

УДК 504.064.3:(528.831.5:629.783)](477.73)

Аналіз розподілу літніх температур поверхні міста Миколаєва за даними теплового діапазону супутників серії Landsat

Л. П. Ліщенко *, Н. В. Пазинич, В. Є. Філіпович

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна

На основі використання теплових каналів багатозональних космічних знімків Landsat з 1985 до 2018 проведено аналіз стану та особливостей теплового поля поверхні одного з промислових центрів півдня України — м. Миколаєва. Зміни температури поверхні у часі досліджувались як на всьотериторію міста, так і по окремих профілях, що перетинають різноманітні за ландшафтним і функціональним призначенням ділянки. Встановлені значні розбіжності у ході часових коливань температури поверхні у різних, але сталих ландшафтних і функціональних умовах. Аномально високі температури виявлені в межах промислових зон, що досягають 40–43°C. Температури водних поверхонь Південного Бугу, Інгулу та озера Ліски мають найнижчі значення і визначаються кількістю водної маси. За період досліджень найбільші стрибки підвищення температури до 15°C зафіксовані на намивних пісках заплави Південного Бугу, після забудови житловим масивом "Намив" та в межах водосховища "Жовтневе", після його спуску. Основні типи житлової забудови міста — середньо-поверхова та приватна котеджна зі значним прибудинковим озелененням, формують сталий температурний фон. Обмежене поширення непроникних поверхонь, значне озеленення, інтенсивний полив зумовили формування в межах міста від'ємної теплової аномалії, своєрідної оази на фоні степових агроландшафтів.

Ключові слова: температура поверхні міста, теплові канали багатозональних космічних знімків, ландшафтно-функціональні зони, теплове профілювання

© Л. П. Ліщенко, Н. В. Пазинич, В. Є. Філіпович. 2019

DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2019.21.148>

Актуальність і мета досліджень

Багатьма попередніми дослідженнями встановлено, що над великими містами з розвинутою промисловістю, формуються теплові острови, або ареали підвищених температур [7, 10, 13, 19, 18]. Ці теплові острови мають вплив на довкілля, стан екосистем та здоров'я населення, що неодноразово відображалось у ряді публікацій [15, 11, 17]. Внаслідок загального потепління клімату, вплив на довкілля поверхневих температур у місті постійно зростає, тому моніторингові дослідження цього явища вельми актуальні. Найбільш контрастно і вагомо міські острови тепла проявляються в межах великих промислових центрів України. Такі дослідження проводились за допомогою аналізу теплових каналів супутникових даних як закордоном, так і в Україні на прикладі м. Києва [1, 2, 7, 11, 18]. Нашим завданням було визначити закономірності розподілу наземних температур на прикладі одного з великих промислових центрів Півдня України — м. Миколаєва. З метою визначення сучасного стану і довготривалих змін літніх поверхневих температур для даної території проведено дослідження на основі цифрової обробки теплових каналів супутникових даних за певною методикою. Основні чинники, що викликають коливання поверхневих температур в місті у просторі і часі є предметом наших досліджень.

Загальна характеристика території досліджень

Обласний центр Миколаїв посідає дев'яте місце за чисельністю населення в Україні (482.1 тис. чол. на 01.04.2019 [8]) і займає територію біля 253 км² [8]. Клімат м. Миколаїв помірно-континентальний з м'якою малосніжною зимою і жарким посушливим літом, що обумовлено розташуванням міста на півдні степової зони України та близькістю моря. Завдяки розміщенню на півострові, що омивається водами р. Південний Буг та р. Інгул, тут формується своєрідний пом'якшений мікроклімат який зменшує теплове навантаження.

Другим пом'якшуючим фактором є зелені насадження. У Миколаєві на кожного жителя міста припадає більше 17 квадратних метрів зелених насаджень, без обліку садів будинків приватного сектора і колективних садових товариств (для порівняння: офіційно у Києві — 20 кв. м, у Відні — 120 кв. м на кожного мешканця [5]). Разом з цим, у міських насадженнях спостерігається переущільнення ґрунтів, що, насамперед, веде до зменшення пористості і погіршення їх водного режиму. На деградованих внаслідок антропогенного витоштування ділянках, що переважають парках Миколаєва водопроникність верхнього шару в 3–4 рази нижча, ніж у природних не порушених ґрунтах. Специфічні гідрологічні умови міських територій та їх мікрокліматичні особливості зумовлюють різке погіршення режиму вологозабезпеченості ґрунтів, тому порівняно з іншими містами

* E-mail: Lischenko.lp@gmail.com

України зелені насадження розташовані у Миколаєві потребують більших витрат на полив (80 літрів на одне дерево) [3].

Чинник, що впливає на зростання поверхневих температур міста — порушення природного вологообміну внаслідок великих площ промислових підприємств з штучним непроникним покриттям. Промасштаби виробництва у м. Миколаїв свідчать статистичні данні, згідно яким підприємства міста забезпечують до 50% обсягів продукції суднобудування України, понад 90% державного виробництва газових турбін, 80% глинозему тощо [4]. Зростання температури земної поверхні пов'язано також і з житловим, транспортним та торгово-промисловим будівництвом, що збільшують площі непроникних поверхонь.

Методика досліджень

Методика використання матеріалів космічного зондування та результати досліджень теплового поля міського середовища викладені в ряді публікацій [1, 2, 7, 9, 15, 17, 18, 19]. Ми використовували попиксельний розрахунок температури земної поверхні (Т°С) через спектральну щільність енергетичної яскравості наземної температури для всіх серій даних Landsat, модифікованої і застосованої для теплових каналів за оберненою формулою Планка з врахуванням нормалізованого вегетаційного індексу NDVI. Методику розрахунків представлено у роботі [6].

Для вивчення особливостей розподілу поверхневих температур території м. Миколаїв у літній період, були розраховані значення температур для кожного пікселя багатозональних космічних знімків всіх серій Landsat у період з 1985 по 2018 рік.

Для м. Миколаєва температурний ряд отриманих і опрацьованих знімків Landsat — 4, 5, 8 складає 28

зрізів теплового поля поверхні. З метою нівелювання впливу погодних умов проведено вибірку знімків, що мали приблизно однакові показники температури повітря та розрахованої температури поверхні з визначенням середніх, максимальних і мінімальних значень та середньоквадратичних відхилень температури поверхні на момент космічної зйомки для серпня місяця (табл. 1).

З метою нівелювання впливу погодних умов проведено вибірку знімків, що мали приблизно однакові показники температури повітря на момент космічної зйомки.

Для оперативного аналізу змін значень і розподілу поверхневих температур запропоновано синтезувати (об'єднувати) три зрізи теплового поля поверхні із різних за часом періодів, наприклад, 1986, 2000 та 2018 рр., та провести “теплове” профілювання вздовж ліній, що перетинають основні ландшафтно-функціональні зони міста. На таких штучно синтезованих зображеннях різними кольорами відображаються відмінності температурного поля, що існували на певний час при зміні ландшафтно-функціональних умов. Обмеження методу трьома зображеннями пояснюється лімітом каналів для кольорової візуалізації RGB [9].

Застосування методу профілювання дозволяє оперативно визначити теплові аномалії промислових об'єктів серед фонових температур міста. Профіль перетинає найбільш характерні ландшафтно-функціональні зони міста, як то селитебну, промислову, рекреаційну, що дає можливість детально проаналізувати найбільш проблемні ділянки в їхніх межах. На таких штучно синтезованих зображеннях різними кольорами відображаються відмінності температурного поля, що існували на певний час при зміні ландшафтно-функціональних умов. Обмеження методу трьома зображеннями пояснюється

Таблиця 1.

Перелік КЗ Landsat, що використовувалися при аналізі та моніторингу розподілу поверхневих температур у м. Миколаїв

Дата зйомки	min температура поверхні, °С	max температура поверхні, °С	середня температура поверхні, °С	St Dev	Температура повітря на 12:00, °С	Джерела даних про температуру повітря
LT05_1985-08-27	22.825195	43.140045	34.624643	4.661925	–	–
LT05_1986-08-30	22.639832	45.235077	36.146986	5.164555	–	–
LT04_1998-15-08-	21.714417	48.008423	34.174319	5.073773	+27	1997р. https://www.gismeteo.ru/diary/4983/1997/8/
LT05_2000-08-20-	24.201050	45.636841	36.970093	4.941614	+34	2003 р
LT05_2003-08-27	22.321167	41.532684	33.511797	4.437402	+23..+24	https://meteo.ua/archive/112/nikolaev/
LT05_2009-08-29	22.454681	53.763397	37.732726	5.937616	+22..+25	2010 р.
LC08_2015_08.30	26.052979	47.606995	37.280791	4.590212	+22..+23	https://meteopost.com/weather/archive/ https://meteo.ua/archive/882/nikolaev
LC08_2018-08-24	23.596008	45.708649	35.851501	4.794822	+27	https://meteo.ua/archive/882/nikolaev

На другому етапі аналізувались взаємозв'язки між значенням поверхневих температур, рельєфом, гідрографією та техногенним навантаженням міста.

Результати досліджень

На синтезованому зображенні отриманому в результаті злиття значень температури поверхні обробленої на серпень 1986, 2000 та 2018 років (рис. 1) видно, що в межах самого міста зображення має переважно сірий колір різної інтенсивності, це значить, що немає великої розбіжності у ході часових коливань температури поверхні при різних, але сталих ландшафтних і функціональних умовах. Коливання температури поверхні по площі при незмінних ландшафтних умовах успадковується. Тобто саме в місцях, де змін у структурі ландшафтно-функціональних зон не відбулося, колір зображення більш нейтральний (на рис. 1 — сіро-зелений). Якщо у конкретний з періодів відбулися зміни функціонального використання території, (нова забудова, водойми, кар'єри, зволоження ґрунту, лісові насадження, пожежі, тощо), то контрастність і яскравість кольорів на таких ділянках стає іншою, завдяки інтенсивності температурного поля на поверхні даних об'єктів. Такі синтезовані RGB-зображення дозволяють якісно оцінити часову мінливість і показують, в які роки, і на яких ділянках відбулася різка зміна ходу температурної

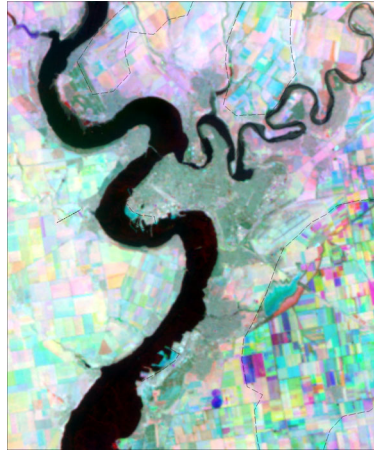


Рис. 1. RGB-композиція розрахованих температур за даними КЗ Landsat у серпні 1986, 2000 та 2018 років

кривої в порівнянні з іншими роками, що взяті до аналізу. На рис. 1 оконтурені саме такі ділянки, вони відносяться до зрошуваних сільськогосподарських земель, які з року в рік мають різні види посівів, умови зрошення, зволоження ґрунту, і тому мають значну строкатість зображення.

Моніторинг особливостей теплової структури поверхні міста було проведено шляхом профілювання даних теплового знімання (рис. 2). Профілі перетинали Центральний, Корабельний і Заводський райони Миколаєва. Профіль А–Б починається південніше с. Велика Корениха, проходить через центральну частину міста до Ракетного урочища і річки Інгул. Профіль В–Г починається в районі с. Варварівки і закінчується за Жовтневим водосховищем. Для профілювання обрано розрахунки температур поверхні по космічних даних у період з 1985 року по 2015 рік.

Аналіз теплових профілів

по лінії А–Б (1985, 1998, 2003 рр.) (рис. 3). Взагалі лінії профілів різних років повторюються, проте мають локальні відмінності. Найнижчі температури відмічено в районі водних поверхонь долин Південного Бугу, Інгулу, та озера Ліски (точки 3, 4, 5, 15, 19). В межах житлової забудови міста та на водних поверхнях найвищі температури фіксуються у 1985 році.

Значні зміни температури спостерігаються в точ-

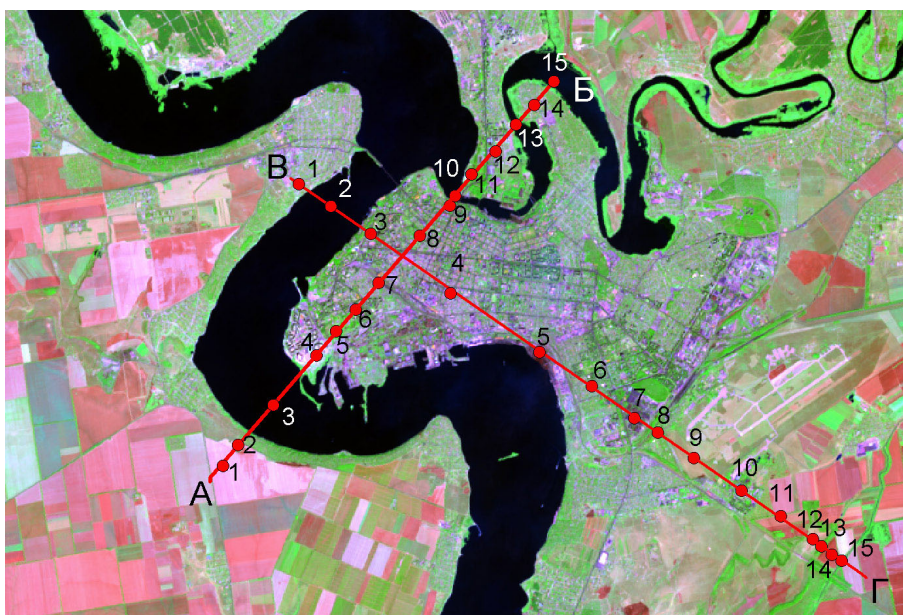


Рис. 2. Положення теплових профілів на КЗ Landsat, зйомка 30.08. 2015, композит 7,5,3 каналів

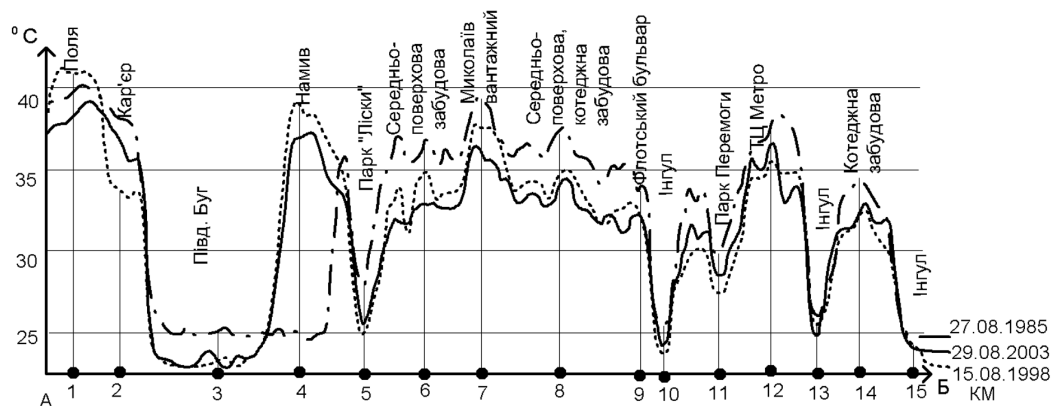


Рис. 3. Теплові профілі по лінії А–Б за 1985, 1998 і 2003 роки

ках 2 і 4 і зумовлені антропогенним впливом. В точці 2 у 1998 році спостерігається локальне зниження температури на правому схилі Південного Бугу на місці кар'єру, що був виявлений при аналізі видимих діапазонів БКЗ Landsat. Заглиблення кар'єру, зміна рельєфу поверхні призвели до зниження температур в його межах у 1998 році. Засипання та заростання кар'єру зумовило вирівнювання температури поверхні по схилу.

В точці 4 відмічається псевдо-розширення русла Південного Бугу. Це явище спостерігається за рахунок намивання піску для житлового будівництва, де згодом і з'явився масив "Намив". У 1985 році, ще не існувало цього житлового. Його почали розбудовувати після 1990р. До того це була заплавна частина лиману та зволожена після намиву піску територія, тому лінії кривої 1985 року в цьому місці понижені у порівнянні з 1998 та 2003 роками, коли там після намиву почалося освоєння території і з'явилася високоповерхова забудова і значні площі непроникних поверхонь. Найвищі температури на масиві "Намив" спостерігалися у 1998 році на відкритих сухих піщаних поверхнях.

В межах міста, на загальному фоні середньо і малоповерхової забудови виділяється температурна аномалія у районі "Миколаєва вантажного" (точка 7). Від'ємні аномалії температури пов'язані з пар-

ками "Ліски" та "Перемога" (точки 5, 11). Коливання температури в межах приватної котеджної забудови (урочище Ракетне, точка 14) — 33...35°C і становлять середні значення між міською житловою забудовою (33–37°C) і парками (25–30°C).

Аналіз теплових профілів по лінії А–Б (1985, 2009, 2015 рр.) (рис. 4). На цьому комплексі профілів залишено, як реперний, профіль 1985 р. і додано більш пізні данні 2009 та 2015 рр. Найвищі температури на профілі, що перевищують 40°C відмічено у 2015 році на орних землях (полях) правобережжя Південного Бугу, території Миколаєва вантажного та ТЦ Метро (точки 1, 7, 12). Найнижчі температури встановлені у 2015 році на водній поверхні Південного Бугу (26°C), водна поверхня Інгулу прогріта на декілька градусів вище (точка 10). У порівнянні з профілями з рисунку 3 значно підвищилась температура в межах парку і озера Ліски (точка 5) від 25 до 30°C. Можливо, це пов'язано з наслідками загальної аридизації і пересиханням озера. Значні зміни відмічено в точці 4, в районі житлового масиву "Намив" (точка 4). У 1985 році температура свіжо наминого вологого піску не відрізняється від температури водної поверхні і становить всього 25°C. Натомість у 2009 та 2015 роках фіксуються температури біля 40°C в межах новобудов, ділянок будівництва та незакріплених пісків. Тобто в точці 4 за досліджува-

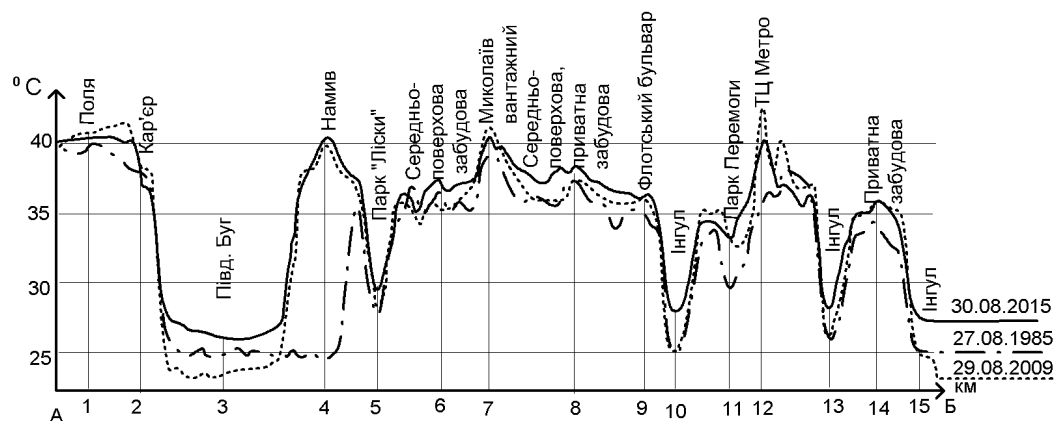


Рис. 4. Теплові профілі по лінії А–Б за 1985, 2009 і 2015 роки

ний період, внаслідок техногенних змін, спостерігається максимальна різниця — збільшення температури на 15°C .

Різниця прогрівання водних поверхонь річок Південний Буг, Інгул та озера Ліски становить 3°C , найбільш прохолодними поверхні води були у 2009 р, найбільше прогрілися у 2015 р. Прогрівання залежить від розмірів та глибини водойм тобто від кількості водної маси і течії. У 2015 р. на озері Ліски (точка 5) температура становила 30°C , в річці Інгул (точки 10, 13) — 28°C , а в Південному Бузі (точка 3) — 26°C .

Найбільш високі температури встановлені на новобудовах житлового масиву “Намив” до 40°C , але більша частина міста вкрита середньо та малоповерховою забудовою, де між будинками існують значні відстані з газонами та деревним покриттям. Середні температури в цих частинах міста за досліджуваний період становлять $35\text{--}37^{\circ}\text{C}$. Найнижчі температури $33\text{--}35^{\circ}\text{C}$ відмічені в межах приватної забудови Ракетного урочища (точка 14).

Аналіз теплових профілів по лінії В-Г (1985, 1998, 2003 рр.) (рис.5). Профіль В-Г проведено перпендикулярно до профілю А-Б від селища Варварівка через Миколаїв до водосховища Жовтневе. Профіль починається на присхиловій частині селища Варварівка, де температури змінюються від 36 до 38°C (точка 1). В межах житлової забудови Миколаєва та масиву “Кульбакіне”, за досліджуваний період, температури коливалися між 32 та 37°C (точки 3, 4, 10). Максимальні температурні значення відмічено в межах промислових зон, де дахи виробничих підприємств переважають за площею (рис. 6). На території Миколаївського торговельного порту (точка 6) температура досягає 40°C , а на заводі “Зоря”-“Машпроект” — 43°C (точка 7). Температура на аеродромі та полях біля житлового масиву “Кульбакіне” показує значення до 40°C (точки 9, 11). У південно-східній частині профілю розташоване водосховище “Жовтневе”. В межах водної поверхні цього водосховища та зрошувального каналу температури знижуються відповідно до 26 та 30°C (точки 12 та 16).

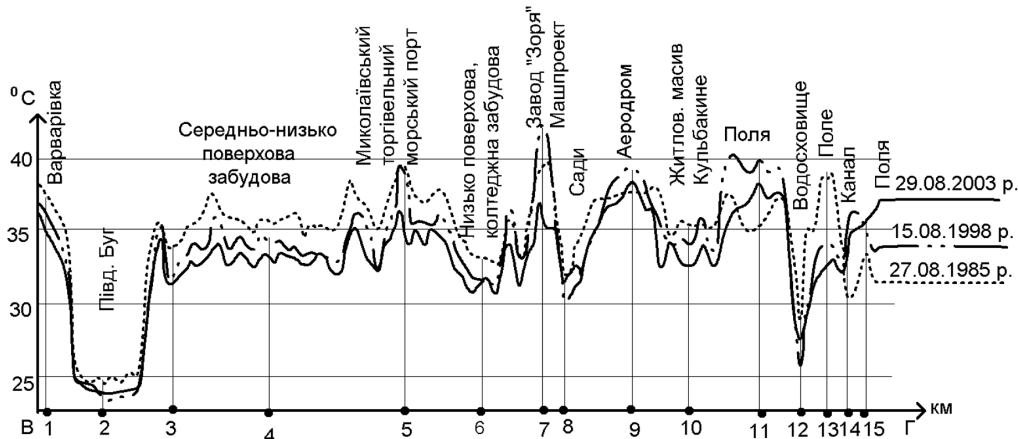


Рис. 5. Теплові профілі по лінії В-Г за 1985, 1998 і 2003 роки



Рис. 6. Панорама міста Миколаїв. На передньому плані — ДП НВКГ “Зоря”-“Машпроект”, вдалині — озеленена житлова забудова. Фото В. Аджамського [Google Earth]

Аналіз теплових профілів по лінії В-Г (1985, 2009, 2015 рр.) (рис.7). Температури в межах добре озелененої середньо-низько поверхової забудови Миколаєва, впродовж досліджуваного періоду, мали значення 30–35°C (точка 4), а низько поверхової та приватної котеджної забудови не перевищували 30°C (точка 6). Промислові території Торгівельного морського порту та заводу “Зоря” прогрівалися до 40–42°C (точки 5, 7). Також високі температури 42–43°C зафіксовані на відкритій поверхні аеродрому (точки 9) та полях до 41°C (точка 11). Житловий масив “Кульбакіне” характеризується відносно пониженими температурами, за рахунок озеленення і становить температуру — 35–37°C.

сильно перегріта під кінець літа. В межах самого міста лише окремі промислові ділянки досягають даного рівня температури (рис. 8, жовтий колір). Також в загальних рисах відображається відмінність у температурі більш посушливої і найбільш перегрітої західної правобережної частини (Дністровсько-Бузький вододіл) у порівнянні зі східною (Дніпровсько-Бузькою), яка є більш різноманітною у видах сільськогосподарського використання завдяки зрошенню (різноманітніші види посівів), а отже і більш варіабельною у температурному відношенні. Особливо найбільш яскраво це спостерігалось у 1985 році (див. рис. 8 А).

Вважається, що над містами формуються аномалії

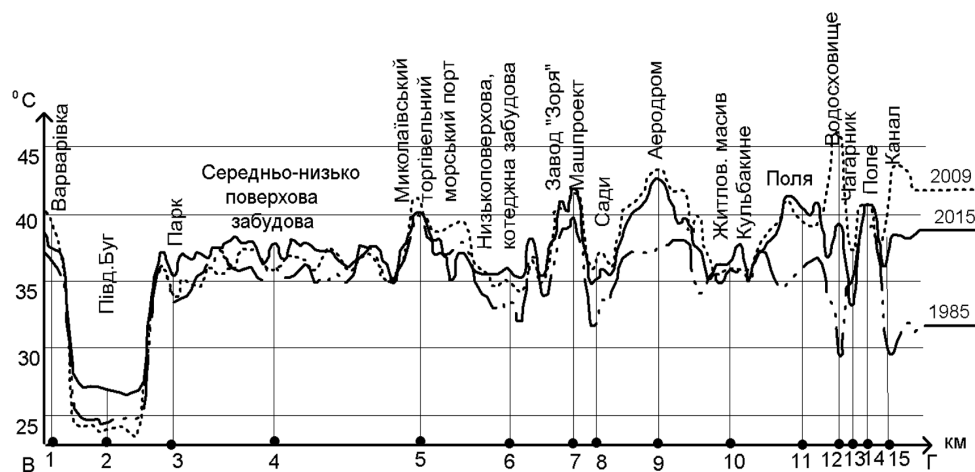


Рис. 7. Теплові профілі по лінії В-Г за 1985, 2009 і 2015 роки

Найбільші зміни відбулися в межах Жовтневого водосховища (точка 12). У 1985 році водосховище було заповнене водою і температура у верхів'ях не перевищувала 30°C. Після спуску води у 2009 році днище прогрілося до 46°C, а у 2015 році лише до 39°C. На південно-східному схилі водосховища сформувалася смуга чагарників, яка і дає після спуску водосховища від'ємну теплову аномалію (точка 13). Кінцева точка профілю (№ 15) знаходиться біля зрошувального каналу. За досліджуваний період температури, завдяки зменшенню водності каналу, збільшувалися від 30 до 44°C. Отже, найбільші зміни (підвищення температур) відбулися за період від 1985 до 2015 року на техногенних об'єктах — Жовтневому водосховищі та зрошувальному каналі внаслідок зменшення водності або висихання цих об'єктів.

Аналізуючи розподіл теплового поля поверхні обрахованої за даними Landsat на всіх часових зрізах Миколаєва та прилеглих територій спостерігається наступна картина — в цілому загальний фон міста для найспекотнішого літнього періоду (кінець липня, початок серпня) на декілька градусів менший ніж навколишня степова територія, яка висушена і

підвищених теплових значень так звані “теплові острови”. З метою визначити наявність такої аномалії були проведені теплові профілі через місто і прилеглі території, щоб визначити теплові особливості міста на фоні оточуючих теренів (рис. 9). Приміські, фонові території, представлені орними землями півдня степової зони. Різний видовий стан посівів, стадії дозрівання, агротехнічні етапи вирощування зумовлюють дуже мінливу строкатість космічного зображення і градієнтну структуру теплових профілів з коливанням до 5°C (рис. 10). Відстані між максимумами та мінімумами амплітуд коливання на теплових профілях визначаються розмірами полів. Найвище прогрівання полів відмічені у 2009 році — до 45°C, а найнижчі значення у 1998 році лише 35°C.

На фоні орних земель територія Миколаєва вирізняється більш низькими температурами і слабко градієнтною структурою теплових профілів. Максимальні температури до 37°C відмічаються на прирічкових промислових зонах. Температура озелененої території міста не перевищує 36°C у 2009 році і мінімальної значення 31°C має у 1998 році.

Аналізуючи фактори впливу на формування теплового поля м. Миколаєва виявлено вплив водних



Рис. 8. Розподіл теплового поля в межах м. Миколаїв за даними супутників Landsat: А — 1985 р., Б — 2000 р., В — 2018 р.



Рис. 9. Місто Миколаїв та положення теплового і гіпсометричного профілів по лінії Д–Е на КЗ Landsat, зйомка 30.08.2015, композит 7, 5, 3 каналів

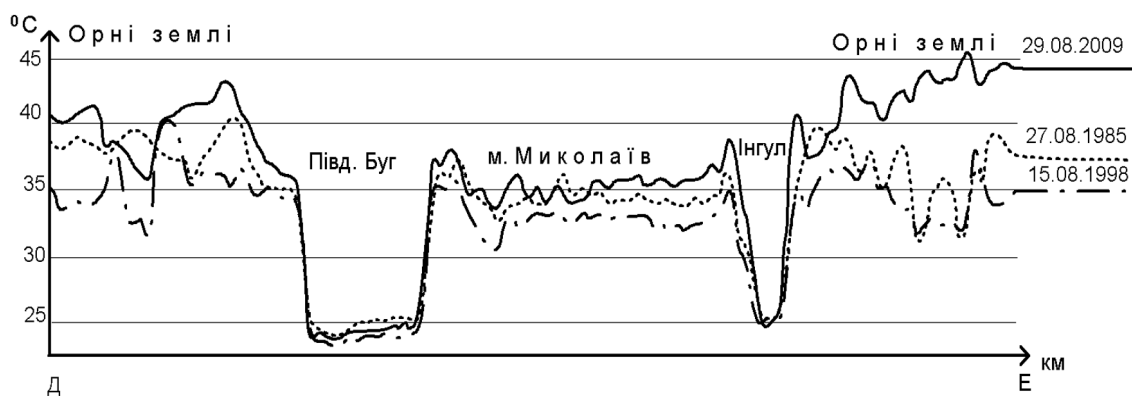


Рис. 10. Теплові профілі по лінії Д–Е за 1985, 1998 і 2009 роки

артерій, різноповерхової житлової забудови, зелених насаджень, промислових зон і техногенних об'єктів, сільськогосподарських угідь. Для визначення впливу рельєфу на формування особливостей теплового поля зіставлено і проаналізовано тепловий і гіпсометричний профілі по лінії Д–Е (рис. 11). Долини річок Південний Буг і Інгул формують аномалії мінімумів теплового поля. Правобережжя Інгулу має більш розчленований характер, що на теплових графіках 1985 та 1998 років відбилося на температурних показниках орних земель, проте у 2009 році особливості агроландшафтів знівелювали вплив долиноподібного пониження, це відображається у північно-східній частині профілю. Оче-

торії з деревною рослинністю, а також ділянки малоповерхової приватної забудови. Водна поверхня завжди має найнижчу температуру поверхні, але рівень прогрівання води в річках різний за роками, але завжди в Південному Бузі на 1–2°C нижчий ніж в Інгулі.

Нами встановлено, що за досліджуваний період з 1985 по 2015 рік максимальна різниця — збільшення температури на 15°C становила в місцях значних техногенних змін:

- в межах ділянки намивних пісків, яка після забудови багатоповерховими будинками стала найбільш перегрітою ділянкою міста;
- в межах водосховища Жовтневого температура

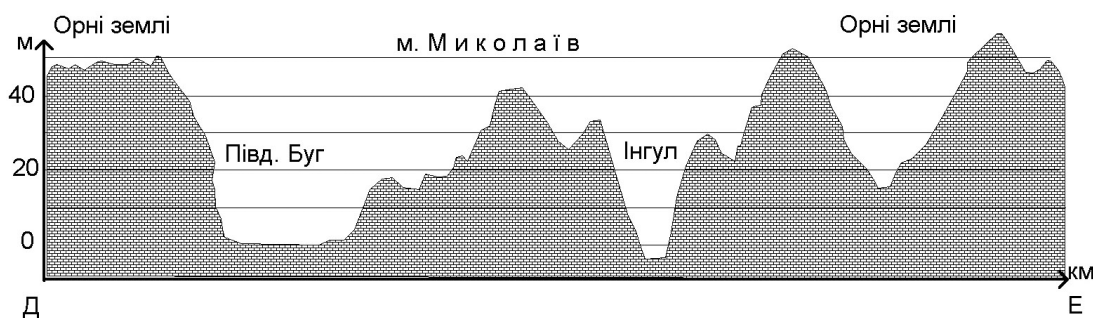


Рис. 11. Гіпсометричний профіль по лінії Д–Е

видно, землі сільськогосподарського призначення в 1985–1998 роках були зрошені і тому мали більш низькі поверхневі температури, тоді як у 2009 році вони стояли пересушеними і дуже перегрітими за рахунок відсутності зрошення, хоча меліоративна мережа там існує. Територія самого міста має достатньо складний рельєф, проте забудова та відносно рівномірне поширення деревної рослинності, представленої листяними породами такими як платан, каштан, тополі пірамідальні, осокори та акація, мають значну крону та екранують вплив особливостей рельєфу.

Висновки

Максимальні температурні значення в межах Миколаєва відмічені на території промислових зон: Миколаївський торговельний порт, завод “Зоря”–“Машпроект” — 43°C, “Миколаїв-вантажний”, окремі ділянки суднобудівної виробничої зони, тобто ті території, де переважають великі площі непроникних територій — дахів та штучних дорожніх покриттів.

До ділянок з вищими за середні значення відносяться території відкритих поверхонь (сільгоспугідь, полів), а в межах селітебної зони міста найтеплішими є нова висотна забудова, автодороги, залізничні колії та виробничі і складські території вздовж них. Температуру нижчу за середню по місту мають, прибережні зелені смуги та паркові тери-

поверхні різко змінилася за рахунок спуску води та підвищилася на 15°C.

Техногенні зміни рельєфу пов'язані з намиванням піску, розробкою кар'єрів зумовлюють виникненню нестійких від'ємних теплових аномалій, які з часом, внаслідок діяльності інших чинників, можуть трансформуватися у додатні поверхневі температурні аномалії.

Нівелювання підвищених температурних фонів на виробничих територіях можливе за рахунок природних компонентів, таких як зволоження ґрунту і рослинність, за рахунок зменшення площі непроникних поверхонь і збільшення озеленення деревною рослинністю з тіньюутворюючою кроною.

Регіональний аналіз теплових показників дозволив отримати нові дані. Відомо, що над містами формуються теплові острови за рахунок зміни природних ландшафтів на антропогенні та техногенні. Яскравим прикладом цього є м. Київ, що знаходиться на межі зони лісів та лісостепу. Температура у Києві перевищує показники замських теренів у літні місяці [3]. Натомість, у Миколаєві розташованому у степах північного Причорномор'я спостерігається дещо інша тенденція. Більшість території міста зайнята середньо та малоповерховою забудовою зі значним ступенем озеленення, де помірне поширення непроникних поверхонь, значне озеленення, інтенсивний полив зумовили формування в межах міста від'ємної

теплової аномалії. Таким чином, міста півдня України у літній період формують не “теплові острови” на фоні оточуючих ландшафтів, а відносно прохолодні оази.

Література

1. Горный В. И., Крицук С. Г., Латыпов И. Ш., Тронин А. А., Киселев А. В., Бровкина О. В., Филиппович В. Е., Станкевич С. А. Теплофизические свойства поверхности городской среды (по результатам спутниковых съемок Санкт-Петербурга и Киева). *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 3. С. 51–66.
2. Крилова Г. Б. Моніторинг формування і розвитку теплового острова міста Києва. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2014. № 2. С. 35–37. URL: <http://ujrs.org.ua/ujrs/article/viewFile/19/40>.
3. Миколаївська міська рада. Благоустрій міста. URL: <https://mkrada.gov.ua/content/zagalni-vidomosti-jkh.html?PrintVersion>.
4. Миколаївська міська рада. Охорона довкілля. Екологічний паспорт міста. URL: https://mkrada.gov.ua/files/OXOPHADOBKIJ9I/ECO_PASPORT.pdf (дата звернення: 20.06.2019).
5. Поживанов Михайло. На зелених насадженнях можна відмити гроші, або як Кличко у Києві парки рахував. URL: https://antikor.com.ua/articles/246018-na_zele-nih_nasadhenjah_mohna_vidmiti_groshi_abo_jak_klic-hko_u_kijevi_parki_rahuvav.
6. Про затвердження меж міста Николаева Миколаївської області. Постанова ВР України від 15 листопада 1996 року. № 518/96-ВР.
7. 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. Збірник 13 Міжнарод. н.- пр. конф. “Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях”. К.: Пуца-Водиця. 2014. С. 16–28.
8. Чисельність населення за оцінкою на 1 квітня 2019 року. Головне управління статистики у Миколаївській області. URL: <http://mk.ukrstat.gov.ua/>.
9. Hayes D. J., Sader S. A. Comparison of change-detection techniques for monitoring tropical forest clearing and vegetation regrowth in a time series. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. 2001. Vol. 67. No. 9. pp. 1067–1075.
10. Kottmeier C., Corsmeier U., Biegert C. Effects of Urban Land Use on Surface Temperature in Berlin: Case Study. *Journal of Urban Planning and Development*. 2007. Vol. 133. No. 2. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9488(2007)133:2(128).
11. Menga F., Liub M. Remote-sensing image-based analysis of the patterns of urban heat islands in rapidly urbanizing Jinan, China. *International Journal of Remote Sensing*. 2013. Vol. 34, No. 24, pp. 8838–8853. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2013.853895>.
12. Muthoka Mumina J., Ndegwa Mundia C. Dynamism of Land use Changes on Surface Temperature in Kenya: A Case Study of Nairobi City. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 2014. Vol. 3. No. 4. URS: <https://www.researchgate.net>.
13. Ogashawara I., Brum Bastos V. da S. A Quantitative Approach for Analyzing the Relationship between Urban Heat Islands and Land Cover. *Remote Sens*. 2012. Vol. 4. No. 11. pp. 3596–3618. DOI: 10.3390/rs4113596.
14. Perez Hoyos I. C. Comparison between land surface temperature retrieval using classification based emissivity and NDVI based emissivity. *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*. 2014. Vol. 2. Issue 2. pp. 26–30. URL: <http://www.ijrdet.com>.
15. Quattrochi D., Luvall J. Thermal infrared remote sensing for analysis of landscape ecological processes: methods and applications. *Landscape Ecology*. 1999. Vol. 14. No. 6. pp. 577–598. URL: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1008168910634>.
16. Valor E., Caselles V. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment*. 1996. Vol. 57. No. 3. pp. 167–184.
17. Weng O., Lu D., Schubring L. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*. 2004. Vol. 89. pp. 467–483.
18. Yashwant Bhaskar Katpat, Abhijeet Kute, Deepty Ranjan Satapath. Surface- and Air-Temperature Studies in Relation to Land Use/Land Cover of Nagpur Urban Area Using Landsat 5 TM Data. *Journal of urban planning and development*. 2009. Vol. 134. No. 3. DOI: 10.1061/ASCE0733-94882008134:3110.
19. Zhang J., Lia Y., Yunpeng Wang Y. Monitoring the urban heat island and the spatial expansion: using thermal remote sensing image of ETM+ band6. *Geoinformatics 2007. Remotely Sensed Data and Information. Proc. of SPIE*. 2007. Vol. 6752, 67522F-1. DOI: 10.1117/12.760725.

References

1. Gornyy, V.I., Kritsuk, S. G., Latypov, I. Sh., Tronin, A. A., Kiselev, A. V., Brovkina, O. V., Filippovich, V. Ye., Stankevich, S. A. (2017). Thermophysical properties of the urban environment (according to the results of satellite surveys of St. Petersburg and Kiev). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 14 (3), 51–66. (Russian).
2. Krylova, Gh. B. (2014). Monitoring the formation and development of the thermal island of Kiev. *Ukr. z. dystanzijnogo zonduvanna Zemli*. 2, 35–37. Retrieved from <http://ujrs.org.ua/ujrs/article/viewFile/19/40>. (Ukrainian).
3. Mykolajivsjka misjka rada. Blaghoustrij mista. Retrieved from <https://mkrada.gov.ua/content/zagalni-vidomosti-jkh.html?PrintVersion>. (Ukrainian).
4. Mykolajivsjka misjka rada. Okhorona dovkillja. Ekologichnyj passport mista. Retrieved from https://mkrada.gov.ua/files/OXOPHADOBKIJ9I/ECO_PASPORT.pdf. (Ukrainian).
5. Pozhyvanov, Mykhajlo. Na zelenykh nasadzhenjakh

- mozhna vidmyty ghroshi, abo jak Klychko u Kyjevi parky rakhuvav. Retrieved from https://antikor.com.ua/articles/246018-nazeleenihasadhenjah-mohna_vidmyti_groshi_abo_jak_klichko_u_kyjevi_parki_rahuvav. (Ukrainian).
6. Pro zatverdzhennja mezh mista Mykolajeva Mykolajivskoj oblasti. Postanova VR Ukrainy vid 15 lystopada 1996 roku. No 518/96-VR. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show>. (Ukrainian).
7. Filipovych, V. Je., 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. Collection 13 International n.-pr. conf. "Modern information technologies of environmental safety management, nature management, measures in emergency situations". (pp. 16–28), K.: Pushzha-Vodycja. (Ukrainian).
8. Chyseljnistj naselennja za ocinkoju na 1 kvitnja 2019 roku. Gholovne upravlinnja statystyky u Mykolajivskij oblasti. Retrieved from <http://mk.ukrstat.gov.ua/>. (Ukrainian).
9. Hayes, D. J., Sader, S. A. (2001). Comparison of change-detection techniques for monitoring tropical forest clearing and vegetation regrowth in a time series. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. 67 (9), 1067–1075.
10. Kottmeier, C., Corsmeier, U., Biegert, C. (2007). Effects of Urban Land Use on Surface Temperature in Berlin: Case Study. *Journal of Urban Planning and Development*. 133 (2). DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9488(2007)133:2(128).
11. Menga, F., Liub, M. (2013). Remote-sensing image-based analysis of the patterns of urban heat islands in rapidly urbanizing Jinan, China. *International Journal of Remote Sensing*. 34 (24), 8838–8853. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2013.853895>.
12. Muthoka Mumina, J., Ndegwa 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 (IJSR)*. 3 (4). Retrieved from <https://www.researchgate.net>.
13. Ogashawara, I., Brum Bastos, V. da S. (2012). A Quantitative Approach for Analyzing the Relationship between Urban Heat Islands and Land Cover. *Remote Sens.* 4 (11), 3596–3618. DOI:10.3390/rs4113596.
14. Perez Hoyos, I. C. (2014). Comparison between land surface temperature retrieval using classification based emissivity and NDVI based emissivity. *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*. 2 (2), 26–30. Retrieved from <http://www.ijrdet.com>.
15. Quattrochi, D., Luvall, J. (1999). Thermal infrared remote sensing for analysis of landscape ecological processes: methods and applications. *Landscape Ecology*. 14 (6), 577–598. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1008168910634>.
16. Valor, E., Caselles, V. (1996). Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment*. 57 (3), 167–184.
17. Weng, O., Lu, D., Schubring, L. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*. 89, 467–483.
18. Yashwant Bhaskar Katpat, Abhijeet Kute, Deepty Ranjan Satapath. (2009). Surface- and Air-Temperature Studies in Relation to Land Use/Land Cover of Nagpur Urban Area Using Landsat 5 TM Data. *Journal of urban planning and development*. 134 (3). DOI: 10.1061/ASCE0733-94882008134:3110.
19. Zhang, J, Li, Y, Wang, Y. (2007). Monitoring the urban heat island and the spatial expansion: using thermal remote sensing image of ETM+ band6. *Geoinformatics 2007. Remotely Sensed Data and Information. Proc. of SPIE*. 6752, 67522F-1. DOI: 10.1117/12.760725.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕТНИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР ГОРОДА НИКОЛАЕВА ПО ДАННЫМ ТЕПЛООВОГО ДИАПАЗОНА СПУТНИКОВ СЕРИИ LANDSAT

Л. П. Лищенко, Н. В. Пазинич, В. Е. Филиппович

На основе использования тепловых каналов многозональных космических снимков Landsat с 1985 по 2018 проведен анализ состояния и особенностей распределения теплового поля поверхности одного из промышленных центров юга Украины — Николаева. Изменения температуры поверхности во времени исследовались как на всю территорию города, так и по отдельным профилям, пересекающим различные по ландшафтному и функциональному состоянию участки. Установлены значительные различия в ходе временных колебаний температуры поверхности в разных, но стабильных ландшафтно-функциональных условиях. Аномально высокие температуры, достигающие 40–43°C тяготеют к промышленным зонам. Температуры водных поверхностей Южного Буга, Ингула и озера Лиски имеют низкие значения и определяются количеством водной массы. За период исследований крупнейшие скачки повышения температур до 15°C зафиксированы на намывных песках поймы Южного Буга, после застройки жилым массивом «Намыв» и в пределах водохранилища «Жовтневе» после его спуска. Основные типы жилой застройки города — средне, малоэтажная и частная коттеджная со значительным придомовым озеленением, формируют постоянный температурный фон. Ограниченное распространение непроницаемых поверхностей, значительное озеленение, интенсивный полив обусловили формирование в пределах города отрицательной тепловой аномалии, своеобразного оазиса на фоне степных агроландшафтов.

Ключевые слова: температура поверхности города, тепловые каналы многозональных космических снимков, ландшафтно-функциональные зоны, тепловое профилирование

SUMMER SURFACE TEMPERATURE DISTRIBUTION ANALYSIS OF MYKOLAYIV CITY BASED ON THE LANDSAT SERIES THERMAL INFRARED DATA

L. P. Lischenko, N. V. Pazynych, V. Ye. Filipovych

The surface temperature distribution analysis of the condition and characteristics within one of the industrial centers of the south of Ukraine, Mykolaiv, from 1985 to 2018 was carried out on the basis of Landsat thermal infrared data processing. Temporal development of surface temperature distribution was investigated both for the entire territory of the city and for individual profiles crossing the diverse landscape and functional city areas. Significant surface temperature distribution divergences during temporal variations in different, but steady landscapes and functional conditions have been stated. Abnormally high temperatures are found within industrial zones, reaching 40–43°C. The water temperatures of the Southern Bug, Ingula and Lake Liski are the lowest and are determined by the amount of water mass. The highest temperature oscillation (up to 15°C) during the research period, was recorded on the artificially aggradated sands within floodplain of the Southern Bug, after the residential building “Namyv” was built and within the “Zhovtneve” reservoir, after its draining. The main types of residential development of the city — a medium, low-rise buildings and private cottages surrounded by trees and lawns, forming a stable temperature background. Limited distribution of impermeable surfaces, significant planting, intensive watering resulted in the formation of a negative thermal anomaly within the city, a peculiar cool oasis against a hot background of steppe agro-landscapes.

Keywords: land surface temperature of the city, thermal channels of multispectral space images, landscape-functional zones, thermal profiling