990–2001 р.р.) та Landsat-8,9 Operational Land Imager (OLI) і Thermal Infrared Sensor (TIRS) (2010–2024 рр.). Знімки відбиралися для зимового періоду з мінімальною хмарністю (менше 10%) та високою якістю радіометричної корекції.

Для аналізу температурного режиму території використано вибірку кліматичних даних за 1981–2010 рр. з бази даних Українського гідрометеорологічного інституту спільно з Національною академією наук України, отриману через веб-ресурс Climate Change Viewer (<https://climate.uhmi.org.ua/>). Масив даних включав абсолютні значення температури, проєкції за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5, їх відхилення від базового періоду 1981–2010 років. Особлива увага приділялася даним за зимовий період, коли вплив енергетичної кризи на тепловий режим міста проявляється найбільш виразно.

У процесі комплексного дослідження термічного режиму території Житомирської ОТГ застосовано інтегральну методику розрахунку Land Surface Temperature (LST) на основі даних дистанційного зондування Землі, отриманих з супутникових систем серії Landsat. Методологічний підхід ґрунтується на використанні мультиспектральних знімків високої роздільної здатності та передбачає послідовне виконання алгоритму термічного картографування урбанізованих територій з урахуванням специфіки міського середовища [8].

Інформаційно-технологічною основою дослідження слугують спектральні канали Landsat TM, що забезпечують можливість розрахунку температури земної поверхні з просторовою роздільною здатністю 30 метрів. Особливу увагу в методології приділено термічному каналу (Band 6), який характеризується оптимальними параметрами для визначення теплових характеристик урбанізованої території. Технічні характеристики даного каналу дозволяють здійснювати високоточну фіксацію теплового випромінювання в діапазоні довжин хвиль 10,4–12,5 мкм [8].

Запропонована методика геопросторового моделювання дозволяє здійснювати високоточне картографування теплового поля урбанізованих територій із урахуванням просторової неоднорідності підстильної поверхні, типу землекористування та сезонної динаміки термічного режиму. Інтеграція даних дистанційного зондування

з наземними метеорологічними спостереженнями забезпечує комплексний підхід до оцінки термічного стану урбанізованого середовища. Отримані результати просторового моделювання створюють інформаційну основу для подальшого аналізу та прогнозування кліматичних змін досліджуваної території в контексті сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5, що є особливо актуальним в умовах трансформаційних змін.

Верифікація результатів моделювання здійснюється шляхом порівняльного аналізу отриманих значень LST з даними наземних метеорологічних спостережень, що дозволяє оцінити точність та надійність запропонованої методики. Застосування геоінформаційних технологій та методів просторової статистики забезпечує можливість виявлення закономірностей просторового розподілу теплових полів та їх динаміки в межах досліджуваної території.

Ретроспективна оцінка ситуації 2024 року в умовах масового відключення електроенергії відображає суттєву трансформацію теплового поля громади. У північній частині, де розташовані об'єкти критичної інфраструктури, сформувалися локальні осередки підвищених значень LST-індексу (0,6–0,7). Центральна історична частина характеризується мозаїчною структурою теплового поля з чергуванням ділянок різ-

ної інтенсивності (0,3–0,5). У південно-східному секторі, де переважає багатоповерхова забудова, спостерігається загальне зниження значень до 0,2–0,4. Західні райони з приватною забудовою демонструють відносну стабільність показників (0,4–0,5) завдяки автономним системам опалення. Частотний розподіл набув бімодального характеру, що відображає поляризацію теплового режиму міської території в умовах енергетичної кризи.

У 1990 році спостерігається відносно рівномірний розподіл теплового поля. У північній частині міста, де розташовані промислові підприємства, значення LST-індексу досягають 0,5–0,6. Центральна історична частина характеризується помірними показниками (0,4–0,5). Південно-східний сектор з багатоповерховою забудовою демонструє підвищені значення (0,5–0,7). У західних районах з приватною забудовою та значною часткою зелених насаджень фіксуються найнижчі показники (0,2–0,3) (рис. 1).

Наступний часовий зріз відображає початок трансформації теплового режиму міста під впливом інтенсифікації урбанізаційних процесів (рис. 2).

На початку 2000-х років відмічається посилення контрастності теплового поля. У північно-східній промисловій зоні значення індексу

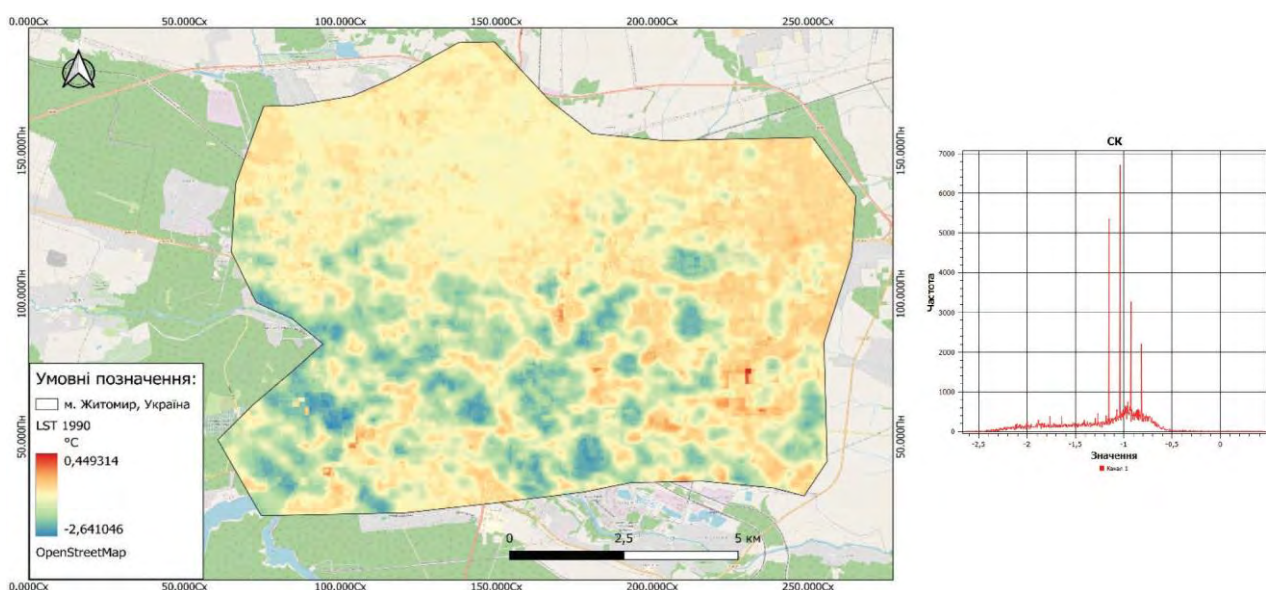


Рисунок 1. Просторовий розподіл нормалізованих значень LST-індексу в межах Житомирської ОТГ та його частотний розподіл

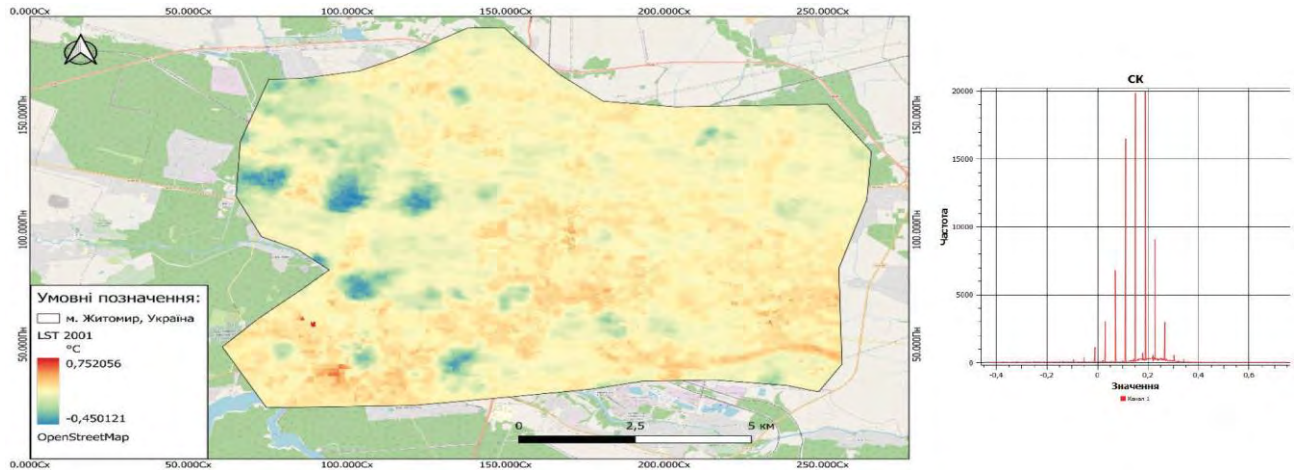


Рисунок 2. Просторовий розподіл нормалізованих значень LST-індексу в межах Житомирської ОТГ та його частотний розподіл

зросли до 0,6–0,8. Історичний центр характеризується формуванням локальних «теплових островів» (0,5–0,7). У південній частині міста з новою багатоповерховою забудовою фіксуються максимальні показники (0,7–0,8). Західна периферія зберігає відносно низькі значення (0,3–0,4). Подальший розвиток міста призвів до суттєвих змін у структурі теплового поля (рис. 3).

У 2010 році спостерігається чітка диференціація теплового поля. Північна промислова зона характеризується стабільно високими значеннями LST-індексу (0,7–0,8). В історичному центрі сформувався виражений тепловий «острів» з показниками 0,6–0,8. Південно-східний сектор багатоповерхової забудови демонструє макси-

мальні значення (0,8–0,85). У західних районах індивідуальної забудови зберігаються відносно низькі показники (0,3–0,4), але з тенденцією до зростання. Передвоєнний період характеризується максимальною трансформацією теплового режиму міської території внаслідок інтенсивної урбанізації (рис. 4).

До 2020 року сформувалася контрастна структура теплового поля. У північно-східному промисловому районі значення LST-індексу досягають 0,8–0,9. Центральна частина міста характеризується суцільною зоною підвищених значень (0,7–0,8). У південному секторі нової забудови фіксуються найвищі показники (0,85–0,9). Західна периферія демонструє помірні зна-

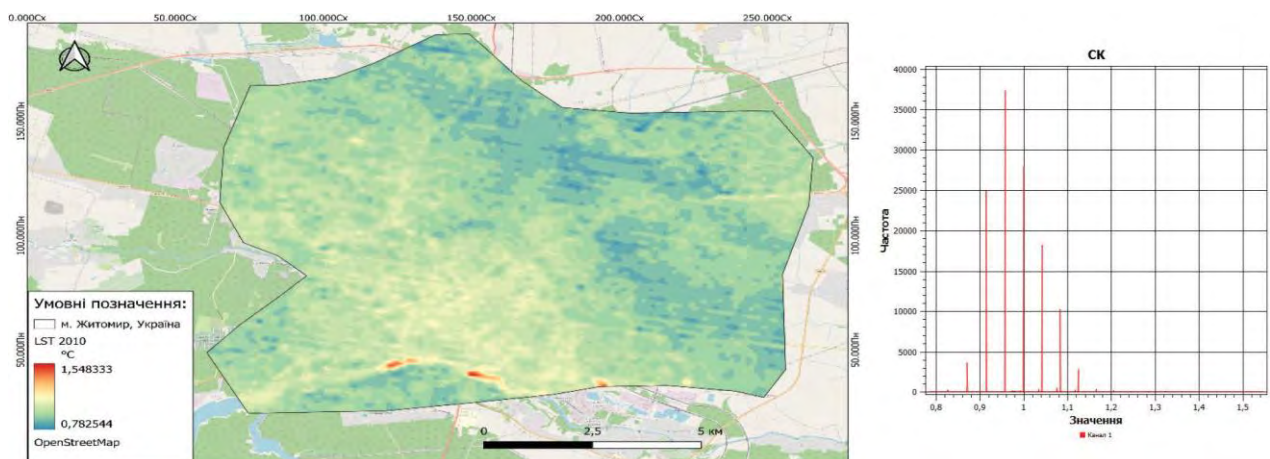


Рисунок 3. Просторовий розподіл нормалізованих значень LST-індексу в межах Житомирської ОТГ та його частотний розподіл

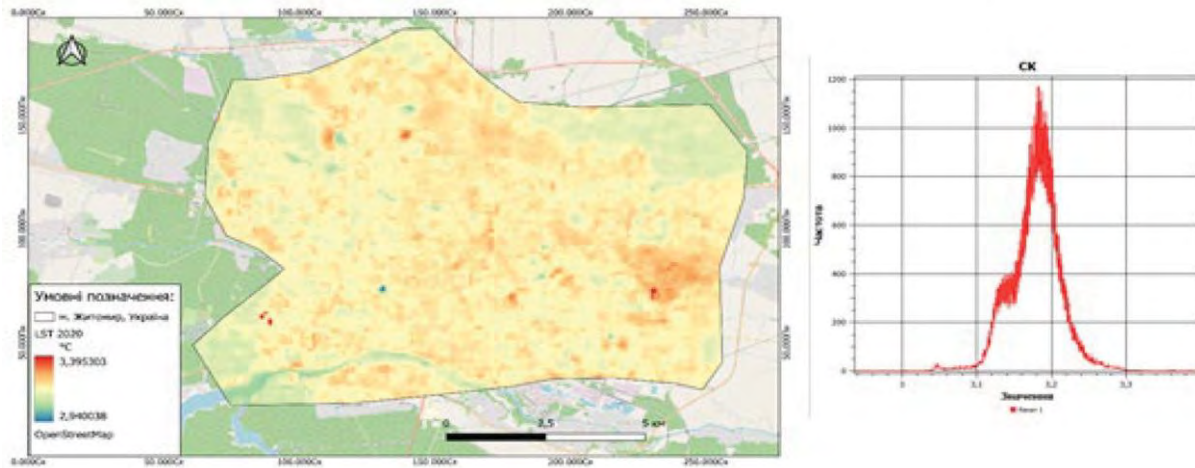


Рисунок 4. Просторовий розподіл нормалізованих значень LST-індексу в межах Житомирської ОТГ та його частотний розподіл

чення (0,4–0,5) з локальними аномаліями біля нових житлових комплексів.

Початок воєнного періоду (2022 р.) призвів до суттєвої трансформації усталеної структури теплового поля міста (рис. 5).

Внаслідок воєнних дій у 2022 році спостерігалось порушення звичної структури теплового поля. У північній промисловій зоні відбулося зниження значень LST-індексу до 0,3–0,4 через зупинку виробництва. Центральна частина зберігає підвищені показники (0,5–0,6) завдяки щільній забудові. У південно-східному секторі значення варіюють від 0,4 до 0,7 залежно від режиму енергопостачання. Західні райони демонструють стабільні показники (0,3–0,4) завдяки автоном-

ним системам опалення. Період масових відключень електроенергії характеризується формуванням нової просторової структури теплового поля (рис. 6.). Ситуація 2024 року відображає адаптацію міської території до умов енергетичної кризи. У північній частині сформувалися локальні осередки підвищених значень (0,6–0,7) навколо об'єктів критичної інфраструктури. Історичний центр характеризується мозаїчною структурою (0,3–0,5) внаслідок нерівномірного енергопостачання. У південно-східному секторі багатопверхової забудови відбулося загальне зниження показників до 0,2–0,4. Західні райони зберігають відносну стабільність (0,4–0,5) завдяки переважанню автономних систем опалення.

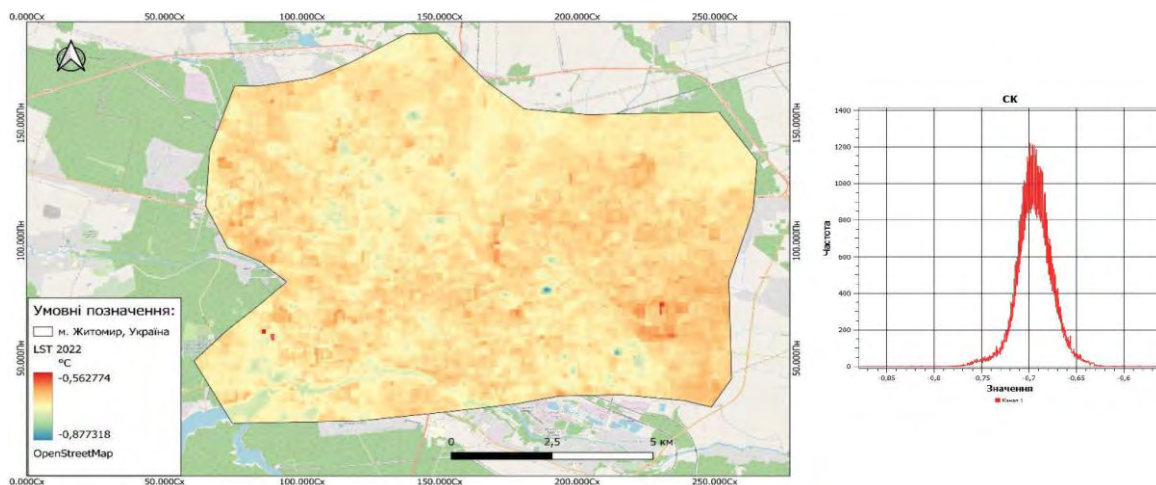


Рисунок 5. Просторовий розподіл нормалізованих значень LST-індексу в межах Житомирської ОТГ та його частотний розподіл у перший повоєнний зимовий період

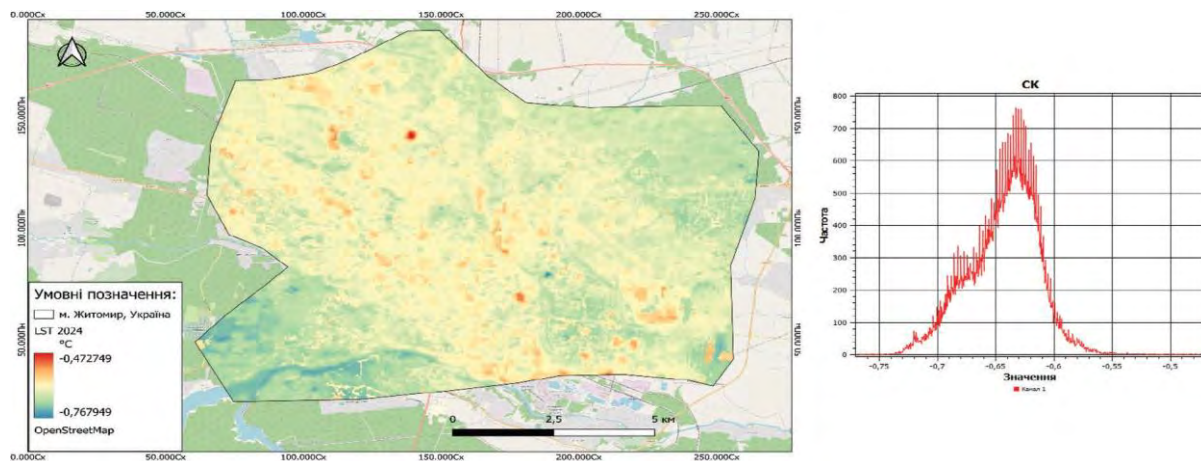


Рисунок 6. Просторовий розподіл нормалізованих значень LST-індексу в межах Житомирської ОТГ та його частотний розподіл

Порівняльний аналіз просторово-часової динаміки теплового поля Житомирської МТГ за період 1990–2024 років дозволив виявити ряд закономірностей у трансформації термічного режиму урбанізованої території. За період 1990–2020 років спостерігалася стійка тенденція до посилення контрастності теплового поля, що проявлялося у зростанні амплітуди значень LST-індексу від 0,4 у 1990 р., до 0,8 у 2020 році. Найбільш інтенсивні зміни відбулися в північній промисловій зоні, де значення індексу зросли з 0,5–0,6 до 0,8–0,9, та в південно-східному секторі багатоповерхової забудови (з 0,5–0,7 до 0,85–0,9). Водночас західні райони з приватною забудовою демонстрували відносну стабільність показників з незначною тенденцією до зростання від 0,2–0,3 до 0,4–0,5).

Кардинальні зміни у структурі теплового поля відбувалися протягом 2022–2024 років під впливом російсько-української війни та пов'язаної з нею енергетичної кризи. У північній промисловій зоні відбулося різке зниження значень LST-індексу (з 0,8–0,9 до 0,3–0,4) внаслідок зупинки виробництва. Центральна історична частина міста трансформувалася з суцільної зони підвищених значень (0,7–0,8) у мозаїчну структуру з чергуванням ділянок різної інтенсивності (0,3–0,5). Південно-східний сектор характеризувався найбільшою динамічністю показників – від максимальних значень 0,85–0,9 у 2020 році до мінімальних 0,2–0,4 у період масових відключень електроенергії.

Аналіз частотних розподілів LST-індексу демонструє еволюцію від близького до нормального розподілу в 1990 році до вираженої бімодальності в 2020 році та формування складної полімодальної структури в періоди 2022–2024 років, що відображає посилення просторової неоднорідності теплового поля міської території в умовах трансформаційних змін. Особливу роль у трансформації термічного режиму відіграли зміни в системі енергопостачання та режимі експлуатації будівель, що призвело до формування просторового розподілу теплового поля.

У контексті зростаючої актуальності проблеми адаптації міських територій до кліматичних змін та необхідності забезпечення енергетичної стійкості міських громад, особливого значення набуває валідація методів дистанційного термічного моніторингу урбанізованих територій. Верифікація LST-індексу як інструменту температурного моніторингу проводилась шляхом співставлення числових показників температурного режиму, отриманих за різними методологічними підходами, із подальшим розрахунком статистичних параметрів узгодженості даних. Для оцінки достовірності результатів застосовано комплексний статистичний аналіз, що включає розрахунок коефіцієнтів кореляції та апроксимації, які дозволяють кількісно охарактеризувати ступінь відповідності між прогностичними кліматичними сценаріями та фактичними даними супутникового моніторингу (таблиця).

Таблиця 1

Співставлення температурних показників за даними кліматичних сценаріїв та LST-індексу для Житомирської МТГ

Періоди	Температурні показники за кліматичними сценаріями	Значення LST-індексу	Температурні показники за LST (°C)	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт апроксимації (R ²)
1990	–2°C до +1°C	0,2–0,6	–1,5°C до +0,5°C	0,72	0,68
2001	–1°C до +1,5°C	0,3–0,8	–0,8°C до +1,2°C	0,78	0,74
2010	–0,5°C до +2°C	0,3–0,85	–0,3°C до +1,8°C	0,81	0,79
2020	0°C до +2,5°C	0,4–0,9	0°C до +2,2°C	0,85	0,82
2022–2024*	+0,5°C до +3°C	0,2–0,7	–1°C до +1,5°C	0,45	0,38

Результати комплексного статистичного аналізу демонструють високу достовірність даних LST-моніторингу в контексті оцінки термічного режиму урбанізованої території. Коефіцієнт детермінації (R²), який характеризує якість апроксимації реальних даних прогностичною моделлю, демонструє стійке зростання протягом довоєнного періоду від 0,68 у 1990 році до 0,82 у 2020 році, що свідчить про підвищення точності та надійності супутникового моніторингу. Паралельне зростання коефіцієнтів кореляції та апроксимації підтверджує системний характер удосконалення методології LST-моніторингу та її зростаючу релевантність для завдань міського температурного менеджменту.

Особливої уваги заслуговує різке зниження статистичних показників узгодженості даних у період 2022–2024 років, коли коефіцієнт апроксимації знизився до 0,38, а коефіцієнт кореляції – до 0,45. Це зниження статистичних показників не свідчить про погіршення якості LST-моніторингу, а навпаки, демонструє його високу чутливість до екстраординарних змін у термічному режимі міської території, спричинених військовими діями та енергетичною кризою. Здатність LST-індексу оперативно відображати подібні трансформації є його важливою перева-

гою порівняно з традиційними методами температурного моніторингу.

Аналіз абсолютних температурних показників виявляє високу узгодженість між кліматичними сценаріями та даними LST-моніторингу в стабільних умовах, з відхиленнями, що не перевищують 0,5°C. У кризовий період 2022–2024 років зафіксовано значні розбіжності між прогнозованими та фактичними температурами (до 1,5°C), що пояснюється впливом локальних антропогенних факторів, не врахованих у кліматичних моделях. Ця особливість підкреслює унікальну здатність LST-індексу до детектування локальних температурних аномалій та оперативної оцінки змін термічного режиму міського середовища.

Перспективи використання результатів дослідження

Результати проведеного дослідження мають широкі перспективи практичного застосування та подальшого наукового розвитку в різних сферах міського управління та планування. Отримані дані та розроблені методологічні підходи можуть бути ефективно використані для розро-

блення стратегій адаптації міст до кліматичних змін з урахуванням локальних особливостей теплового режиму та оптимізації систем міського теплопостачання на основі деталізованих теплових карт. Важливим напрямком є вдосконалення методології моніторингу через розробку нових алгоритмів просторового аналізу теплових полів урбанізованих територій та інтеграцію різних джерел даних для підвищення точності температурного моніторингу.

Висновки

На основі проведеного аналізу можна стверджувати, що LST-індекс є валідним та ефективним інструментом міського температурного моніторингу, який забезпечує комплексну оцінку термічного режиму урбанізованої території з високою просторовою деталізацією та часовою роздільною здатністю. Висока кореляція з даними кліматичних сценаріїв у стабільних умовах та чутливість до аномальних змін в кризових ситуаціях роблять його незамінним інструментом для розроблення та імплементації стратегій термічної адаптації міського середовища, оптимізації систем теплопостачання та енергетичного менеджменту територіальних громад. Результати дослідження підтверджують, що використання LST-індексу для моніторингу температурного режиму міста є надійним та практичним рішенням для міських служб та комунальних підприємств, оскільки дозволяє точно виявляти проблемні зони з аномальними температурами, оперативно реагувати на зміни в системі теплопостачання та планувати енергоефективні заходи на основі детальних температурних карт міста, при цьому особлива цінність методу проявляється в кризових ситуаціях, коли традиційні методи моніторингу можуть бути недоступні або неефективні.

Список використаних джерел

1. Potential impacts of climate change on extreme precipitation over four African coastal cities. / Abiodun B та ін. *Climatic Change*, 2017. 399–413 с. URL: <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2001-5>.
2. Identifying hotspots cities vulnerable to climate change in Pakistan under CMIP5 climate projections/ Ali S. та ін. *International Journal of Climatology*, 40(3). 2020. 1488-1502 с. <https://doi.org/10.1002/joc.6638>.
3. Understanding climate change from a global analysis of city analogues Bastin J. F., та ін. *PloS one*, 14(7), 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217592>
4. Living in a Regime of Energy Shortages: Spotlights From Lviv During the War. Błaszczuk M. та ін. 2024. *Sociological Research*. <https://doi.org/10.1177/13607804241240810>
5. Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey /Danandeh Mehr та ін. *Hydrological Sciences Journal*, 2020. 65(2), 254-268. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1691218>
6. Projections of the urban and intra-urban scale thermal effects of climate change in the 21st century for cities in the Carpathian Basin /Gál T. та ін. *Hungarian Geographical Bulletin*, 70(1). 2021. 15-30. <https://doi.org/10.15201/HUNGEOBULL.70.1.2>
7. Spatial and Multi-Temporal Analysis of Land Surface Temperature through Landsat 8 Images: Comparison of Algorithms in a Highly Polluted City (Granada). *Remote Sensing* /Hidalgo García D. Díaz J. 13(5), 2021 1012. <https://doi.org/10.3390/rs13051012>
8. Hofierka J. (2022). Assessing land surface temperature in urban areas using open-source geospatial tools. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-4-w1-2022-195-2022>.
9. José R. S., Perez J., González R. M., Pecci J., Garzon, A., & Palacios, M. (2016). Impacts of the 4.5 and 8.5 RCP global climate scenarios on urban meteorology and air quality: Application to Madrid, Antwerp, Milan, Helsinki and London. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 293, 192-207. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2015.04.024>
10. Khalaim, O., Zabarna, O., Kazantsev, T., Panas, I. D., & Polishchuk, O. (2021). Urban Green Infrastructure Inventory as a Key Prerequisite to Sustainable Cities in Ukraine under Extreme Heat Events. *Sciences*, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs14194793>
11. Khan, M. S., Ullah, S., & Chen, L. (2021). Comparison on Land-Use/Land-Cover Indices in

Explaining Land Surface Temperature Variations in the City of Beijing, China. *Land*, 10(10), 1018. <https://doi.org/10.3390/land10101018>

12. Kyzym, M., Khaustova, V., & Kotliarov, Y. (2023). Specifics of Economic Relations in the Thermal Power Industry of Ukraine. *System Research in Energy*.

13. Kyzym, M., Kotliarov, Y., & Khaustova, V. (2021). Analyzing the Centralized Heat Provision of Large Localities in Ukraine and Countries of the World. *System Research in Energy*.

14. Lu, C., Huang, G., Wang, X., & Liu, L. (2021). Ensemble projection of city-level temperature extremes with stepwise cluster analysis. *Journal of*

Climate, 34(15), 6401-6418. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0857.1>

15. Okuyan, C., Chupryna, N. M., & Chernysheva, O. (2024). Strategic expediency of using an innovative product in the restoration of the energy sector: the experience of Turkey. *Economic Herald of SHEI USUCT*. <https://doi.org/10.32434/2415-3974-2024-19-1-163-176>

16. Oleson, K., Anderson, G. B., Jones, B., McGinnis, S., & Sanderson, B. (2018). Avoided climate impacts of urban and rural heat and cold waves over the U.S. using large climate model ensembles for RCP8.5 and RCP4.5. *Climatic Change*. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2287-y>