

ГІС-аналіз феномену міського острова тепла на прикладі м. Києва у період 1992-2018 рр.

Наталія П. Корогода , Вероніка Р. Бричнік 

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

GIS analysis of the phenomenon of urban heat island on the example of Kyiv for 1992-2018

Nataliia P. Korohoda, Veronica R. Brychnik

Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13, Volodymyrska str., Kyiv, 01601, Ukraine

ABSTRACT

The paper is devoted to the study of the occurrence of heat islands by Earth remote sensing (ERS) data, in particular, the use of multi-spectral images of the Earth in the infrared (thermal) range obtained with the Landsat 4-5 TM and Landsat 8 OLI/TIRS satellites. Methodically, the work was based on the GIS analysis of ERS data, based on the detection of spatiotemporal changes of the original long-wave radiation of the surface of Kyiv, registered by thermal space imagery in the period of 1992-2018. The analysis of the space-time series of thermal images for Kyiv from 1992 to 2018 enabled identification of 10 stable occurrences of the heat island phenomenon and further determination of their spatial and quantitative indicators. Thus, as of August 2018, the territories within which the phenomenon was observed occupy 23.5% of the city area, and the area of the territory with the greatest occurrence of the heat island phenomenon reached 65.5 km² (on the border of Svyatoshynskiy, Shevchenkivskiy, Solomyanskyi, Pecherskyi and Holosiivskiy districts). Overall, since 1992, the area of heat islands in Kyiv has increased by more than 25%. The average temperature differences within the heat islands from suburban areas are 10°C. The biggest differences are recorded within Obolonskyi district, where the difference reaches 15°C.

The analysis of the phenomenon of urban heat island on the example of Kyiv, shown in this paper, made it possible to identify the local factors of occurrence, and to identify among them those with the largest occurrence in certain areas of the city. The results have shown that the most important factors for the formation of heat islands, observed in various combinations within Kyiv are dense residential and industrial development, low percentage of green space, soil disposal, the predominance of artificial materials in construction and powerful transport interchanges. However, the analysis of thermal images also suggests that with the general tendency to increase the manifestations of heat island within the city, the restoration of natural vegetation cover in some areas has led to a significant reduction of such occurrences. In addition, the presence of buffer zones around the heat islands with natural soil and vegetation cover significantly reduces their average temperature and reduces their impact on the surrounding areas.

KEYWORDS

Urban heat island, Kyiv, thermal space imagery, average surface temperature, Landsat

1. Вступ

Одним з аспектів формування якості довкілля у великому місті наразі є прояви острова тепла (ОТ) – метеорологічного феномену, що полягає у виникненні різниці температур між центром міста та його околицями. Прояви ОТ дедалі більше впливають на еколого–економічні обставини проживання людей у містах, передусім погіршуючи умови проживання населення, через те, що збільшення температури знижує термічний комфорт та створює потенційний ризик для розвитку серцево–судинних захворювань. Крім того формування ОТ у містах створює додаткові економічні втрати через збільшення видатків на кондиціонування повітря, зниження продуктивності праці, погіршення якості міської інфраструктури тощо (NASA, 2010).

Проблема перманентного зростання інтенсивності ефекту острова тепла є актуальною і привертає увагу до себе науковців сьогодні, оскільки процес урбанізації триває як у світі в цілому, так і в Україні. Вирішення даної проблеми вбачається

передусім у визначенні причин виникнення ОТ, задля ефективного попередження проявів даного феномена в майбутньому та зниження теперішніх негативних наслідків для навколишнього природного середовища.

Об'єктивна необхідність у дослідженні кількісних та просторових характеристик поля ОТ зумовлює використання, як одного із ключових способів дослідження, даних дистанційного зондування Землі, а саме зображень земної поверхні в тепловому інфрачервоному діапазоні (теплових знімків). На таких знімках відображаються як інтенсивність теплового випромінювання – кількісні характеристики ОТ, так і просторовий розподіл даного феномена, що вкрай складно отримати іншим чином. Крім того, теплові інфрачервоні зображення дозволяють отримати інформацію про об'єкти земної поверхні за відсутності сонячного світла, що дає можливість вивчення внутрішньодобової динаміки теплового випромінювання земної поверхні, а використання сезонних теплових знімків відкриває шлях до вивчення річної динаміки цього процесу (Samoilenko,

2003).

Не зважаючи на те, що ефект міського острова тепла вперше був описаний ще у 1818 році Л. Говардом (Howard, 1833), систематичні його дослідження почалися лише з 1990-х років. Значний внесок у розвиток досліджень формування острова тепла зробили Lansberg (1981), Liu, Zhang (2011), Voogt, Oke (2003), які розширили базу знань щодо цього феномена – виділили основні чинники, що впливають на його формування, окреслили закономірності його просторового поширення тощо. Питаннями формування ОТ присвячено також низку робіт українських дослідників (Netrobchuk, 2017; Krylova, 2014; Shevchenko, 2017 та ін.). Досить детальне дослідження формування островів тепла у найбільших містах України, за допомогою оцінки температури поверхні та індексу рослинності (NDVI), викладено у роботі Я. Серкез (Serkez, 2017).

Зазначимо, що активний розвиток досліджень в останні десятиліття передусім пояснюється розвитком та глобалізацією ГІС-технологій, як засобів дослідження ОТ. Серед методичних розробок, що стосуються даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у дослідженні феномену ОТ слід зазначити роботу Наукового центру аерокосмічних досліджень ІГН НАН України, у якій викладена методика дослідження острова тепла, що базується на використанні супутникових знімків серії Landsat (Filipovych, Krylova, 2014). Крім того, геоінформаційним методам досліджень з даної тематики присвячені роботи ряду фахівців (Zatserkovnyi, 2018; Stankevich, 2015).

Проте, не зважаючи на таку кількість та високу результативність проведених на сьогодні досліджень, присвячених формуванню острова тепла із застосуванням даних ДЗЗ як в межах України, так і в світі, більшою популярністю все ще продовжує користуватися фізико-статистичний аналіз метеорологічних даних, що поступається в ефективності геоінформаційним методам. Також, недостатня увага приділяється і дослідженням антропогенних причин виникнення цього ефекту на локальному рівні. Саме тому метою даної статті є ГІС-аналіз феномена міського острова тепла, на прикладі м. Києва, що дозволить виявити локальні фактори виникнення ОТ, та визначити серед причин формування ті, що мають найбільший прояв, на окремих територіях. Досягнення мети вбачається у аналізі даних ДЗЗ, заснованому на виявленні просторово-часових змін вихідного довгохвильового випромінювання поверхні міста Києва, зареєстрованого тепловою космічною зйомкою за 1992–2018 рр.

Для досягнення мети слід було вирішити низку завдань: перше – отримати просторово-часові ряди даних ДЗЗ. Друге – на основі цих рядів визначити стійкі прояви ОТ в м. Києві. Третє – проаналізувати зміни кількісних та просторових характеристик феномену ОТ за 26 років та порівняти отримані дані

зі змінами геокомпонентів в межах згаданих ОТ за той самий період часу, що і дозволить виокремити найсуттєвіші причини у їхній зміні.

2. Матеріали та методи

Задля вирішення першого завдання – було використано багатоспектральні зображення в далекому інфрачервоному (тепловому) діапазоні, отримані за допомогою супутників Landsat 4–5 TM та Landsat 8 OLI/TIRS. Для уніфікації вихідних даних та формування бази даних, було проведено радіометричне калібрування зображень шляхом перерахунку даних, отриманих сенсором у фізичну величину (спектральна щільність енергетичної яскравості випромінювання) (Samoilenko, 2002).

Прояв острова тепла є найсильнішим у періоди з екстремальними для регіону температурами, коли відмінності у температурах між ОТ та приміською зоною сягають подекуди 15°C (Lung, 2018). Тому, оскільки найбільші значення нагріву поверхні міста припадають на літні місяці, в якості базового для проведення дослідження був обраний серпень.

Для ефективного аналізу даних про поширення ОТ на території м. Києва було створені бази геоданих (БД), на основі OpenStreetMap та Google Earth. Разом з тим використовувались тематичні електронні карти, вихідного масштабу 1:10000.

Ідентифікатори знімків Landsat:

1. LT04_L1TP_181025_19920820_20170122_01_T1_B6
2. LC08_L1TP_181025_20180804_20180814_01_T1_B10

3. Результати та обговорення

В роботі було побудовано та проаналізовано просторово-часові ряди даних супутникової зйомки у тепловому діапазоні для міста Києва у період з 1992 року по 2018 рік. На рис. 1 і 2 візуалізовано стійкі прояви ОТ у м. Києві у першій та останній роки обраного періоду спостережень. Тож, на прикладі знімків за 1992 р. та 2018 р., можна відзначити зміни проявів ОТ за даний період часу.

На основі аналізу просторово-часових рядів (рис. 1, 2) на серпень 2018 року в межах Києва було виділено 10 стійких проявів феномена ОТ. Аналіз їхніх характеристик показав, що багаторічний тренд має загальну тенденцію до збільшення як просторових характеристик, так і сили прояву явища (різниця між середніми температурами в межах ОТ та на прилеглих територіях). Загалом площа ОТ у м. Києві збільшилась більш ніж на 25%. Так, якщо територія, на якій спостерігався прояв ОТ у 1992 році становила 154,6 км², то у 2018 під прояви ОТ підпадало вже 198,8 км². Втім окремі ОТ значно змінили свої просторові характеристики. Так площа ОТ № 8 зросла більш ніж у три рази з 2,7 км² у 1992 р. до 9,02 км² у 2018. Крім того, у період 2008–2018 року

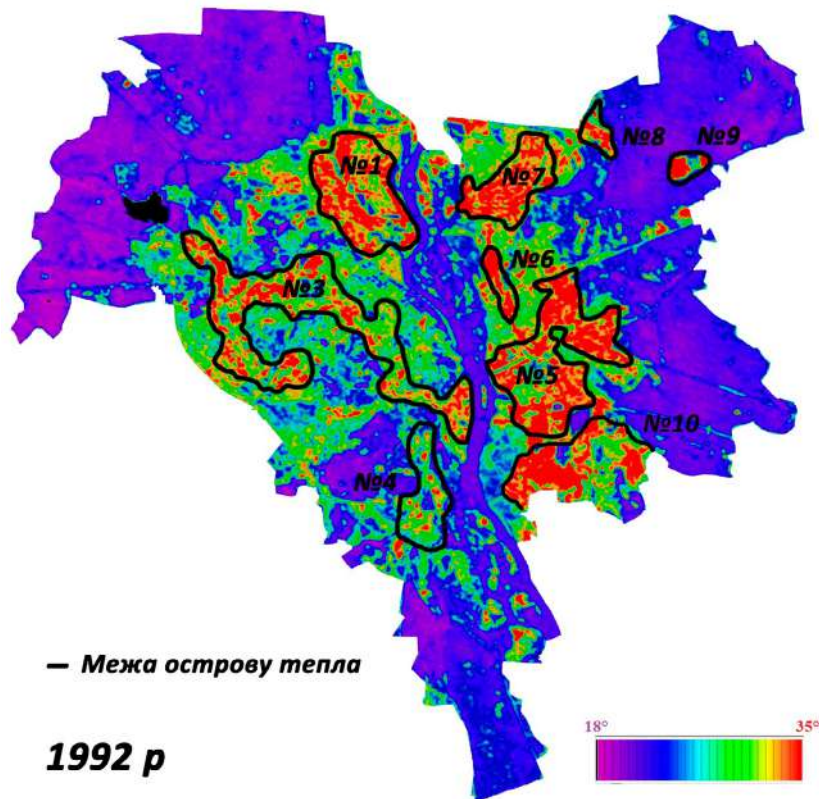


Рис. 1. Середня температура поверхні м. Києва та межі островів тепла, 08.1992.
Fig. 1. Mean surface temperature in Kyiv and areas of heat islands, 08.1992.

з'явився новий острів тепла № 2 в Оболонському районі, де температура поверхні в серпні вища від прилеглих зон на 7–9°C. Межі теплових островів № 1, 3 та 5, що проявлялися ще у 1992 року (рис. 1), до 2018 року також зросли (рис. 2). Острови тепла № 6 та 7 не змінили своєї конфігурації, однак змінилися їх кількісні характеристики (температура поверхні в цих зонах зросла від 30°C у 1992 році до 35–38°C у 2018 році). Водночас, були помічені позитивні тенденції до зменшення просторових параметрів та температурних показників у межах островів тепла № 9 та 10.

Аналіз змін кількісних та просторових параметрів ОТ в межах Києва дозволив виокремити найсуттєвіші причини, що викликають зміни характеристик цього феномена. Так, підвищення температури земної поверхні зростає зі зростанням щільності забудови та зменшенням площі зелених насаджень, а стабілізація і зменшення теплового навантаження відбувається у районах з лісопарковими та водними об'єктами. Зокрема, ОТ № 1 в районі ст. метро «Оболонь», Мінського масиву, ст. метро «Почайна» та Подолу був сформований внаслідок наявних у цій зоні щільної житлової та промислової забудови, великих торговельних комплексів та потужної транспортної розв'язки. Ця зона простягається на 10 км в довжину і 5 км в ширину та є однією із найспекотніших зон міста, оскільки температура поверхні тут може сягати 40–42°C та відрізняється від прилеглих зон на 13–15°C. Ситуацію також ускладнює зменшення

лісопаркових зон внаслідок розбудови житлових масивів (з 90-х років минулого століття забудовано значні території в районі вулиць Калнишевського, Кондратюка, Північна, а також велика частина Оболонської набережної вздовж проспекту Героїв Сталінграда 10А – 4К6).

Загалом температура земної поверхні, відображена на теплових знімках є надійним індикатором вирубок зелених насаджень і може бути використана, як додатковий елемент в рамках регулярного космічного моніторингу екологічного стану лісопаркових зон Києва. Прикладом цього є видима зміна стану лісової зони на північному заході Оболонського району (рис. 1, 2). У 1992 році частина лісових масивів на півночі району мала найнижчі температурні показники нагріву поверхні в порівнянні з іншими частинами міста. Так, температура поверхні тут коливалась в межах 18–22°C, що відповідало температурним показникам околиць Києва, оскільки крони дерев формували затінок та не давали землі прогрітисся (рис. 1). Починаючи з 1995 року на даній території почали проводити вирубки, які в підсумку призвели до того, що у 2018 році в Оболонському районі сформувався ОТ № 2 (рис. 2), що простягається від річки Горенки до північної межі Києва. Тепер температура поверхні в серпні тут відрізняється від прилеглих зон на 5–6°C. Як наслідок, ця буферна зона послабила свої «охолоджувальні» властивості, що, крім іншого, стимулювало зростання температурних

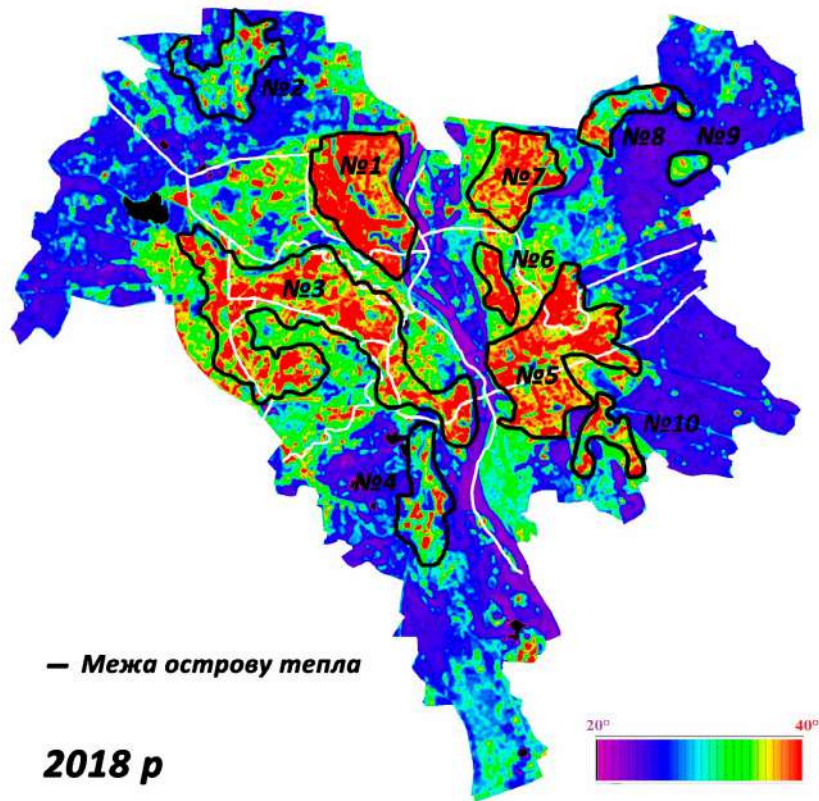


Рис. 2. Середня температура поверхні м. Києва та межі островів тепла, 08.2018.
Fig. 2. Mean surface temperature in Kyiv and areas of heat islands, 08.2018.

показників в межах ОТ № 1. Якщо вирубка лісів буде продовжуватись, то існує ризик злиття островів тепла № 1 та 2 в один великий острів тепла.

ОТ №3 сформувався на межі Святошинського, Шевченківського, Солом'янського, Печерського та Голосіївського районів і є найбільшим за площею проявом цього феномена в межах Києва (65,5 км² на серпень 2018 року). Його протяжність від вул. Малинської, що поблизу смт. Коцюбинське, до вул. Промислової поблизу станції метро «Видубичі» становить близько 18 км. Причинами формування такого потужного ОТ, очевидно, стали наявні в цій зоні:

1. Аеропорт «Жуляни», що являє собою величезну забетоновану площу з відсутньою рослинністю. Таке «запечаткування» ґрунтів бетонним і асфальтовим покриттям порушує природну циркуляцію ґрунтових і поверхневих вод, випаровування і вологообмін, збільшує нагрівання поверхні, що в кінцевому випадку призводить до формування острова тепла.

2. Залізничні колії станції Київ–Волинський та прилегла до них промзона в районі Борщагівки, які простягаються від Проспекту Перемоги до вул. Нової. За рахунок цих об'єктів згадана частина прогривається більше за інші, тому температура поверхні тут сягає 40°C, що навіть вище середньої температури в інших частинах цього острова тепла, де вона коливається від 37 до 39°C.

4. Шулявський шляхопровід та Залізничний вокзал. Тут температура поверхні сягає 39°C, в

той час як в прилеглих Солом'янському парку та Протасовому Яру не перевищує 29°C.

5. Центральна частина Києва, що починається від Хрещатика з Бессарабським ринком, включає Старий Київ і простягається до Лук'янівки. Причина значного розширення острова тепла у цій зоні полягає у збільшенні кількості нових будівель та реконструкції площ в центрі міста (наприклад, на Андріївському узвозі, вулицях Воздвиженській, Стрілецькій, Гончара та ін.), під час яких була скорочена площа зелених насаджень, а газони перекриті штучними матеріалами (керамічна плитка, асфальт, бетон). Така тенденція в даній частині міста є небезпечною, крім іншого, через те, що призводить до зростання температури поверхні історичних будівель та сприяє їх фізичному вивітрюванню і поступовому руйнуванню.

6. Район Деміївки та Видубичів з потужною транспортною інфраструктурою, де перетинаються магістралі підземного та наземного транспорту, а також наявна промзона поблизу Видубичів, що примикає до Наддніпрянського і Столичного шосе.

Отже, ОТ № 3, що знаходиться на межі п'яти районів, є наслідком щільної забудови, незначної кількості деревних насаджень, та «захоронення» ґрунтів під бетоном промислових зон і потужних дорожніх розв'язок. Ця теплова зона має тенденцію до подальшого розширення на фоні глобального потепління, адже з кожним роком температура повітря росте, а металеві та забетоновані поверхні

нагріваються сильніше та швидше ніж інші.

ОТ № 4, що сформувався в межах Голосіївського району, є наслідком розташування в цій зоні авторинку, ТРЦ «Атмосфера», промислової забудови та перетині Київського і Дніпровського шосе. В порівнянні з іншими ОТ міста, ця зона має помітно менше нагрівання поверхні. Навіть не зважаючи на те, що ця територія є зоною, де майже відсутня рослинність, температура поверхні у серпні не перевищує 35°C та відрізняється від прилеглих зон на 7–8°C. Це, значною мірою, залежить від розташування ОТ. Дана місцевість повністю оточена лісовими насадженнями. Таким чином, приклад ОТ № 4 підтверджує факт того, що наявність буферної зони у вигляді лісопаркових площ з природним ґрунтово-рослинним покривом знижує загальну температуру і формує внутрішній мікроклімат району, створюючи більш комфортні умови проживання в довколишніх міських кварталах.

ОТ № 5 включає Лісовий масив та райони: Березняки, Позняки, Осокорки (межа проходить від Лісового проспекту, вздовж проспекту Соборності на півночі Березняків до проспекту Миколи Бажана поблизу станції метро Осокорки та Позняки на півдні). В межах станції метро «Лісова» причинами сильного нагріву поверхні є ТРЦ «Проспект», Маркет-молл «Даринок» та ряди складських приміщень, що розташовані в цьому районі. Березняки, Позняки та Осокорки характеризуються щільною багатоповерховою забудовою та мінімальною кількістю зелених зон. На схід від Березняків розташований Дарницький вагоноремонтний завод (ДВРЗ). Температура поверхні в межах цього острова тепла становить 37–38°C, що на 15°C вище за температуру прилеглих лісопаркових територій.

Житлові масиви Троєщина та Воскресенка (ОТ № 6 та № 7) є густозаселеними та мають щільну житлову забудову, що і виступає причиною сильного нагріву поверхні до 33°C та 38°C відповідно. Ці два острови тепла мають однакові передумови формування і однакову тенденцію розвитку – з 1992 року масиви зазнали будівництва нових житлових кварталів. Зокрема, на Троєщині були забудовані вулиці Радунська, Градинська, Теодора Драйзера, Милославська, Оноре де Бальзака; на Воскресенці нові житлові комплекси з'явилися на вулицях Петра Запорожця, Івана Микитенка, Райдужній та ін. Це призвело до розширення меж ОТ на 25% і 41%, відповідно, що є подібним до тенденцій інших островів тепла у місті, однак температура нагріву поверхні в житловому масиві Троєщина на 5 градусів нижча, ніж на Воскресенці. Така різниця в температурах є яскравим прикладом впливу рослинності на розвиток острову тепла. Масив Троєщина характеризується наявністю великої кількості лісопаркових зон та водних об'єктів, що здійснюють охолоджувальний ефект на ці території – з двох сторін масив оточений водою (річками

Дніпро, Десенка та озером Алмазне) та лісовими насадженнями. В той же час Воскресенка хоч і має паркові зони, однак їх дія нівелюється за рахунок впливу розташованого поруч острова тепла № 5 (рис. 2), в межах якого відбувається сильний нагрів об'єктів інфраструктури, що вільно віддають тепло сусіднім об'єктам в зв'язку з відсутністю деревної рослинності, яка зазвичай поглинають це тепло та розсіюють його.

Поблизу масиву Троєщина розташовується Теплоелектроцентральною (ТЕЦ-6), що спричиняє формування ще одного острова тепла (№8), який тягнеться від вулиці Пухівської до вулиці Радгоспної на 6 км. З 1992 року цей острів тепла значно збільшився в розмірах (див. вище). Причиною є вирубка лісових насаджень та будівництво промислової зони на сході виділеної області – нині там функціонують декілька дрібних промислових підприємств. Але, не зважаючи на це, ТЕЦ-6 та промислова зона не мають значного негативного впливу на жителів масиву, оскільки відділені від житлових кварталів широкою лісосмугою та озером.

До виникнення ще одного ОТ № 9 в межах Деснянського району, що розташований на перетині вулиць Ялинкової та Броварської, призвело те, що у 90-х роках, тут планувалось будівництво промислового об'єкта, тому полігон був засипаний піском, що зумовлювало посилення нагріву території на 9–10°C, в порівнянні з прилеглими полями. Однак будівництво не було реалізовано, тому полігон заріс. Внаслідок цього даний ОТ став поступово зникати. Ця тенденція підтверджує факт того, що не дивлячись на загальне зростання температури повітря, рослинний покрив дійсно впливає на зниження проявів аж до повного зникнення ефекту острова тепла (рис. 1, 2).

Це підтверджує і ситуація, що склалась в межах ОТ № 10, який розташований на південь від житлового масиву Осокорки, між садово-дачними ділянками «Нижні Сади» та Бортничами. Цей ОТ протягом 26 років також мав тенденцію до зменшення – з 20,2 км² до 7,3 км². У 2018 від нього залишились лише невеликі локальні острівки спеки над промисловими об'єктами. Зі зменшенням меж острова тепла, відповідно зменшився і нагрів поверхні – у 1992 році температура поверхні відрізнялася від прилеглих зон на 14–15°C, а у 2018 лише на 5°C. До зменшення проявів цього острову тепла призвели зміни місцевих ландшафтів, які почалися у 1993 році через заплановане будівництво житлових масивів Північні та Південні Осокорки. До 1990-х років навколо Осокорків територія являла собою заболочені масиви та ділянки заплавної луки. Також там були розташовані невеликі озера – Заплавне та Тягле. Для будівництва метро, проспекту Бажана та нових житлових масивів почалося намивання ґрунту з прилеглих озер. Це призвело до різких змін місцевих ландшафтів. Осокорки були розділені насипом, по якому прокладений проспект Бажана, на дві частини. Змінилися обриси берегової

лінії навколишніх заток Дніпра та озер, що існували між Осокорками та Бортничами – Вирлиці, Небреж, Мартишева, Тяглого. До 2000-х років житловий масив Північні Осокорки був забудований першими кварталами. Його розширення триває й донині, в той час як проект забудови Південних Осокорків так і не був відданий на реалізацію. Внаслідок цього, за останні 26 років осушена під будівництво територія вкрилася природною рослинністю. Зараз в межах цієї території відносно сильним нагрівом відзначається лише Бортницька станція аерації та селище Бортичі, що ще раз підтверджує позитивний вплив рослинності на зменшення теплового навантаження.

4. Висновки

В роботі було проведено аналіз змін кількісних та просторових характеристик феномена ОТ в межах Києва за 26 років. Аналіз був оснований на даних ДЗЗ, і полягав у виявленні просторово-часових змін вихідного довгохвильового випромінювання поверхні міста Києва, зареєстрованого тепловою космічною зйомкою. В результаті було виокремлено стійкі прояви ОТ в межах м. Києва. Таких територій визначено 10. Вони займають 23,5% території міста. Середні відмінності у температурі цих зон від приміських складають від 10 до 15°C. Порівняння характеристик даних островів тепла з природними та антропогенними змінами в їхніх межах дозволили визначити найсуттєвіші причини формування локальних ОТ у м. Києві. Ними є: щільна житлова та промислова забудова, що стали головною причиною формування ОТ № 1, 5 та 7, низький відсоток зелених насаджень (ОТ № 2, 6), «поховання» ґрунтів під бетонним покриттям (ОТ № 4, 8), переважання штучних матеріалів у будівництві (керамічна плитка, асфальт, бетон) та потужні транспортні розв'язки (ОТ № 3). Таким чином – формування ефекту острова тепла у м. Києві напряму залежить від характеру покриття поверхні. Поверхневий прогрів територій зростає зі зменшенням площ природного ґрунтового-рослинного покриву і ущільненням міської забудови, а також за відсутності «буферних» зон з природною рослинністю. Наявність поруч з островом тепла таких зон значно пом'якшує прояв ОТ (прикладом є ОТ № 7), в той час як розташовані поруч ОТ підпадають під ефект (ОТ № 5 та № 6)). Нерегульована забудова в центральних частинах міста лише посилює несприятливу екологічну ситуацію, пов'язану з проявом ОТ в місті, в той час як відновлення природного рослинного покриву дозволяє досить швидко знизити, чи навіть повністю припинити прояви ОТ у місті (прикладом є ОТ № 10).

В подальших дослідженнях перспективним вбачається виявлення чіткої залежності між видовим складом та/або просторовими характеристиками ділянок з природною рослинністю та параметрами ОТ, що дозволить проводити заходи по зниженню

теплового навантаження у містах.

ORCID iD

Natalia Korohoda  <https://orcid.org/0000-0003-1518-2997>

Veronika Brychnik  <https://orcid.org/0000-0003-1126-0679>

Список посилань

- Zatserkovnyi, V., Oberemok, N., Berezina, P. (2018). Prostorovo-chasovyi analiz «ostroviv tepla» mehapolisa za suputnykovymu znimkamy Landsat. *Naukoiemni tekhnolohii*, 37 (1), 106–113. [Зацерковний В. Просторово-часовий аналіз «островів тепла» мегаполіса за спутниковими знімками Landsat. / В. Зацерковний, Н. Оберемок, П. Березіна. // *Наукоємні технології*, Т. 37, № 1. – 2018. – с. 106–113].
- Krylova, H. (2014). Monitoring formirovaniya i razvitiya «teplovogo ostrova» goroda Kiev. *Ukrayinskij zhurnal distancijnogo zonduvannya Zemli*, 2, 35–37. [Крилова Г. Мониторинг формирования и развития «теплового острова» города Киев. / Г. Крилова. // *Український журнал дистанційного зондування Землі*, № 2. – 2014. – с. 35–37].
- Netrobchuk, I. (2017). Mikroklimatichni osoblyvosti mista Lutsk. *Naukovyi visnyk Skhidnoievropeiskoho natsionalnoho universytetu im. Lesi Ukrainky. Seriya: Heohrafichni nauky*, 9 (358), 15–22. [Нетробчук І. Мікрокліматичні особливості міста Луцьк. / І. Нетробчук. // *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету ім. Лесі Українки. Серія: Географічні науки*, № 9 (358). – 2017. – с. 15–22].
- Serkez, Ya. (2017). *Ukrainska betonna pustelia*. Retrieved from: <http://texty.org.ua/d/urban-heat-web/>. [Серкез Я. *Українська бетонна пустеля*. / Я. Серкез. – 2017. Електронне джерело: <http://texty.org.ua/d/urban-heat-web/>].
- Stankevich, S., Filippovich, V., Lubskij, N., Krylova, A. et al. (2015). Interkalibracziya metodov vosstanovleniya termodinamicheskoy temperatury poverkhnosti urbanizirovannoy territorii po materialam teplovoj kosmicheskoy s'emki. *Ukrayinskij zhurnal distancijnogo zonduvannya Zemli*, 7, 14–23. [Станкевич С., Филиппович В., и др. Интеркалибрация методов восстановления термодинамической температуры поверхности урбанизированной территории по материалам тепловой космической съемки. / С. Станкевич, В. Филиппович, Н. Любский, А. Крилова и др. // *Український журнал дистанційного зондування Землі*, № 7. – 2015. – с. 14–23].
- Shevchenko, O. (2017). Proiav zminy klimatu na terytorii m. Kyieva ta osnovni pidkhody do yoho adaptatsii. *Chasopys kartohrafii*, 1, 108–122. [Шевченко О. Прояв зміни клімату на території м. Києва та основні підходи до його адаптації. / О. Шевченко // *Часопис картографії. Серія: Географічні науки*, Вип. 1. – 2017. – с. 108–122].
- Samoilenko, V. (2003). *Osnovy heoinformatsiynykh system*. Metodolohiya: Navchal'nyu posibnyk. K.: Nika-Tsentr. [Самойленко В.М. *Основи геоінформаційних систем*. Методологія: Навчальний посібник. – К.: Ніка-Центр, 2003. – 276 с.].
- Samoilenko, V. (2002). *Ymovirnisni matematychni metody v heoekolohiyi: Navchal'nyu posibnyk*. K.: Nika-Tsentr. [Самойленко В.М. *Ймовірнісні математичні методи в геоекології: Навчальний посібник*. – К.: Ніка-Центр,

2002. – 404 с.].
- Filipovych, V., Krylova, H. (2014). Doslidzhennia teplovoho polia m. Kyieva za danymi kosmichnoho zonduvannia v ICh–diapazoni, yak skladovoi analizu ekolohichnoho stanu urbanizovanoi terytorii. XIII Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiia «Suchasni informatsiini tekhnologii upravlinnia ekolohichnoiu bezpekoiu, pryrodokorystuvanniam, zakhodamy v nadzvychainykh sytuatsiakh», pp. 16–28. [Філіпович В. Крилова Г. Дослідження теплового поля м. Києва за даними космічного зондування в ІЧ–діапазоні, як складової аналізу екологічного стану урбанізованої території. // XIII Міжнародна науково–практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях». – с. 16–18].
- Howard, L. (1833). *The climate of London*. London.
- Landsberg, H. (1981). The Urban Climate. *International Geophysics Series*, 28, 769–779.
- Liu, L., Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(7), 1535–1552.
- Lung, N. (2018). Making Singapore cool again: A conversation with Professor Gerhard Schmitt. Retrieved from: <https://www.opengovasia.com/articles/exclusive-making-singapore-cool-again-a-conversation-with-professor-gerhard-schmitt>
- Voogt, J., Oke, T. (2003). Thermal remote sensing of urban climate. *Remote sensing of Environment*, 86(3), 370–384.
- NASA Earth Observatory. (2010). Urban Heat Islands. Retrieved from: https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=47704&eocn=image&eoci=related_image

Корогода, Н. П., Бричник, В. Р. (2019). ГИС-аналіз феномену міського острова тепла на прикладі м. Києва за 1992-2018 рр. Фізична географія та геоморфологія, 4–6 (96–98): 29–35.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601, Україна

Роботу присвячено дослідженню проявів острова тепла на основі даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), зокрема були використані багатоспектральні зображення Землі в далекому інфрачервоному (тепловому) діапазоні, отримані за допомогою супутників Landsat 4-5 TM та Landsat 8 OLI/TIRS. Методично робота базувалась на проведенні ГИС-аналізу даних ДЗЗ, заснованому на виявленні просторово-часових змін вихідного довгохвильового випромінювання поверхні міста Києва, зареєстрованого тепловою космічною зйомкою за період 1992-2018 рр. Внаслідок проведення аналізу просторово-часових рядів теплових знімків для м. Києва за період з 1992 до 2018 року, було виділено 10 стійких проявів явища острова тепла, визначено їхні просторові та кількісні показники. Так, станом на серпень 2018 р., території, в межах яких спостерігається зазначене явище, займають 23,5% площі міста, при цьому площа найбільшої серед них сягає 65,5 км² (на межі Святошинського, Шевченківського, Солом'янського, Печерського та Голосіївського районів). Загалом, з 1992 р. площа островів тепла у м. Києві збільшилась більш ніж на 25%. Середні відмінності у температурі в межах островів тепла від приміських зон складають 10°C. Найбільші відмінності зафіксовані в межах Оболонського району, де різниця доходить до 15°C.

Аналіз феномена міського острова тепла на прикладі м. Києва, що був проведений в роботі, дозволив виокремити локальні фактори виникнення та визначити серед них ті, що мають найбільший прояв на окремих територіях міста. В результаті досліджень було визначено, що найбільш вагомими причинами формування островів тепла, що в різних «комбінаціях» проявляються в межах Києва, є щільна житлова та промислова забудова, низький відсоток зелених насаджень, запечатування ґрунтів, переважання штучних матеріалів у будівництві та потужні транспортні розв'язки. Втім, аналіз теплових знімків також дозволяє стверджувати, що при загальній тенденції до збільшення проявів острова тепла в межах міста, відновлення природного рослинного покриву на окремих ділянках призвело до суттєвого зменшення таких проявів. Крім того, наявність буферних зон навколо островів тепла з природним ґрунтово-рослинним покривом суттєво знижує їхні середні температурні показники та зменшує їхній вплив на прилеглі території.

Ключові слова: міський острів тепла, Київ, теплова космічна зйомка, середня температура поверхні, Landsat.