



DOI: 10.36023/ujrs.2020.25.172

УДК 504.064.3:(528.831.5:629.783)

## Моніторинг теплового поля поверхні колишніх виробничих зон і промислових об'єктів м. Київ за супутниковими даними

Л. П. Ліщенко\*

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, вул. Олесь Гончара 55-Б, Київ, Україна, 01054

В межах міського острова тепла, що існує над м. Київ розподіл температури суттєво залежить від ландшафтно-функціональної структури міста, а саме — від ступеня нагрівання і випромінювання земних покривів, їх співвідношення та змін, що відбуваються з часом. За тепловими діапазонами супутникових даних місії Landsat розглянуто яким чином, і де саме відбуваються зміни температури поверхні землі (LST — *Land Surface Temperature*) з 1985 до 2018 року. Просторово-часовий аналіз LST виконано за допомогою профілів, що перетинають промислово-виробничі та постіндустріальні території Києва. На прикладі Шулявської і Святошинської промислових зон, що історично склалися у центральній та західній частині міста показано, що такі території мають підвищений рівень температури поверхні через збільшення щільності поверхонь із штучним покриттям. Хоча дані території зазнали значних перетворень і зниження рівня виробничого навантаження, але їх постіндустріальна трансформованість на сьогоднішній день, на жаль, не відповідає вимогам ревіталізації. Найбільш інтенсивні прирости температур фіксуються на околицях міста в місцях нового житлового будівництва і знищення природних ландшафтів, що суттєво розширило межі теплового острова Києва. Аналіз наземної температури за сезонами показав, що теплові аномалії над виробничими зонами є постійними, але влітку амплітуда коливань LST між виробничими та лісопарковими зонами досягає 15°C.

**Ключові слова:** супутникові дані, температура поверхні землі (LST), виробничі території, урбанізовані території, ландшафтно-функціональні зони, температурне профілювання

© Л. П. Ліщенко. 2020

### 1. Вступ

На явище появи та існування теплових аномалій над містами людство звернуло увагу ще на початку XIX сторіччя. З часом дослідження міських теплових островів (*Urban Heat Island*) стало окремим науковим напрямком у кліматології та екології міст (Hoyano et al., 1999; Quattrochi et al., 1999, 2004; Li et al., 2012; Kottmeier et al., 2007; Lurie, 2014). Однією з причин появи теплових островів у містах є різке скорочення зелених насаджень у забудованих районах та збільшення поверхонь зі штучним покриттям на фоні зростання рівня техногенного навантаження. Це явище стало особливо відчутним з розширенням урбанізованих територій, зростанням економічного потенціалу міст, глобальним потеплінням в містах помірних широт. В межах міського острова тепла розподіл температури сильно залежить від ландшафтно-функціональної структури міста, а саме — від ступеня нагрівання і випромінювання земних покривів та від екологічних змін, що відбуваються з часом. Київ — це місто, яке зазнає значних часових трансформацій власної структури, що відображає просторовий розподіл теплового поля поверхні.

### 2. Постановка задачі

Метою нашої роботи було дослідження змін теплового поля поверхні сучасних і колишніх виробничих зон Києва внаслідок їхньої трансформації. Для цього було використано дані інфрачервоного (IR) та теплового (TIR) діапазонів сканерних зображень, отриманих штучним супутником Землі Landsat-5, 7, 8 за певний період часу. Необхідно було також визначити, як проявляються перевищення LST над виробничими зонами у різні сезони протягом одного року (весна, літо, осінь). Для даного дослідження було застосовано метод закладання трансект або профілів, що перетинають основні промислові зони міста: Шулявську, Святошинська, Дарницьку та Куренівську.

Встановлено (Філіпович та ін., 2014; Крилова, 2014; Горний та ін., 2017), що, в межах теплового острова над Києвом, температури, окрім сезонних, кліматичних причин, коливаються у часі і просторі. Ці коливання пов'язані з антропогенною діяльністю — викидом у повітряний басейн міста великих об'ємів тепла від промислових об'єктів та автотранспорту. При вивченні земних покривів Києва за гіперспектральними супутниковими даними (Якимчук та ін., 2008) було виділено 9 класів ландшафтно-функціональних зон: 3 типи селитебної забудови — 1) високо-, 2) середньо- та 3) низькоповерхова (садибна), 4) промислова зона, 5) лісопаркові зони з деревною рослинністю, 6) зони трав'янистої рослинності, 7) незабудовані відкриті поверхні (піщані), 8) дорожньо-транспортні і комунікаційні об'єкти, 9) водна поверхня.

\*E-mail: [Lischenko.lp@gmail.com](mailto:Lischenko.lp@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-6766-6884>  
 Тел.: + 380 98 317 11 37  
 Resercher ID AAG-3610-20

Класифікація поверхні міста за тепловими характеристиками суттєво відрізняється від цієї схеми і базується лише на градієнтній складовій теплового поля, яка часто не співпадає з ландшафтно-функціональною структурою. Земна поверхня вкрита штучним покриттям (деякі автори називають його непроникним (Weng et al., 2004), може бути розділена на поверхні з низьким та високим альбедо (коефіцієнт дифузного відбиття, тобто відношення світлового потоку, розсіяного плоским елементом поверхні у всіх напрямках до потоку, що падає на цей елемент). Природні поверхні (проникні) також мають різні коефіцієнти відбиття — від мінімальних (згарища, чорна рілля), до максимальних (пісок, сніг). Поверхні вкриті деревною рослинністю поглинають тепло. Фрагменти зображення з низьким альбедо, відповідають водній поверхні, тіням, щільній непроникній поверхні рослинності та будівлям з темними дахами. Образи існуючих на земній поверхні об'єктів не співпадають з тим, як вони виглядають на тепловому зображенні, отже лише за тепловим полем неможливо інтерпретувати ландшафтну структуру території. Це треба робити в комплексі з інформацією у видимому діапазоні або комплексно, застосовуючи різні похідні спектральних композицій багатоспектральних космічних знімків (БКЗ) та індексні характеристики. Слід пам'ятати, що теплова характеристика дуже швидкоплинна і порівняння абсолютних температур поверхні можливе лише для схожих погодних умов у часі або в межах одного знімку у просторі.

Непроникні штучні земні покриви є важливим показником оцінки якості міського навколишнього середовища і менш піддаються сезонним змінам аніж природні типи — вода, деревна рослинність, ґрунтово-рослинний покрив. Зміна проникності рослинного покриву має сезонні коливання, що є особливо важливим для міст розташованих у помірних широтах; отже захисний, знижуючий температуру, вплив рослинності спостерігається лише у вегетаційний період і дуже залежить від типу рослинності (трава, чагарники, дерева). Цей фактор, у свою чергу залежить від зімкнутості крони, площі листової поверхні і може бути охарактеризований показником NDVI (*нормалізований диференційний вегетаційний індекс*). За даними деяких дослідників (Li et al., 2012; Ogashawara et al., 2012; Mumina, 2014) коефіцієнт кореляції LST з вегетаційними індексами для території з рослинним покривом складає до 0.86, а за нашими дослідженнями досягає лише 0.67 на лісових масивах південної України. Для штучних покривів залежності пов'язуються з властивостями матеріалу і його кольором. Збільшення щільності забудови, а отже і площ непроникних поверхонь, що мають вищий показник теплоємності матеріалів із яких вони складаються, сприяють збільшенню нагрівання та теплового випромінювання над даними об'єктами у порівнянні з природними. Над промисловими територіями та окремими осередками виробництва встановлюється стійка тепла аномалія на фоні навколишньої території у всі сезони року. Відповідно до теоретичних уявлень (Горный и др., 1993) відсутність випаровування і низька теплова інерція призводить до швидкого прогрівання виробничих зон.

До виробничих відносяться території промисловості (промислові зони, промислові райони, групи підприємств, підприємства), інноваційного розвитку (технопарки, індустриальні парки), комунально-складські та об'єкти транспортної інфраструктури ([http://dipromisto.gov.ua/files/NMD/PT7\\_II.pdf](http://dipromisto.gov.ua/files/NMD/PT7_II.pdf)). Виробничі території Києва в минулому являли собою як цілі зони, так і окремі промислові комплекси (заводи, виробничі об'єднання), на теплових зображеннях вони характеризуються найвищими значеннями температури. Це

викликає утворення великих ареалів підвищеного прогрівання поверхневої температури у середмісті, а отже і збільшення приземної температури повітря в межах міста. Все це у літні місяці несприятливо впливає на життєдіяльність і комфортність існування мешканців мегаполісу. У зимовий період наявність виробничих зон навпаки, згладжує контрастність перепадів LST.

За даними Г. П. Підгрушного (Підгрушний, 2018), за останні двадцять років площі виробничих зон сильно зменшилися, але на їх місці залишаються постіндустріальні території — браунфілди (*brownfield*). Темпи скорочення чисельності зайнятих у промисловості виробничих територій Києва за період 1990–2016 рр. склали 52.8 %. Нині близько 40% київських підприємств вже не функціонують.

У Києві за останні двадцять років припинила свою діяльність низка крупних заводів важкого, хімічного та промислового машинобудування тощо. При скороченні виробництва площі, задіяні під нього, не змінилися, але відбулося функціональне перепрофілювання території. Внаслідок дефрагментації великих промислових підприємств, зросла їх загальна їх кількість. Так, якщо у 1990 році у місті їх нараховувалося близько 300, то у 2016 році ця цифра складала понад 670 (Підгрушний та ін., 2018). На супутниковому зображенні такі зони продовжують виділятися за тими ж самими фізіономічними ознаками, але насправді, їх функціональне призначення стало іншим. Лише деякі з них повністю рекультуровані, але в більшості після реконструкції колишні цехи, майстерні та допоміжні виробничі площі використовуються під торговельні і розважальні центри, офісні та складські приміщення. В останні роки старі споруди на території виробничих об'єктів зносять, а на їхньому місці будують нові житлові комплекси з доволі високою щільністю забудови та площею штучних непроникних поверхонь. Облаштування “зелених дахів”, озеленення нових житлових масивів поки що не набуло у Києві суттєвих масштабів.

### 3. Методика досліджень

Застосування IR та TIR діапазонів для вивчення теплового поля поверхні та способи обчислення актуальної температури розглянуто в ряді публікацій (Kottmeier et al., 1999; Weng et al., 2004; Voogt, 2014; Li et al., 2012). В своїй роботі ми використовуємо попиксельний розрахунок температури земної поверхні через спектральну щільність енергетичної ясності наземної температури для всіх даних Landsat, отриманих сенсорами MSS, TM, ETM+ та OLI, починаючи з 1985 року. Ці радіаційні значення модифікуються, обчислюються за оберненою формулою Планка з врахуванням індексу NDVI та застосовуються для теплових каналів з поправкою на сенсор. Методику розрахунків представлено в роботі (Станкевич та ін., 2015). Отримані дані зводяться до просторового розрізнення 30 м на піксел.

В результаті обробки отримується часовий ряд просторових зображень LST, що можуть бути представлені як в ізолініях, так і кодами кольору цифрового зображення. Для кращої візуалізації результатів аналізу застосовується метод профілювання, який на наш погляд, є найбільш оптимальним для демонстрації змін поверхневих температур, поряд з методом просторового аналізу, що показує загальні зміни LST для певного ареалу (місто, район, ландшафт, об'єкт). На профілі можна представити будь-яку кількість часових зрізів у вигляді кривих зі значенням температури поверхні. Профіль закладають так, щоби він перетнув найбільш характерні ділянки різних ландшафтно-функціональних зон, він траєкторія через певні точки, які надалі аналізуються в залеж-

ності від необхідності вивчення LST конкретного об'єкту або ділянки. Тобто, закладаються лінійні трансекти (розрізи), на яких порівнюється ландшафтна ситуація і характер поведінки температурних кривих. Цей метод застосовується, коли необхідно порівняти одночасно просторові та часові зміни певного комплексу об'єктів, у нашому випадку для історичного аналізу промислових зон у межах урбанізованих територій.

В процесі інтерпретації використовуються не стільки абсолютні показники температури поверхні та розміщення кривих одна відносно іншої на температурній осі, а аналізується характер поведінки кривої LST — підйом, падіння, нахили або синхронізація у їхньому накресленні на конкретних об'єктах чи в межах певних ландшафтно-функціональних зон. При залученні часового ряду знімків, також є можливим розрахунок середніх значень за весь період та визначення приросту температури поверхні у долях градуса за рік для певних об'єктів чи площ.

Отже, при моніторингу теплового поля земного покриву коректно використовувати:

- при просторовому аналізі — відносні величини температур або температурні градієнти, які існують на даний час між різними об'єктами;
- при часовому аналізі — тенденції змін або кореляційні залежності, що мають місце для певної точки простору.

#### 4. Результати досліджень

На конкретних прикладах виробничих зон міста Києва розглянуто як відображаються сучасні і колишні промислові зони в тепловому полі поверхні міста у літній період і як проявляються їх трансформації з часом. Проведено геомоніторинг теплового поля з використанням показників LST, розрахованих за даними Landsat з 1985 до 2018 рік. Для детального аналізу було використано метод профілювання, закладені лінійні трансекти, які перетинають основні промислові зони міста.

Шулявська виробнича зона розташована в центральній частині міста. Сформована як промислова зона ще у XIX сторіччі, вона займала значні площі уздовж Брест-Литовського шосе (нині проспект Перемоги) (Рис. 1). З південної сторони від шляху знаходилась низка заводів: Перший механічний — “Більшовик”, ваговий — “ВО ВЕДА”,

приладобудівний — “ВО Київприлад”, гіпсовий, арматурний, стінових конструкцій та інші. На цих територіях були чавунно- і сталеливарні, механічні, механоскладальні, ковальські цехи, залізничні під'їзні колії, тут випускалось устаткування для різних видів народного господарства, в тому числі хімічного виробництва. На північ від проспекта Перемоги також були задіяні великі площі під виробничі підприємства, а саме — типографія і видавництво “Радянська Україна”, експериментальний хлібозавод, ВО “Росинка”, тролейбусний парк та ціла низка підприємств і майстерень уздовж вулиці Дегтярівської. На сьогоднішній час тільки частина площ використовується за призначенням, інша територія перепрофільована і зазнає змін, наприклад навкруги Шулявського мосту тощо.

За даними космічних знімків Landsat-5, 7, 8 у видимому діапазоні для літніх місяців, починаючи з 1985 до 2018 року, були проаналізовані зміни ландшафтно-функціональної структури що відбулися на даній території протягом 33 років та порівнювалися зі змінами LST, що були розраховані за TIR каналами Landsat за цей же період. Для цього було проведено профіль А–Б з заходу на схід паралельно п. Перемоги на 100 м південніше (Рис. 2), що перетинає стару забудову зі зрілими деревними насадженнями у дворах по вул. Шутова (точка 1 профілю) — територію заводу Київприлад (точка 2) — територію заводу Більшовик (точка 3) — сквер і нову високоповерхову забудову (точка 4) — стару забудову із озелененими дворами (точка 5) — висотний будинок по вул. Янгеля та лісопарк КПІ із змішаною деревною рослинністю (точка 6).

Криві LST на 13 часових зрізах за профілем через Шулявську виробничу зону представлено на графіку (Рис.3). Аналізуючи їх характер відзначимо, що аномалія в районі Шулявської промзони завжди мала місце, тому що тут знаходяться великі за розміром пласкі дахи заводських цехів, у внутрішніх дворах заводів існують великі площі поверхонь із штучним покриттям — асфальт, бетон, залізничні колії, складувальні майданчики, окремі будівлі допоміжних майстерень, гаражів, складських приміщень, смітників тощо — (“Більшовик”, ВЕДА, Київприлад, КНАУФ, АРМА) та об'єкти, що згодом успадкували дані приміщення під офіси (ІНКОМ, Готель, ТРЦ “Більшовик” та ін.). Дана територія перетинається широкими напруженими автомагістралями та мостом, які також значно підсилюють теплову аномалію.

Температура поверхні над цими об'єктами досягала в літні

Дані КЗ Landsat, що використані для моніторингу розподілу поверхневих температур у м. Київ

№	Дата зйомки	Розраховані показники				Температура повітря за даними метеостанцій (°C)
		Мінімальні	Максимальні	Середні	St Dev відхилення	
1	25.08.1985	20.265320	41.804596	28.149392	3.326605	22.4
2	28.06.1987	13.600037	47.992950	28.621707	3.692677	21.9
3	16.07.1988	8.378601	42.492188	27.802268	2.768522	24.5
4	11.07.1989	21.445007	53.430969	35.146957	4.215933	25.5
5	06.07.1990	19.263947	41.714691	27.293968	2.811412	23.2
6	27.07.1992	23.457306	49.473328	32.527232	3.963408	23.1
7	17.07.1994	15.172119	50.058075	31.125701	3.644341	-
8	21.06.2002	14.126465	54.067108	33.442136	4.053045	32.0
9	28.07.2004	2.568390	45.002167	29.782531	4.613154	30.0
10	31.07.2005	25.354309	45.526245	32.025441	2.892209	33.0
11	06.08.2013	25.796173	53.125458	35.348483	3.310985	26.0
12	29.07.2016	26.154266	51.439423	35.278357	2.876127	30.0
13	01.08.2017	14.924377	47.663208	32.810956	4.143557	30.0
14	04.08.2018	16.278870	47.792084	32.413159	2.927122	28.0

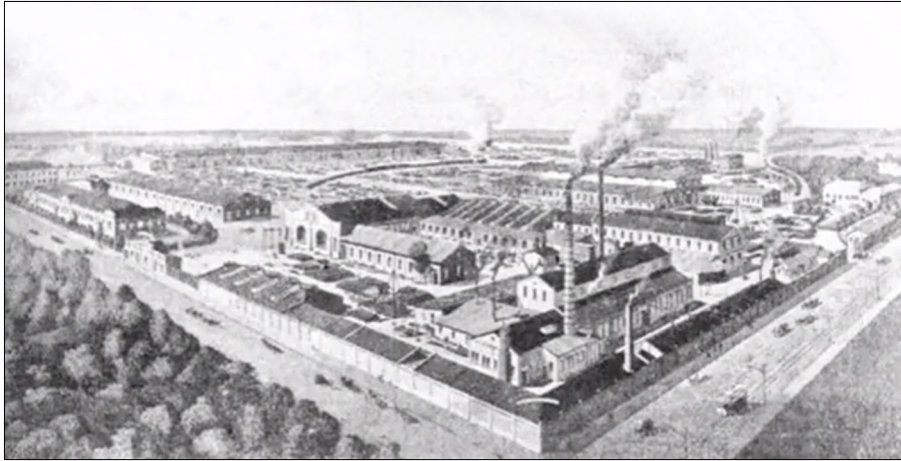


Рис. 1. Шулявська промислова зона. Машинобудівний завод АТ “Гретер і Криванек” (ВО “Більшовик”), 1888 р.

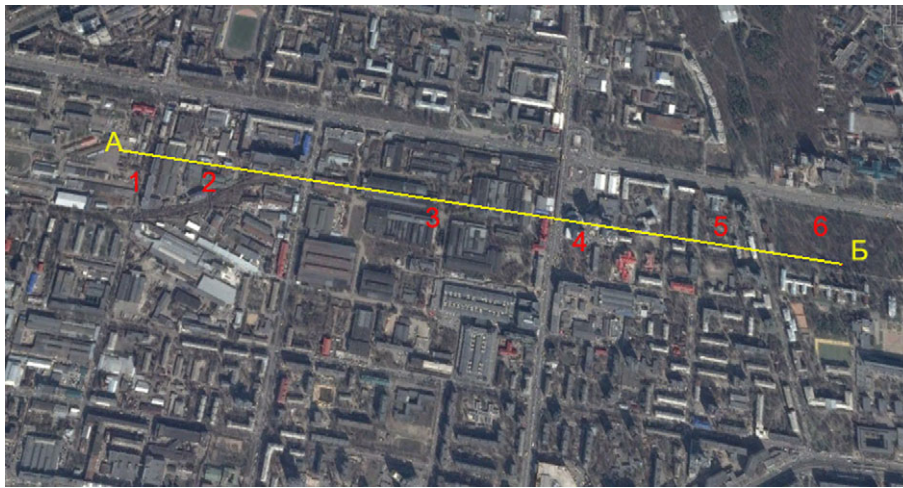


Рис. 2. Профіль через Шулявську виробничу зону. Космічне зображення з відкритого сервісу Google Earth

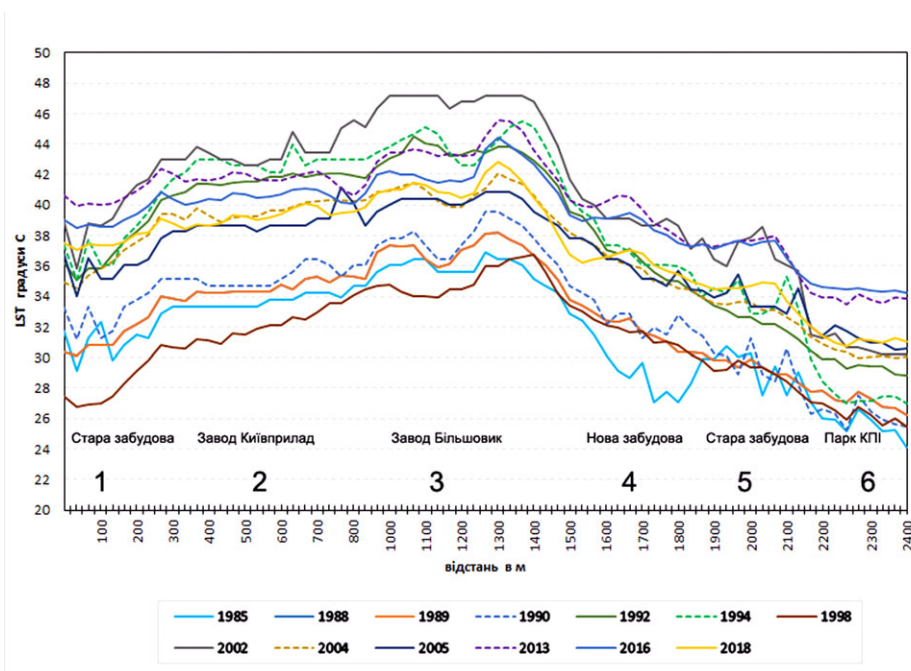


Рис. 3. Зміни LST у часі за профілем А–Б через Шулявську виробничу зону

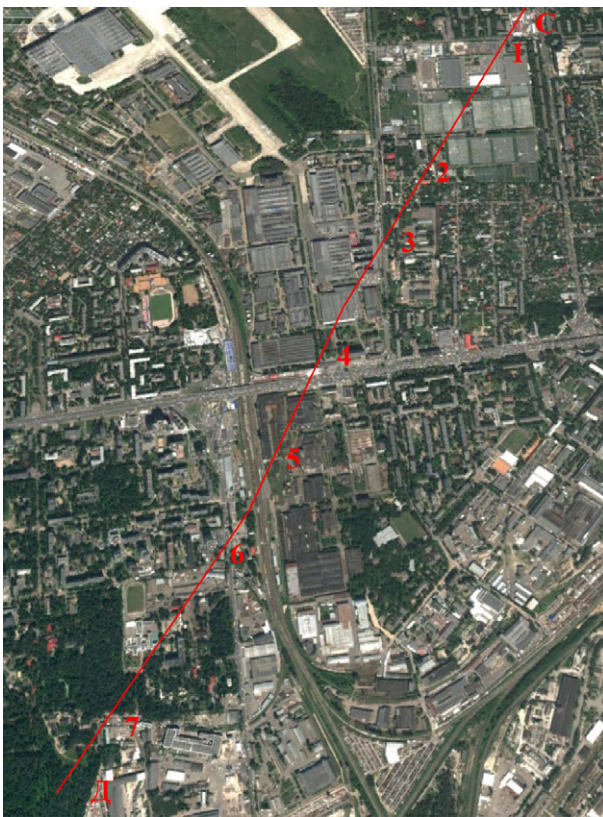
денні години  $+47.2^{\circ}\text{C}$  (2002 рік, точка 3), в той же час над залісненою територією в парку Київського політехнічного інституту (КПІ) становила  $+32.4^{\circ}\text{C}$  (2002 р., точка 6). Тобто на цей період різниця температури LST між природними проникними і штучними земними покриттями по даному профілю складала майже  $15^{\circ}\text{C}$ . Такі значні перепади мають місце у час, коли температура повітря перевищує  $+30^{\circ}\text{C}$ . А якщо температура повітря влітку менша за  $29^{\circ}\text{C}$ , то амплітуда температури між промисловою та залісненими територіями становить  $8\text{--}10^{\circ}\text{C}$  (1985, 1994, 1998 рр.). Найголовніший показник, який береться до уваги при аналізі стану поверхні — це не абсолютні температури поверхні, а відносні перепади температури між різними земними покриттями, тобто їх амплітуди, а також узгодженість в поведінці кривих над тією чи іншою точкою графіку. Не виключено, що розбіжність по осі температур для різних років може бути викликана методикою обчислення даних для різних сенсорів, але просторово вона відтворює зміни структури земного покриття.

Найбільші стрибкоподібні коливання температури спостерігаються в межах житлової забудови (інтервали  $1\text{--}300\text{ м}$  та  $1\ 700\text{--}2\ 100\text{ м}$  на графіку, точки 1, 4, 5). Проте, якщо в першому інтервалі переважала стара забудова, де площа зелених зон становить більше ніж  $50\%$ , то на схід від промислової зони на профілі спостерігаються значні різноспрямовані коливання кривої LST. Це пов'язано з тим, що після 1990 року на місці зеленої зони замість зеленого скверу і великої кількості високих дерев у дворах малоповерхової забудови (навпроти прохідної заводу “Більшовик”) з'явилися нові площі непроникних поверхонь — житлові новобудови, дитячі майданчики, автостоянки, а деревна рослинність стала

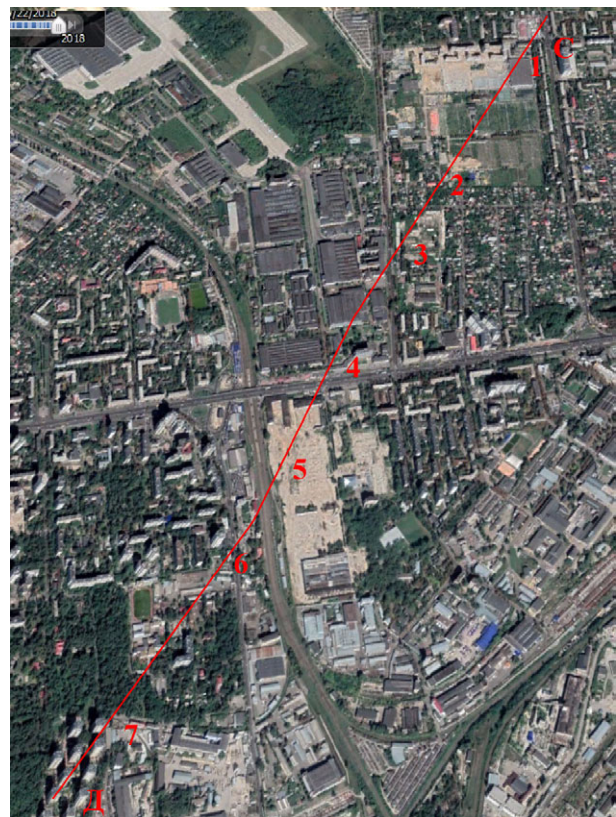
більш розрідженою (на графіку це видно в інтервалі  $1700\text{--}1800\text{ м}$ , (точка 4). Криві LST 1985–1990 років даного профілю свідчать про більш низькі значення температурного показника у порівнянні з кривими після 2005 року та збільшення амплітуди коливань LST є саме над промисловою територією. У лісопарковій зоні КПІ на всіх часових проміжках крива LST відносно нижча ніж на прилеглих ділянках житлової забудови та виробничих майданчиків на  $12\text{--}15^{\circ}\text{C}$ .

Подібна ситуація простежується і у Святошинській виробничій зоні, яка сформувалась на початку сторіччя. Основними утворюючими підприємствами були авіазавод ім. Антонова, АТЕК (завод “Червоний екскаватор”), станкозавод “Веркон” (зараз Бізнес-парк “Нивки сіті”), а також ряд виробничих підприємств різного спрямування, що прилягають до Святошинської залізничної гілки і утворили цю промислову зону. Зараз вона зазнає суттєвого трансформування. Нами протрасовано профіль (Рис. 4) з північного сходу на південний захід від вул. Салютна, територія “Експоплаза” Нивки (точка 1) — через колишнє тепличне господарство (точка 1–2) — територію заводу Антонова (точка 3–4) — проспект Перемоги (точка 4) — територію заводу АТЕК — залізницю і її промислову зону (між точками 4–5) — стару середньоповерхову забудову масиву Святошин (точка 6) — лісопаркову зону із сосновим деревостаном, що замінено на новий житловий комплекс побудований в останнє десятиріччя (точка 7).

При аналізі кривих LST даного профілю за серією теплових КЗ Landsat, що пролягає через Святошинську виробничу зону, впадає у вічі, що криві групуються за роками (Рис. 5). До першої групи належать 1985–1990 роки, де криві мають нижчі показники температури, та група з більш високими



а



б

Рис. 4. Профіль С–Д через Святошинську виробничу зону. Космічне зображення з відкритого сервісу Google Earth станом на 2010 (а) та 2018 (б) рік

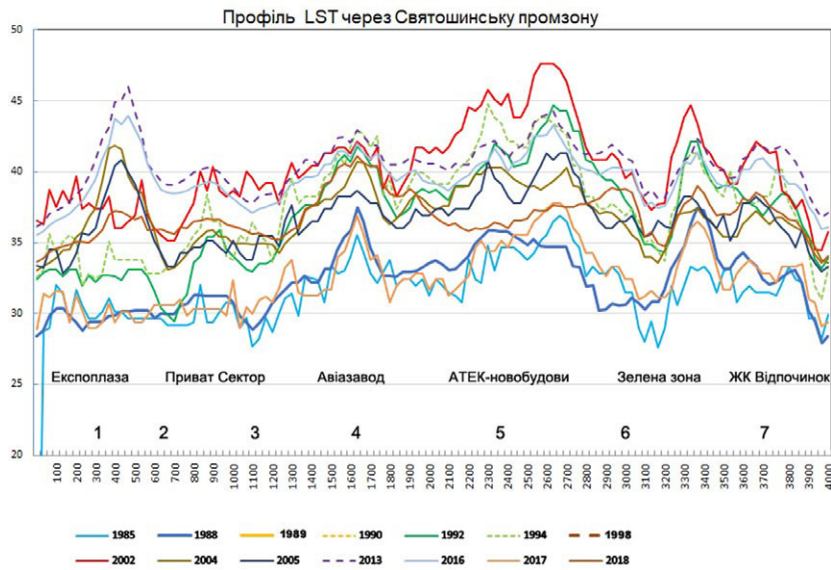


Рис. 5. Зміни LST за профілем С–Д через Святошинську виробничу зону

LST (2002 рік — аномальний). Найвищий рівень температури поверхні спостерігається саме над виробничою територією в усі періоди. Стрибоподібною, з трохи пониженими рівнем, є поведінка кривої LST на проміжку між точками 2 і 3 (850–1 000 м), де знаходиться приватна забудова і старі господарські приміщення із значним озелененням території. Територія виробничих зон авіазаводу та АТЕК мають більш високий температурний фон, що відображається на профілі коливаннями за рахунок перетину різних за функціональним призначенням ділянок — заводський цех, двір, невеликі зелені зони. Однак, в останнє десятиріччя АТЕК припинив діяльність, а на території ведеться житлове будівництво, що також сприяє підвищенню поверхневої температури на цьому фрагменті профіля за рахунок будмайданчиків, відкритого ґрунту і появи ущільненої забудови з штучними покрівлями дахів. Зелені насадження всередині промзони знищені. Далі профіль проходить через лісопаркову зону з невеликими старими будівлями та старим озелененим масивом, де у всі періоди фіксується пониження температури поверхні. Відносна амплітуда коливань LST між виробничою і зеленою зонами перевищує 10°C. Ще південніше, в інтервалі 3 600–3 800 м, в останнє десятиріччя з'явився новий житловий масив, що на графіку відобразилося неузгодженістю кривих в точці 7 (ліс Святошинської лісопаркової зони було замінено на житлову забудову комплексу “Відпочинок”) і за рахунок зміни функціональної належності території температурний рівень поверхні підвищився. Неузгодженість поведінки кривих показує зміну земного покриву, пов'язану із міною функціонального використання території, але на жаль у бік збільшення максимальних пікових значень та значного розширення теплової аномалії просторово.

В результаті аналізу теплового поля поверхні виробничих зон, що зазнають трансформації (Ліщенко, 2013; Ліщенко та ін., 2019) встановлено, що температурні аномалії земної поверхні продовжують існувати в їхніх межах. Незважаючи на зміну їхнього функціонального призначення, там все ще залишається велика кількість площ непроникних поверхонь, дахів та заасфальтованих ділянок, що використовуються під автостоянки і тимчасові торговельні приміщення. Тому стратегією подальшого розвитку даної території має бути збільшення площ під природними поверхнями і зеленими зонами, наприклад застосування зелених дахів, озеленених майданчиків, зелених

парковок. Проте, перевагу потрібно віддавати деревним насадженням з розлогою кроною та облаштуванням фонтанів, тобто створенню рекреаційних зон на місці виробничих територій.

Очевидно, що розбіжності у показниках LST в різні роки для однієї і тієї точки з однаковими тепловими випромінювальними властивостями та з однотипних сенсорів залежать від температури повітря, що існувала на той час. Від цього показника залежить мінімальна та максимальні розраховані значення LST, а отже і ступінь прогрівання поверхні об'єктів при інших рівних умовах, а саме конкретного часу зйомки. Встановлено прямий зв'язок між максимальною, мінімальною, і середньою розрахованою LST та температурою повітря на час дослідження, але вона не завжди корелюється із значеннями амплітуди коливань (Рис. 6). Амплітуда з часом зменшується і це можна пояснити різними типами сенсорів з яких отримана інформація, похибками під час розрахунків, або ж загальним збільшенням поверхневої температури над тепловим островом м. Києва. На даному графіку видно, що температура повітря за даними метеостанції майже співпадає з температурою розрахованих мінімальних LST.

Ми порівняли сезонні коливання LST за даними Landsat-8 2013–2016 рр. для квітня, липня, жовтня-місяців також для територій Дарницької та інших виробничих зон. Результати побудови кривих LST представлено на Рис. 7. Профілі перетинають виробничі зони, по осі абсцис подається відстань у пікселях

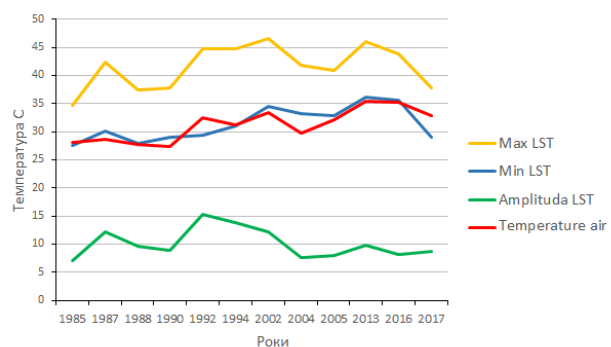


Рис. 6. Графіки максимальних і мінімальних значень температури та амплітуда її коливань у літні місяці (загалом для м. Києва)

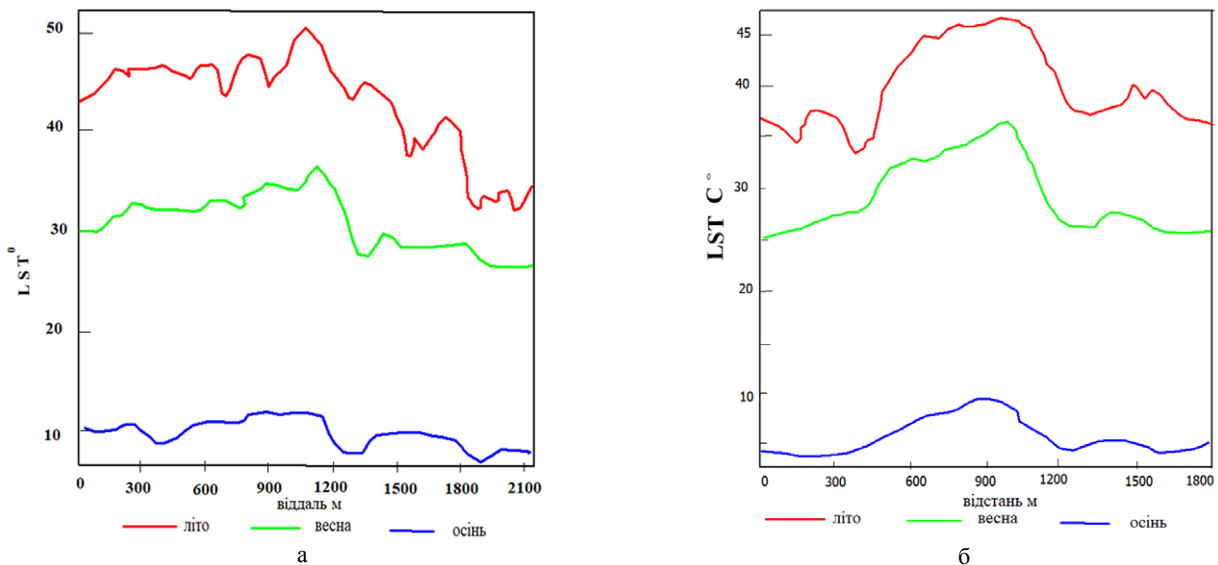


Рис. 7. Сезонні коливання температурного поля поверхні (за даними Landsat 2013–2016 рр.): а — Шулявська виробнича зона, б — Святошинська виробнича зона

(1 піксел = 30 м), а по осі ординат — температура поверхні в різні сезони, на жаль окрім зимового періоду. Якщо навіть виключити сезонний вплив вегетації з метою усунення впливу саме рослинності на значення LST, то на графіку спостерігаємо, що у всі сезони існує підвищений температурний фон над промисловими зонами, що пояснюється великою площею і щільністю штучних поверхонь, скупченням автотранспорту та наявністю додаткового теплового випромінювання від антропогенного навантаження у всі сезони. Лише амплітуда перевищень відрізняється у різні сезони. Проте, звичайно, найбільших амплітуд LST (до 15°C) ця територія зазнає влітку, внаслідок наявності дерев.

Для визначення змін у часі, пов'язаних зі зміною ландшафтно-функціонального стану території за рахунок розширення меж міста та інтенсивною забудовою, вибрано ділянку та проведено профіль у південно-західній частині Києва між селищем Жуляни та Виставковим центром (Рис. 8).

Для даної території проаналізовано LST за трьома часовими зрізами липня 1988, 2002 і 2016 років, які представлені на температурному профілі (Рис. 9). Криві на профілі добре демонструють наскільки змінювався характер коливання LST, а отже і прогрівання приземного шару повітря в залежності від того, яке функціональне та техногенне навантаження зазнавала ця територія. Якщо в 90-х роках минулого сторіччя тут існувала приватна забудова, сади, городи та переважали

проникні поверхні, то їх температура була порівняно нижчою ніж в той же час біля проспекту Глушкова та на території Виставкового центру (павільйони, асфальт). Вже на початку сторіччя і до сьогодні на місці садів тут розбудовують нові житлові комплекси (“Лікоград”, “Еврика” та ін.), з’явилися нові корпуси університету, додаткові під’їзні шляхи, автостоянки. Навіть переважно сільська садибна забудова селища Жуляни ущільнилась і має меншу кількість зелених насаджень. Все це знайшло відображення на температурному профілі 2002 та 2016 років підвищенням рівня LST та характерною кривою на графіку. Збільшилась амплітуда коливань температури поверхні вже у 2002 році, коли з’явилися будівельні майданчики та закладалися нові житлові комплекси. У всі проаналізовані періоди температура поверхні під лісовим масивом (Голосієво) є нижчою і стабільною ніж над іншими ландшафтно-функціональними зонами Києва (крім водних поверхонь) і на графіку представлена низхідним відрізком кривої. Якщо стрибкоподібність поведінки температурної кривої 2002 року обумовлена будівельними майданчиками та відкритим ґрунтом, то крива 2016 року показує вже стійке позитивне перевищення температури над новобудовами. Треба враховувати, що даний профіль показує лише тенденції зміни характеру кривих у часі і не може бути використаний для

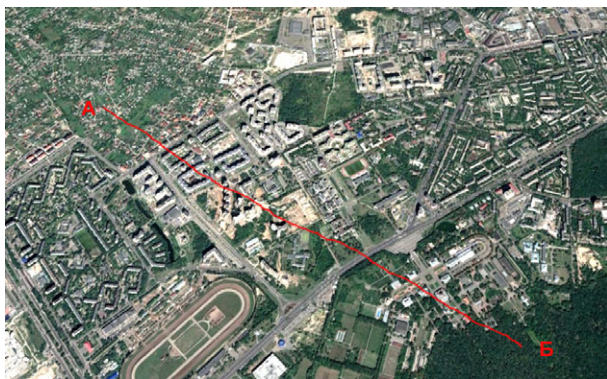


Рис. 8. Ліворуч — трасування профілю LST на південно-західній околиці Києва (Жуляни–ВДНГ, космічний знімок Landsat, 2018 р.); праворуч — фото цієї ж місцевості з пташиного польоту. 1979 р.

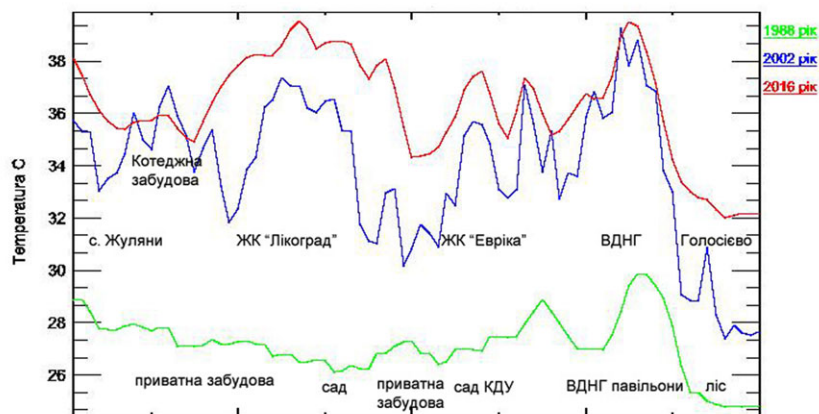
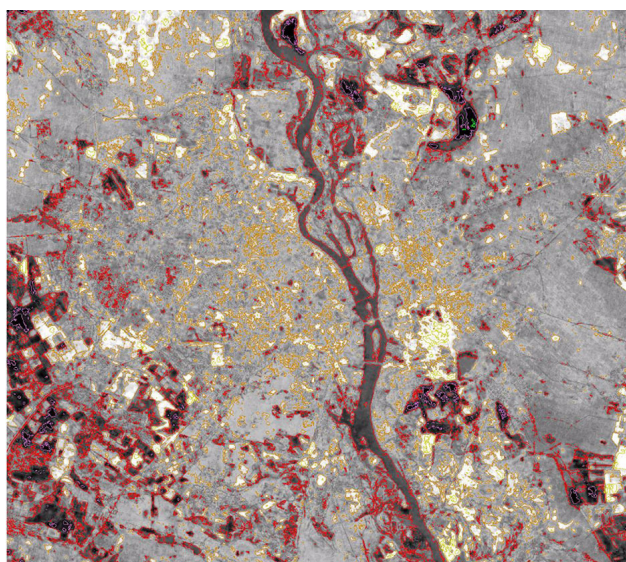


Рис. 9. Зміни LST у часі за профілем Жуляни–ВДНГ

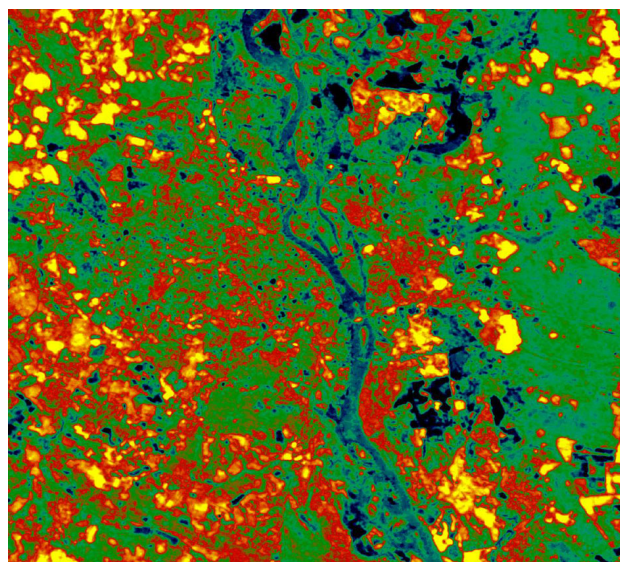
порівняння абсолютних температур, тому що температурні умови на час зйомки у липні досліджуваних років були різні (див. таблицю).

Визначення змін LST для всієї території Києва проведено на зображеннях Landsat, отриманих у липні-місяці 2016 та 1989 років. Ці роки обрані тому, що тоді середня температура на цих ділянках була майже однаковою (35°C), що підтверджують дані метеостанцій. Нами виконана процедура визначення різниці температур земних покривів між 2016 р. та 1989 р. Результати представлені кількісно — у вигляді термоізоляцій, і якісно — кольорокодуванням (Рис. 10). На рисунку 10 а, коричневими і жовтими ізоляціями оконтурені території, де температура зросла від 4° до 8°C, а червоним — де приріст коливався у межах 2 градусів. Сірий колір фону показує території, де температура лишилася незмінною, більш темні тони — на ділянках, де вона знизилася, а білий колір відповідає місцям, де відбувся найбільший приріст температур. На більшій території міста переважають сірі відтінки і лише на ділянках, що

відповідають найбільшим змінам ландшафтно-функціональної структури (новобудови, освоєння нових територій) спостерігається найбільші прирости температури (вони оконтурені коричневими і жовтими ізоляціями). При представленні даних приросту температур за допомогою якісних показників, а саме кольорокодуванням, червоний і жовтий кольори (Рис. 10 б) показують ділянки зростання температур, зелені — території стабільних значень, а синій — осередки її зниження, що відповідає головним чином водній поверхні та невеликим ділянкам у середмісті. Найбільші прирости LST спостерігаються на околицях та за межами міста (збільшення щільності і розширення площ новобудов): на північному заході — через заміщення лісових масивів, на заході і південному заході — завдяки появі котеджних містечок, винесенню промислових об'єктів за місто, знищенню агроландшафтів. На лівобережній частині Києва також з'явилися нові осередки високих приростів LST на Троєщині, Харківському масиві та рекреаційних зонах в долині р. Десна.



а



б

Рис. 10. Приріст температури земної поверхні міста Київ у літній період між 2016 і 1989 роками: а — у вигляді термоізоляцій, б — у вигляді кольорокодуваного зображення



## 5. Висновки

Температура земної поверхні Києва тісно корелюється з ландшафтно-функціональною структурою міста. Встановлено, що підвищені рівні LST зберігаються на територіях, які раніше були промисловими зонами, а зараз змінили своє функціональне призначення. Площа непроникних поверхонь не зменшилась, зелені насадження продовжують знищуватися під тиском новобудов. Жодна виробнича територія міста на сьогоднішній день немає високого рівня постіндустріальної трансформованості і, на жаль, їх реконструкція не відповідає ревіталізації даної території, а тому не зменшує теплове навантаження у місті.

Застосування методу трансект або профілювання дозволило наочно простежити і якісно підтвердити зміни теплового поля поверхні у часі за багаторічний період для певних територій Києва. Аналіз кривих LST, визначення амплітуди їх коливань та синхронізація кривих є показником стабільності чи змін, а отже і характеризує зміни ландшафтно-функціональної структури міста як у просторі так і у часі. Криві LST у всі сезони показують існування теплової аномалії саме над виробничою зоною, але в весняний і пізньоосінній період амплітуди їх коливань трохи менші, тоді як у липні досягають 15°C.

Селітебні зони виявилися найбільш варіабельними за температурою поверхні і є найменш стійкими, бо зазнають значних коливань LST через збільшення площ непроникних штучних земних покривів. Житлові новобудови та велика кількість логістичних центрів навкруги міста суттєво розширюють межі і підвищують температурні показники теплового острова Києва, особливо, якщо вони розміщуються на колишніх природних ландшафтах. Отже, зростання щільності і площі штучно облаштованих непроникних територій збільшує тепловий ефект над містом, а рослинність, особливо деревна з розлогою кроною та водна поверхня зменшують

Запропонований методичний підхід та спосіб аналізу LST за допомогою профілювання є перспективним для дослідження існуючих осередків теплових аномалій. Визначення тенденцій їх змін в межах урбанізованих територій дає можливість встановити ділянки ландшафтно-функціональної структури, на яких фіксується збільшення теплового навантаження та обрати шляхи вирішення даної проблеми. Це сприяє вдосконаленню заходів не тільки моніторингу, але й усуненню негативного впливу підвищеного теплового поля, порівнюючи теплові стани різних за функцією територій.

Нівелювання підвищеного температурного фону поверхні на виробничих територіях можливе за рахунок природних чинників, таких як зволоження ґрунту і озеленення, зменшення площі непроникних поверхонь і збільшення деревної рослинності з, облаштування “зелених” дахів, “дихаючих” парковок, фонтанів, рекреаційних зон на місці промислових об’єктів, що існували у середмісті Києва.

## Література

Горный В. И., Шилин Б. В., Ясинский Г. И. Тепловая аэрокосмическая съёмка. М.: Недра, 1993. 128 с.

Интеркалибрация методов восстановления термодинамической температуры поверхности урбанизированной территории по материалам тепловой космической съёмки / Станкевич С. А. и др. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. № 7. С. 14–23. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/59>. (дата звернення: 10.05.2020).

Крилова Г. Б. Моніторинг формування і розвитку теплового острова міста Києва. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2014. № 2. С. 35–37. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/19> (дата звернення: 3.05.2020).

Ліщенко Л. П., Пазинич Н. В., Філіпович В. Є. Аналіз розподілу літніх температур поверхні міста Миколаєва за даними теплового діапазону супутників серії Landsat. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2019. № 21. С. 49–59. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/148> (дата звернення: 25.04.2020).

Ліщенко Л. П. Вплив рослинності на сезонну мінливість температурного поля поверхні в місті Київ в межах різних ландшафтно-функціональних зон за супутниковими даними. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*. К.: 2019. С. 126–129. URL: <https://itgip.org/wp-content/uploads/2019/> (дата звернення: 26.04.2020).

Ліщенко Л. П. Основні засади укладання моделей еколого-мікрокліматичного районування міських агломерацій із залученням матеріалів дистанційних зйомок (на прикладі території м. Київ). *Фізична географія та геоморфологія*. 2013. Вип. 3. С. 111–116. URL: [https://nbuv.gov.ua/UJRN/fiz\\_geo\\_2013\\_3\\_17](https://nbuv.gov.ua/UJRN/fiz_geo_2013_3_17) (дата звернення: 10.04.2020)..

Підгрушній Г. П., Бикова М. Д. Виробничі території Києва: методологія дослідження та історія формування. *Український географічний журнал*. 2018. № 4. С. 24–32. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.04.025> (дата звернення: 21.04.2020).

Теплофизические свойства поверхности городской среды (по результатам спутниковых съёмок Санкт-Петербурга и Киева) / Горный В. И. и др. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 3. С. 51–66. URL: <https://jr.rse.cosmos.ru/article.aspx?id=1649> (дата звернення: 6.04.2020).

Філіпович В. Є., Крилова Г. Б. Дослідження теплового поля м. Києва за даними космічного зондування в ІЧ-діапазоні, як складової аналізу екологічного стану урбанізованої території. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*. К.: 2014. С. 16–28.

Якимчук В. Г., Суханов К. Ю., Козлов З. В., Ліщенко Л. П. Дешифрування гіперспектральної космічної інформації на основі текстурних і спектральних характеристик досліджуваних об’єктів. *Доповіді НАН України*. 2008. № 2. С. 129–134.

Hoeyano A., Iino A., Ono M, Taniguchi S. (1999) Analysis of the influence of urban form and materials on sensible heat flux — a case study of Japan’s largest housing development Tama New Town. *Atmospheric Environment*. 1999. Volume 33. Issue 24. P. 3931–3939. URL: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00135-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00135-1).

Kottmeier C., Corsmeier U., Biegert C. Effects of Urban Land Use on Surface Temperature in Berlin: Case Study. 2007. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(2007\)133:2\(128\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2007)133:2(128)) (дата звернення: 7.04.2020).

Li X., Zhou W., Ouyang Z, Xu W., Zheng H. Spatial pattern of greenspace affects land surface temperature: evidence from the heavily urbanized Beijing Metropolitan area, China. *Landscape Ecology*. 2012. Volume 27. Is. 6. P. 887–898. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-012-9731-6> (дата звернення: 4.04.2020).

Mumina J., Mundia Ch. Dynamism of land use changes on surface temperature in Kenya: A case study of Nairobi city. *International Journal of Science and Research*. 2014. V. 3. Is. 4. URL: <https://www.ijsr.net> (дата звернення: 7.04.2020).

Ogashawara Igor, Brum Bastos, Vanessa da Silva. A quantitative approach for analysing the relationship between urban heat islands and land cover. *Remote Sensing*. 2012. № 4. P. 3596–3618. URL: <https://doi.org/10.3390/rs4113596> (дата звернення: 7.04.2020).

Quattrochi D., Luval J. Thermal infrared remote sensing for analysis of landscape ecological processes: methods and applications. *Elsevier*.

1999. V. 14. Is. 6. P. 577–598. URL: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1008168910634> (дата звернення: 7.04.2020).
- Quattrochi D., Luvall J. *Thermal Remote Sensing in Land Surface Processing*. CRC Press Published, 2004. 464 p. URL: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20160007021> 2020-03-25T13:49:56+00:00Z (дата звернення: 7.04.2020).
- Trapido-Lurie B. Growing Phoenix's Urban Forest Offers Cooling Potential. School of Geographical Sciences and Urban Planning. Arizona State University, 2014. URL: <https://asunews.asu.edu/20140923-cool-urban-spaces-phoenix> (дата звернення: 12.04.2020).
- Voogt J. How researchers measure urban heat islands. Department of Geography, University of Western Ontario London ON Canada. 2014. URL: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-07/documents/epa\\_how\\_to\\_measure\\_a\\_uhi.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-07/documents/epa_how_to_measure_a_uhi.pdf) (дата звернення: 7.04.2020).
- Weng O., Lu D., Schubring J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*. 2004. № 89 (4). P. 467–483. URL: <https://doi:10.1016/j.rse.2003.11.005>.

## References

- Filipovych, V. Ye., Krylova, Gh. B. (2014). Investigation of the thermal field of the city of Kyiv according to the data of space sensing in the IR range as a component of the analysis of the ecological condition of the urbanized area. *Modern IT management of ecological safety, environmental, emergency measures*. Kyiv. (in Ukrainian).
- Gorny, V. I., Shilin, B.V., Yasinsky, G. I. (1993). *Thermal aerospace photography*. Moscow: Nedra. (in Russian).
- Gorny, V. I., Kritsyk, S. G., Latypov, I. Sh, Tronin, A. A., Kiselev, A. V., Brovkina, O. V., Filippovich, V. E., Stankevich, S. A., Lubskii, M. S. (2017). Thermophysical properties of the of land surface in urban environment by satellite remote sensing of Saint Petersburg and Kiev). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 14 (3). 51–66. Retrieved from <https://doi: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-51-66>. (in Russian).
- Hoyano, A., Iino, A., Ono, M, Tanighch, S. (1999). Analysis of the influence of urban form and materials on sensible heat flux – a case study of Japan's largest housing development Tama New Town. *Atmospheric Environment*, 33 (24). 3931–3939. Retrieved from [https://doi:10.1016/S1352-2310\(99\)00135-1](https://doi:10.1016/S1352-2310(99)00135-1).
- Kottmeier, C., Corsmeierm, U., Biegert, C. (2007). Effects of Urban Land Use on Surface Temperature in Berlin. Case Study. Retrieved from [https://doi:10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(2007\)133:2\(128\)](https://doi:10.1061/(ASCE)0733-9488(2007)133:2(128)).
- Krylova, Gh. B. (2014). Monitoring of the formation and development of the thermal island of Kiev city. *Ukrainskyj zhurnal dystancijnogho zonduvannja Zemli*, 2. 35–37. Retrieved from <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/19>. (in Ukrainian).
- Li, Xiaoma, Zhou, Weiqi, Ouyang, Zhiyun, Xu, Weihua, Zheng, Hua. (2012). Spatial pattern of greenspace affects land surface temperature: evidence from the heavily urbanized Beijing Metropolitan area, China. *Landscape Ecology*, 27 (6), 887–898. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-012-9731-6>.
- Lisichenko, L. P. (2013). Basic principles of modelling of ecological-microclimatic zoning of urban agglomerations with the use of remote sensing data (on the example of Kyiv). *Fizychna geografia i geomorfologia*, 3. 11–116. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/fiz\\_geo\\_2013\\_3\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/fiz_geo_2013_3_17). (in Ukrainian).
- Lisichenko, L. P. (2019). Effect of vegetation on seasonal variability of land surface temperature of Kyiv within different landscape – functional zones using satellite data. *Modern IT management of ecological safety, environmental, emergency measures*. P. 126–129. Kyiv. (in Ukrainian).
- Lisichenko, L., Pazynych, N, Filipovych, V. (2019). Summer surface temperature distribution analysis of Mykolayiv city based on the Landsat series thermal infrared data. *Ukrainskyj zhurnal dystancijnogho zonduvannja Zemli*, 21. 49–59. Retrieved from <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/148>. (in Ukrainian).
- Mumina, J, Mundia, C. (2014). Dynamism of land use changes on surface temperature in Kenya: A case study of Nairobi city. *International Journal of Science and Research*, 3 (4). Retrieved from <https://www.ijsr.net>.
- Ogashawara, I., Brum, B, Vanessa da Silva. (2012). A quantitative approach for analysing the relationship between urban heat islands and land cover. *Remote Sensing*, 4. 3596–3618. Retrieved from <https://doi: 10.3390/rs4113596>.
- Pidhrushnyi, H. P., Bykova, M. D. (2018). The industrial areas of Kyiv: the research methodology and formation history. *Ukr. geogr. z.*, 4. 25–32. Retrieved from <https://doi.org/10.15407/ugz.2018.04.025>. (in Ukrainian).
- Quattrochi D., Luvall J. (1999). Thermal infrared remote sensing for analysis of landscape ecological processes: methods and applications. *Elsevier*, 14 (6). 577–598. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1008168910634>.
- Quattrochi D., Luvall J. (2004). *Thermal Remote Sensing in Land Surface Processing*. CRC Press Published. ISBN 9780415302241. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20160007021> 2020-03-25T13:49:56+00:00Z.
- Stankevich, S. A., Filipovich, V. E., Lubsky, N. S., Krylova, A. B., Kritsuk, S. G., Brovkina, O. V, Gorny, V. I., Tronin A. A. (2015). Intercalibration of methods for restoring the thermodynamic temperature of the surface of an urbanized area based on materials of thermal space imagery. *Ukrainskyj zhurnal dystancijnogho zonduvannja Zemli*, 7. 14–23. Retrieved from <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/59/77>. (in Russian).
- Trapido-Lurie, B. (2014). Growing Phoenix's Urban Forest Offers Cooling Potential. *School of Geographical Sciences and Urban Planning*. Arizona State University. Retrieved from <https://asunews.asu.edu/20140923-cool-urban-spaces-phoenix>
- Voogt, J. (2014). How researchers measure urban heat islands. *Department of Geography, University of Western Ontario London ON Canada*. Retrieved from [https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-07/documents/epa\\_how\\_to\\_measure\\_a\\_uhi.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-07/documents/epa_how_to_measure_a_uhi.pdf).
- Weng, O., Lu, D., Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89 (4). 467–483. Retrieved from <https://doi: 10.1016/j.rse.2003.11.005>.
- Yakymchuk, V., Sukhanov, K., Kozlov, Z, Lisichenko, L. (2008). The interpretation of hyperspectral space images based on the textural and spectral characteristics of studied objects is examined. It is suggested to perform the interpretation using a spectral shift function along the electromagnetic radiation wavelength as an integral indicator of the spectral characteristics of urbanlandscape elements. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 2. 129–134. (in Ukrainian).

## МОНИТОРИНГ ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ ПОВЕРХНОСТИ БЫВШИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗОН И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ г. КИЕВА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Л. П. Лищенко

ГУ “Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины”, ул. Олеса Гончара 55-Б, Киев, Украина, 01054.

В пределах городского острова тепла, который существует над г. Киев распределение температуры сильно зависит от его ландшафтно-функциональной структуры, а именно от степени нагрева и излучения земных покровов, соотношение природных и искусственных поверхностей и изменений, происходящих со временем. Используя тепловые диапазоны спутниковых данных миссии Landsat рассмотрено за счет чего, и где именно происходят изменения температуры поверхности земли (LST) с 1986 по 2018 год. Пространственно-временной анализ LST выполненный с помощью профилей, пересекающих промышленно-производственные и постиндустриальные территории Киева. На примере Шулявской и Святошинской производственных зон, исторически сложившихся в центральной и западной части Киева показано, что такие территории имеют повышенный уровень температуры поверхности за счет увеличения плотности распространения земных покровов с искусственным покрытием. Хотя на данных территориях наблюдается снижение производственной нагрузки, их постиндустриальная трансформация на сегодняшний день, к сожалению, не соответствует требованиям ревитализации таких территорий. Более интенсивно прирост температуры поверхности происходит на окраинах города, за счет нового жилищного строительства и исчезновения природных ландшафтов, это существенно расширило границы распространения теплового острова. Анализ температуры поверхности земли по сезонам показал, что температурная аномалия над производственными зонами существует постоянно, но летом амплитуда колебаний LST между промышленными и лесопарковыми зонами достигает 15°C.

**Ключевые слова:** спутниковые данные, урбанизированные территории, температура поверхности земли (LST), производственные территории, ландшафтно-функциональные зоны, температурное профилирование

## MONITORING OF LAND SURFACE TEMPERATURE OF POST-INDUSTRIAL AREAS AND INDUSTRIAL SITES IN KYIV USING REMOTE SENSING DATA

Lyidmila Lischenko

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. 55B, O. Gonchar st., Kyiv, Ukraine, 01054.

Within the urban heat island that exists over Kyiv, the temperature distribution strongly depends on the landscape-functional structure of the city, namely on the degree of heating and radiation of the land cover, their relationships, proportion and changes over time. Using the thermal ranges of the satellite data of the Landsat mission, we have considered why, and where exactly, the land surface temperature changes (LST) occur from 1986 to 2018. The spatio-temporal analysis of LST is performed using profiles that cross industrial and post-industrial territories of Kyiv. It's been shown that such territories have higher level of land surface temperature according to artificial covering surface density increasing. The Shulyavsk and Svyatoshinsk industrial zones that historically exists in central and west part of the city have been taken, as example. The post-industrial transformation of such, territories today unfortunately, does not meet the requirements of the revitalization in spite of their transformation and a decreasing in the production load. The most intense temperature increases are recorded on the outskirts of the city through new housing construction and destruction of natural landscapes, which significantly expanded the boundaries of the urban thermal island. Analysis of the surface temperatures by seasons showed that the thermal anomalies exist over industrial areas, but the LST oscillation amplitude reaches 15°C in summer between production and forest-park areas.

**Keywords:** satellite data, land surface temperature (LST), industrial area, urban areas, landscape functional areas, thermal profiling

*Рукопис статті отримано 30.03.2020*