

УДК 528.873.041.3

DOI: 10.18372/2310-5461.37.12433

*О. О. Железняк*, аспірант  
Національний авіаційний університет  
<https://orcid.org/0000-0003-0387-9615>  
e-mail: djironkiev@gmail.com

## КЛАСИФІКАЦІЯ І ВЛАСТИВОСТІ СТРУКТУР УРБАНІЗОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ

### Постановка проблеми

Завдяки господарській діяльності людини відбуваються істотні зміни властивостей природних земних ландшафтів. У першу чергу зміни зазнає рослинність, оскільки на територіях лісів, луків з'являються споруди промисловості та життєдіяльності людини. У результаті порушується тепловий баланс природного ландшафту, спотворюється водний режим, забруднюється за рахунок викидів земна атмосфера, зазнає геологічних і просторових змін рельєф територій.

Відбувається руйнування природного ландшафту, оскільки з'являються нові урбанізовані структури, обумовлені життєдіяльністю людини.

Антропогенно-техногенні компоненти в поєднанні з природними, формують урбанізований ландшафт, що має свої специфічні характеристики, пов'язані зі змінами фізико-хімічних властивостей ґрунтів, режимом ґрунтових і поверхневих вод, утворенням теплових аномалій, висадкою культурної рослинності.

Створені людиною урбанізовані антропогенні ландшафти є важливими об'єктами господарської діяльності, тому потребують аерокосмічного моніторингу, спрямованого на контроль за використанням природних ресурсів і формуванням екологічного середовища (газового складу атмосфери, кругообігу води, контрастів температурних аномалій). Міські агломерації створюють геоecологічне середовище, у якому відбувається взаємодія природних та техногенних факторів у просторі і часі.

Для гармонійного розвитку великих міст та реалізації процесу оптимізації параметрів міського середовища необхідно враховувати ландшафтно-екологічні зміни, що обумовлені природними і антропогенними причинами.

Сучасний стан урбанізованих територій визначається динамікою виробництва товарів і послуг, раціональністю використання природних ресурсів та наявності енергозбереження.

Інтенсивне використання природних ресурсів зумовлює викиди отруйних речовин в атмосферу, спускання стічних вод виробництв і життєді-

яльності населення в річки та озера значно погіршує геоecологічний стан міських агломерацій.

### Невирішені частини проблеми

Аерокосмічний моніторинг міських агломерацій забезпечує достовірну оперативну інформацію про екологічний стан ландшафтних структур, однак для кількісного аналізу контрастів температурних аномалій необхідно мати значення випромінювальної здатності  $\epsilon(\lambda, T)$  в інфрачервоній та тепловій області спектру. Від значення  $\epsilon(\lambda, T)$  залежить точність визначення перепаду (контрасту) температур на території міських агломерацій. На сьогодні для багатьох урбанізованих ландшафтних структур не проведені дослідження їх фізико-хімічних особливостей в інфрачервоному і тепловому діапазонах.

### Мета дослідження

Провести аналіз властивостей та здійснити класифікацію ландшафтних структур міських агломерацій на основі космічних інфрачервоних спостережень.

### Огляд останніх досліджень

Особливості ландшафтних структур розглядалися в таких працях [2], [5], [7], [8] однак класифікація урбанізованих ландшафтних структур здійснювалася за різними принципами в залежності від мети дослідження. Випромінювальна здатність  $\epsilon(\lambda, T)$  (ступінь чорноти) поверхонь ландшафтних структур досліджувалася, але на сьогодні не існує узагальненої класифікації ландшафтних структур на основі фізико-хімічних властивостей їх поверхні.

### Основні результати дослідження

На міських територіях антропогенний вплив досягає максимальних значень на природні ландшафти, створюючи багатофункціональне урбанізоване середовище. Земна поверхня у місцях розташування міст перетворюється для задоволення потреб проживання міського населення. При цьому здійснюється будівництво будинків і доріг та створюється мережа міських інженерних комунікацій, знищується природні рослинність і

грунтовий покрив, регулюється стікання води в річках, створюються різні види гідроспоруд — озера, водосховища, технічні відстійники та системи очищення води. Відбувається відчуження земель для утилізації та захоронення відходів виробництва і відходів життєдіяльності населення, висаджуються штучна рослинність у зонах відпочинку і спортивних спорудах.

Поряд з загальними закономірностями перетворення земної поверхні у місцях проживання населення на території міст існують значні ландшафтні неоднорідності.

У різних зонах міста: історичному і діловому центрі, житловій забудові, промислово-транспортних районах, рекреаційних і приміських зонах ступінь перетворення природних ландшафтів і насиченість техногенними об'єктами істотно відрізняється. Спостерігається загальна тенденція для міст — збільшення щільності забудови від передмістя до центра міста, де найбільше спотворені природні ландшафти. Зміни фізико-хімічних властивостей земної поверхні породжують мікрокліматичні контрасти між містом і приміською територією [2].

У кожному місті тією чи іншою мірою існують такі ландшафтні структури:

1) житлові райони — території, забудовані малоповерховими і багатоповерховими будинками утворюють вулиці, проспекти різної довжини і напрямку у просторі. Залежно від розташування будинків відбувається перешкоджання або ж сприяння поширенню вітру, при цьому змінюється швидкість випаровування вологи земної поверхні і контрастів температур. Завдяки ландшафтним структурам житлових зон значно змінюється альbedo і випромінювальна здатність  $\epsilon$  (ступінь чорноти земної поверхні, де розташовується міська забудова);

2) споруди транспортних систем міста — трансформація земної поверхні з метою здійснення транспортно-інженерних комунікацій у містах. Заасфальтована мережа автомобільних доріг (вулиць), у яких випромінювальна здатність  $\epsilon$  більшою і меншою, що породжує значне нагрівання сонячним промінням великих лінійних ділянок території міста. Залізничні дороги і вокзали, дорожні розв'язки і автовокзали, морські і річні порти, аеропорти, станції метро — все це входить в міську транспортну інфраструктуру. Природний ландшафт значно змінюють побудовані системи нафтових і газових трубопроводів, лінії електропередач і розподільчі підстанції.

3) промислово-заводські утворення. Виготовлення продукції потребує зняття праці і переробки матеріальних ресурсів. Для цього будуються різні промислові споруди, що забезпечу-

ють технологічні цикли виробництва (корпуси заводів і фабрик, труби, енергетичні підстанції). Діяльність промислового комплексу пов'язана з виникненням відходів виробництва (звалищ, териконів, технічних водовідстійних споруд), викидів у земну атмосферу, шкідливих для людини газів і пилу. У гірничо-видобувних і ливарних виробництвах збільшується власне теплове випромінювання на зайнятих ними територіях за рахунок втрат значної кількості теплової енергії. Кар'єрно-териконові структури змінюють рельєф міської території і спричиняють істотні зміни альbedo земної поверхні;

4) водні ландшафтні структури. Використання питної і технічної води є надважливим чинником для життєдіяльності міського населення. У зв'язку з цим створюються різні водні ландшафтні структури: штучні водойми, водовідвідні канали, водонапірні і водоперекачувальні станції, захисні дамби, споруди для очищення води. Антропогенні водні об'єкти, великі і малі водосховища, озера, ставки, русла річок спотворюють природний ландшафт, істотно збільшуючи локальні випаровування води на території міст і кількість водяної пари в атмосфері урбанізованого ландшафту. Технічні водовідстійники різного виду погіршують екологічний стан міської території, оскільки містять розчинені отруйні речовини, що згубно діють на всі живі організми. Випромінювальна здатність водойм  $\epsilon(\lambda, T)$  залежить від довжини хвилі, температури та наявних забруднень, кута падіння сонячного випромінювання;

5) рекреаційні міські зони. Для підтримки сприятливого середовища життєдіяльності людини на території міст створюються зони відпочинку, де висаджується рослинність, що сприяє очищенню повітря від шкідливих домішок, виділяє кисень і озон, переробляє вуглекислий газ.

У зелених міських парках завдяки властивостям відбивання і розсіювання дерев, кущів, трав'яного покриву знижується інтенсивність радіаційного потоку, зменшується температура ґрунту і повітря, підвищується їх вологість, знижується швидкість вітру. Загалом вологість повітря у великих парках на 5-20 відсотків вища, ніж в забудованій зоні, а температура може відрізнятись на 10–20 градусів. Важливим параметром для кожного міста є співвідношення площі зелених насаджень до загальної площі, що займає агломерація.

На основі розробленої класифікації проведемо аналіз ландшафтних структур великих міст України, використовуючи космічне знімання міських агломерацій в інфрачервоному діапазоні електромагнітних хвиль.

Вибрані міста України мають складові вказаних типів ландшафтних структур. Для більш детального дослідження було проаналізовано співвідношення сумарної площі вибраних типів ландшафтних структур до загальної площі міста, що показано на табл. 1, 2, 3, 4.

Таблиця 1

**Контраст температур ландшафтних структур міста Києва відносно середньої температури рекреаційних зон (23,7 °С) 18 і 23 липня 2017 р., обрахований із даних інфрачервоного знімання супутника LandSat-8**

Тип ландшафтної структури	$S_{Is}/S_0$ , %	$\Delta T_{Київ}$ , °С
Житлові райони	15,3	11,1
Споруди транспортних систем міста	5	16,4
Промислово-заводські утворення	13	21,8

Таблиця 2

**Контраст температур ландшафтних структур міста Одеси відносно середньої температури рекреаційних зон (20,7 °С) 22 липня і 3 серпня 2017 р., обрахований із даних інфрачервоного знімання супутника LandSat-8**

Тип ландшафтної структури	$S_{Is}/S_0$ , %	$\Delta T_{Одеса}$ , °С
Житлові райони	39	11,9
Споруди транспортних систем міста	16,3	15,9
Промислово-заводські утворення	16	19,9

Таблиця 3

**Контраст температур ландшафтних структур міста Дніпро відносно середньої температури рекреаційних зон (21,7 °С) 5 і 18 серпня 2017 р., обрахований із даних інфрачервоного знімання супутника LandSat-8**

Тип ландшафтної структури	$S_{Is}/S_0$ , %	$\Delta T_{Дніпро}$ , °С
Житлові райони	33	11,4
Споруди транспортних систем міста	11	15,8
Промислово-заводські утворення	18	20,5

Таблиця 4

**Контраст температур ландшафтних структур міста Харкова відносно середньої температури рекреаційних зон (23,1 °С) 6 і 18 серпня 2017 р., обрахований із даних інфрачервоного знімання супутника LandSat-8**

Тип ландшафтної структури	$S_{Is}/S_0$ , %	$\Delta T_{Харків}$ , °С
Житлові райони	35	10,4
Споруди транспортних систем міста	5	13,9
Промислово-заводські утворення	13	17,3

Як бачимо, з дослідження випливає, що існує суттєва залежність між співвідношеннями питомої площі різних ландшафтних структур і перепадом (контрастом) температур.

У процесі взаємодії вибраних ландшафтних структур із сонячним електромагнітним випромінюванням значна частина енергії перетворюється в теплову, завдяки чому відбувається неоднорідне нагрівання поверхні, що призводить до формування теплових аномалій.

Властивості таких геотемпературних полів знають змін у просторі і часі та залежать від багатьох природних і антропогенних чинників.

У зв'язку з цим постає проблема класифікації та описання загальних закономірностей впливу різних чинників на виникнення теплових аномалій урбанізованих ландшафтів [1].

Різниця температур урбанізованих ландшафтів і приміських територій зумовлена:

1. Зменшенням  $A(\lambda, T)$  земної поверхні територій, на яких розташовані міста, завдяки побудові будинків і споруд, штучних покриттів (дороги, вулиці, покрівлі будинків).

Значення випромінювальної здатності  $\epsilon(\lambda, T)$  для різних поверхонь ландшафтних структур приведено в табл. 5., сформованою за матеріалами [3]:

Таблиця 5

**Випромінювальна здатність матеріалів, що найчастіше зустрічаються в ландшафтних урбанізованих структурах**

Рослинність	0,95–0,98	Гравій	0,28–0,31
Асфальт	0,96–0,98	Пісок	0,68–0,73
Лід	0,97–0,98	Глина	0,87–0,92
Сніг	0,96–0,99	Цегла	0,91–0,94
Вода	0,98–0,99	Вогнетривка цегла	0,72–0,75
Граніт	0,87–0,91	Бетон	0,82–0,86
Ґрунт	0,90–0,95	Руберойд	0,91–0,94
Оцинковане залізо	0,21–0,81	Деревина	0,84–0,89
Пофарбоване залізо	0,81–0,96	Черепиця	0,92–0,97

2. Збільшення поглинання сонячного випромінювання забудованих територій спричиняє накопичення тепла удень і віддачу його в вечірні і нічні години доби. Внаслідок формується так званий міський «тепловий острів» з перепадами (контрастами) температур, які змінюються в просторі і часі та мають для кожного міста свої амплітудно-частотні характеристики.

3. Значним зменшенням витрат тепла на випаровування за рахунок скорочення у місті площі зелених насаджень та швидким відведенням атмосферних опадів дощовою каналізацією. Таким чином, виникає дефіцит запасу вологості у ґрунтах на території міст, що сприяє підвищенню температури структур урбанізованих ландшафтів.

4. Міська забудова значно зменшує рухливість приземного шару повітряних мас, знижується швидкість вітру і виникають перепони турбулентного перемішування, що переносить тепло у вищі шари земної атмосфери. Теплопередача урбанізованих ландшафтів погіршує переміщення шарів земної атмосфери порівняно з приміськими територіями, тому тепло накопичується на забудованих територіях, що сприяє виникненню територіальних теплових аномалій.

5. Завдяки життєдіяльності населення над територією міст відбуваються зміни фізико-хімічних властивостей атмосферного повітря. Викиди різних домішок промисловими підприємствами і засобами транспорту призводять до істотного зменшення сумарної сонячної радіації і сприяють формуванню (утворенню) додаткового парникового ефекту (який не пропускає інфрачервоне випромінювання ландшафтних структур), що призводить до істотного підвищення температур міського середовища.

6. Підвищення випромінювання тепла на міських територіях збільшується завдяки існуючим тепловим електростанціям, промисловим підприємствам, інженерно-технічним міським комунікаціям, багатоповерховим житловим будинкам.

### Висновки

Проведене дослідження ландшафтних структур урбанізованих територій дає можливість виявити такі закономірності:

1. Великі міста України (Київ, Харків, Одеса, Дніпро) відрізняються між собою не тільки ландшафтом, але й розподілом температурних аномалій завдяки істотній відмінності площ, зайнятих вибраними типами ландшафтних структур.

2. На основі обробки зображень космічного зображення супутника LandSat-8 встановлено, що питомі площі рекреаційних зон Києва, Одеси, Харкова, Дніпра сильно впливають на температурний фон інших ландшафтних структур. Тому для покращення геоecологічного стану великих міст необхідно збільшувати площу зелених насаджень.

3. Фактори, що призводять до виникнення температурних аномалій, пов'язані переважно із збільшенням випромінювальної здатності ландшафтних, тобто зі зменшенням альбедо.

### ЛІТЕРАТУРА

1. **Andrew M. Coutts, Richard J. Harris, Thu Phan, Stephen J. Livesley, Nicholas S. G. Williams, Nigel J. Tapper.** Thermal infrared remote sensing of urban heat: Hotspots, vegetation, and an assessment of techniques for use in urban planning // *Remote Sensing of Environment*, 2016. — Vol. 186. — P. 637–651. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.09.007>.

2. **Edward A. Cook.** Urban landscape networks: an ecological planning framework // *Landscape research*, 1991. — Vol. 16. — No. 3. — P. 7–15. <https://doi.org/10.1080/01426399108706345>.

3. EN.wikipedia.org [Електронний ресурс]. — Електронні дані (19 файлів). — <https://en.wikipedia.org/wiki/Emissivity>.

4. Voogt J. A., & Oke, T. R. Thermal remotesensing of urban climates / *Remote Sensing Environment*, 86, 2003, P. 370–384. [doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8).

5. Географія городів: (Геоурбаністика) / Е. Н. Перцик. — М.: Высш. шк., 1991. — 317 с.

6. Геоecологія: географіческие основы природопользования / А. Г. Топчиев. — Одесса: Астропринт, 1996. — 391 с.

7. Городская среда: геоecологические аспекты: монографія / В. С. Хомич и др. — Минск: Беларус. наука, 2013. — 301 с.

8. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование: [учебник для геогр. спец. ун-тов] / А. Г. Исаченко. — М.: Высш. шк., 1991. — 365 с.

9. **Шарков Е. А.** Радиотепловое дистанционное зондирование земли: физические основы: в 2 т. / Евгений Шарков. — Т. 1. — М.: ИКИ РАН, 2014. — 544 с.

10. **Железняк О. О.** Застосування інфрачервоної зйомки для дослідження теплових полів міських агломерацій та об'єктів на їх території // *Наукоємні технології*, 2017. — №4(36). — С. 342–349. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.36.12234>.

**Железняк О. О.**

## **КЛАСИФІКАЦІЯ І ВЛАСТИВОСТІ СТРУКТУР УРБАНІЗОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ**

*На основі даних інфрачервоної космічної зйомки здійснено класифікацію та проведено геопросторовий аналіз ландшафтних структур великих міст України — Києва, Дніпра, Одеси, Харкова. Установлено особливості кожного з міст та визначено співвідношення площ територій, які займає кожна ландшафтна структура — житлові райони, споруди транспортних систем міста, промислово-заводські утворення, водні ландшафтні структури і рекреаційні міські зони. Зазначені ландшафтні структури мають свої фізико-хімічні властивості (випромінювальна здатність, альbedo, шороховатість поверхні, рельєф, хімічний склад). У зв'язку з цим вони по-різному взаємодіють із сонячним випромінюванням і мають власний тепловий спектр електромагнітних хвиль. Встановлено, що в урбанізованих ландшафтах виникають теплові аномалії, що мають природне та антропогенне походження. Міська забудова породжує зміну альbedo і випромінювальної здатності території, що спричиняє процес утворення теплових островів. Також встановлено, що величина градієнту (перепаду) температур між територією зазначених міст і приміськими зонами істотно залежить від співвідношення площі рекреаційних зон та площ промислово-заводських утворень і житлових районів. Для Харкова це 12–17 градусів, для Одеси — 10–12 градусів, Дніпра — 14–16 градусів, Києва — 8–10 градусів. Зазначені амплітуди градієнтів мають просторові та часові властивості (добові та сезонні цикли).*

**Ключові слова:** космічна інфрачервона зйомка; урбанізовані ландшафти; ландшафтні структури; градієнти температур.

**Zheleznyak O.**

## **CLASSIFICATION AND PROPERTIES OF THE STRUCTURES OF URBANIZED LANDSCAPES**

*On the basis of data from the infrared space survey the classification and geospatial analysis of landscape structures of the big cities of Ukraine — Kyiv, Dnipro, Odessa, and Kharkiv has been carried out. The specifics of each of the cities and the ratio of the areas of territories occupied by each landscape structure — residential areas, structures of city transport systems, industrial formations, water landscape structures and recreational urban areas are determined. These landscape structures have their own physical and chemical properties (emissivity, albedo, roughness of the surface, relief, chemical composition). In this regard, they interact differently with solar radiation and have their own thermal spectrum of electromagnetic waves. It is established that in urbanized landscapes there are thermal anomalies of natural and anthropogenic origin. Urban development creates a change in the albedo and emissivity of the territory, which causes the process of formation of thermal islands. It is also established that the value of the gradient (temperature difference) between the territory of the specified cities and suburban areas greatly depends on the ratio of the area of the recreational zones and the areas of industrial formations and residential areas. For Kharkiv it is 12–17 degrees, for Odessa — 10–12 degrees, the Dnieper — 14–16 degrees, Kiev — 8–10 degrees. These amplitudes of gradients have spatial and temporal properties (daily and seasonal cycles).*

**Keywords:** remote infrared sensing; urbanized landscapes; landscape structures; temperature gradients.

**Железняк А. О.**

## **КЛАССИФИКАЦИЯ И СВОЙСТВА СТРУКТУР УРБАНИЗИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТОВ**

*На основе данных инфракрасной космической съемки осуществлена классификация и проведен геопространственный анализ ландшафтных структур крупных городов Украины — Киева, Днепра, Одессы, Харькова. Установлены особенности каждого из городов и определено соотношение площадей территорий, занимаемых каждой ландшафтной структурой — жилые районы, сооружения транспортных систем города, промышленно-заводские образования, водные ландшафтные структуры и рекреационные городские зоны. Указанные ландшафтные структуры имеют свои физико-химические свойства (излучательная способность, альbedo, шероховатость поверхности, рельеф, химический состав). В связи с этим они по-разному взаимодействуют с солнечным излучением и имеют собственный тепловой спектр электромагнитных волн. Установлено, что в урбанизированных ландшафтах возникают тепловые аномалии, имеющие естественное и антропогенное происхождение. Городская застройка порождает изменение альbedo и излучательной способности территории, что вызывает процесс образования тепловых островов. Также установлено, что величина градиента (перепада) температур между территорией указанных городов и пригородными зонами существенно зависит от соотношения площади рекреационных зон и площадей промышленно-заводских образований и жилых районов. Для Харькова это 12–17 градусов, для Одессы — 10–12 градусов, Днепра — 14–16 градусов, Киева — 8–10 градусов. Указанные амплитуды градиентов имеют пространственные и временные характеристики (суточные и сезонные циклы).*

**Ключевые слова:** космическая инфракрасная съемка; урбанизированные ландшафты; ландшафтные структуры; градиенты температур.

Стаття надійшла до редакції 28.02.2018 р.

Прийнято до друку 28.02.2018 р.

Рецензент — д-р техн. наук, проф. Бойченко С.В.