**ООО «Институт управления и социально-экономического развития»**

*ИНН 6454110943, КПП 645001001, р/с № 40702810000030005711*
*Банк получателя: Филиал Саратовский ПАО Банка «ФК Открытие»*
*БИК: 046311913, Кор/счет: 30101810122020000913*
*Адрес: г.Саратов, ул.Волжская, д.28, 2/10*

*info@iupr.ru; www.iupr.ru; 8 (917) 021 49 78*

СПРАВКА

Подтверждаю, что статья на тему: «ОЦЕНКА РАСШИРЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА В ГОРОДЕ ХАНОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ» (*Нгуен Фыонг Донг)* принята к публикации в международном научно-практическом журнале «Мировая наука» №07(112) 2026.

ISSN 2541-9285

Свидетельство о регистрации: ЭЛ № ФС 77 - 68842 от 28.02.2017г. Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникации (Роскомнадзор). Выпуски журнала размещаются в Научной электронной библиотеке (e-library).

Договор №59409/2013.

Ген. директор

Чернышова О.А.

30.07.2026

ЭЛЕКТРОННОЕ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ
ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

# «Мировая наука»

http://www.science-j.com

**ISSN 2541-9285**

УДК 004.02:004.5:004.9

ББК 73+65.9+60.5

Свидетельство о регистрации
средства массовой коммуникации
ЭЛ № ФС 77 - 68842
от 28.02.2017г.

Выпуск №7(112) июль 2026. Сайт: http://www.science-j.com

Журнал включен в систему НЭБ (e-library) № 594-09/2013 от 26.09.2013

Тематика журнала: актуальные вопросы современной экономики и социологии - от теоретических и экспериментальных исследований до непосредственных результатов управленческой и производственной деятельности. Публикации в журнале учитываются как опубликованные работы при защите диссертаций на соискание ученых степеней России и зарубежья.

**РАЗДЕЛЫ НОМЕРА:**

Основной раздел
Естественные и технические науки
Гуманитарные и общественные науки

***© Институт управления и социально-экономического развития, 2026***

***Редакционный совет:***

Алкаров И.Ш., кандидат физико-математических наук, доцент,

Ахмадалиев С.Й., кандидат педагогических наук,

Гаипов Ж.Б., доктор философии по экономическим наукам,

Давлетмуратова В.Б., кандидат биологических наук, доцент,

Джумабаев Г.Х. - доктор технических наук (DSc), доцент.

Жангабаева А.С., доктор философии по сельскохозяйственным наукам (PhD), доцент,

Жуманов О.С., кандидат педагогических наук, доцент,

Зарайский А.А., доктор филологических наук, профессор,

Камалов А.Ф., доктор философии по педагогическим наукам (PhD), доцент,

Касимова О.Х., доктор философии по педагогическим наукам (PhD),

Мамаев Г.И., доктор философии по техническим наукам,

Матуразова Э.М., кандидат биологических наук, доцент,

Матякубов А.С., доктор физико-математических наук (DSc), доцент,

Мехмонов Р.Ю., доктор философии по педагогическим наукам (PhD),

Мырзанов Б.Ж., доктор экономических наук (PhD), доцент,

Муратова Ш.Н., доктор философии по психологических наукам (PhD),

Нарманов А.Х., доктор философии по педагогическим наукам (PhD), доцент,

Оразбаева Г., доктор философии по педагогическим наукам (PhD),

Отакулов Ш.М., доктор философии в области политических наук (PhD), доцент,

Паксютова Е.В., кандидат технических наук, доцент,

Постюшков А.В., доктор экономических наук, профессор,

Рахимбердиев И.У., кандидат экономических наук, доцент,

Рахиммирзаев С.Б., кандидат психологических наук, PhD,

Ромашкин Т.В., кандидат экономических наук, доцент,

Сеитназаров К.К., доктор технических наук, профессор,

Сейтназров С.К., кандидат биологических наук, доцент,

СмирноваТ.В., доктор социологических наук, профессор,

Ташболтаева Т.А., доктор философии по филологии, доцент,

Торениязова С.Е., доктор философии по сельскохозяйственным наукам (PhD), доцент,

Тошматова Ш.Р., кандидат биологических наук, доцент,

Тургунов Э., доктор химических наук, доцент,

Турдиев Ф.К., доктор философии по педагогическим наукам (PhD), доцент,

Туреева  К.Ж., доктор философии по  биологическим наукам (PhD), доцент,
Турсынбаев Х.Е., кандидат биологических наук, доцент,
Тягунова Л.А., кандидат философских наук,
Устинова Н.Г., кандидат экономических наук, доцент,
Федорова Ю.В., доктор экономических наук, профессор,
Фролова Н.Б., кандидат физико-математических наук, доцент,
Хайдарова С., кандидат технических наук, доцент,
Хайдарова М.Ю., кандидат технических наук, доцент,
Хаитов Э.Б., доктор философии в области политических наук (PhD),
Халикулова Г.Т., доктор философии по экономическим наукам (PhD),
Хамдамов Б.И., кандидат физико-математических наук, доцент,
Шакиров К.Ж., доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
Эшназарова М.Ю., кандидат педагогических наук, доцент.

Главный редактор: Тягунова Людмила Анатольевна

**УДК 504.75**

***Нгуен Фыонг Донг***

***Кандидат географических наук***

***Ханойский горно-геологический университет, Вьетнам***

# ОЦЕНКА РАСШИРЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА В ГОРОДЕ ХАНОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

***Аннотация:*** *Эффект городского острова тепла (ГОТ) является одной из ключевых экологических проблем современных урбанизированных территорий, оказывающей существенное влияние на тепловой режим городской среды, здоровье населения и качество жизни. Данная проблема приобретает особую значимость в условиях глобального изменения климата и ускоряющихся процессов урбанизации. Ханой, являющийся одним из наиболее быстро развивающихся мегаполисов Юго-Восточной Азии, сталкивается с усилением температурного контраста между плотно застроенными городскими районами и прилегающими пригородными и сельскими территориями. В настоящем исследовании используются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), полученные со спутника Landsat 8, для оценки температуры земной поверхности (LST) и пространственного анализа зон проявления эффекта городского острова тепла. Полученные результаты формируют научную основу для разработки эффективных стратегий городского планирования и адаптации Ханоя к последствиям изменения климата.*

***Ключевые слова:*** *температура поверхности суши, городской остров тепла, Ханой, урбанизация*

*Nguyen Phuong Dong*
*PhD in Geography*
*Faculty of Environment*
*Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*

# ASSESSMENT OF THE EXPANSION AND INTENSITY OF THE URBAN HEAT ISLAND IN HANOI USING MULTI-TEMPORAL REMOTE SENSING DATA

***Abstract:*** *The Urban Heat Island (UHI) effect represents a critical environmental challenge in contemporary urbanized regions, profoundly influencing the urban thermal regime, public health, and overall quality of life. This phenomenon is further exacerbated by global climate change and rapid urbanization. Hanoi, one of the most rapidly developing megacities in Southeast Asia, is experiencing an intensifying temperature contrast between densely built-up urban areas and adjacent suburban and rural territories. Leveraging Landsat 8 remote sensing data, this research evaluates Land Surface Temperature (LST) and conducts a spatial analysis of UHI distribution. The findings establish a scientific framework for formulating effective urban planning strategies and strengthening Hanoi's resilience and adaptation to climate change.*

***Keywords:*** *land surface temperature, urban heat island, Hanoi, urbanization*

## 1. Введение

Стремительная урбанизация в сочетании с глобальным изменением климата приводит к существенной трансформации тепловых характеристик городских систем в глобальном масштабе. Расширение застроенных территорий, увеличение плотности застройки и замена естественных поверхностей искусственными материалами с высокой способностью к поглощению и удержанию тепла вызывают изменение поверхностного

энергетического баланса, что, в свою очередь, способствует формированию и усилению интенсивности городского острова тепла (ГОТ).

Для быстроразвивающихся городов тропических и субтропических зон, включая Ханой, рост интенсивности ГОТ создает серьезные вызовы в области охраны окружающей среды и устойчивого развития. Повышение температуры в городской среде не только снижает уровень теплового комфорта населения, но и увеличивает потребность в энергозатратах на охлаждение, что негативно сказывается на качестве среды обитания и повышает риск возникновения проблем со здоровьем, связанных с экстремальными температурными режимами. В условиях продолжающегося роста среднемировой температуры вследствие изменения климата синергетический эффект между явлением ГОТ и экстремальными волнами жары, по прогнозам, станет одним из ключевых вызовов для климатической адаптивности городов в будущем.

Оценка пространственного распределения и динамики ГОТ требует применения методов, способных обеспечить непрерывным пространственным мониторингом на обширных территориях и в долгосрочной временной перспективе [1]. В этом контексте технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) стали эффективным инструментом исследования городской среды благодаря возможности получения данных о температуре поверхности земли (ТПЗ) с широким пространственным охватом и возможностью построения многовременных рядов данных [1, 6]. Одновременно с этим, облачная платформа Google Earth Engine (GEE), обладающая мощными ресурсами для хранения и обработки крупномасштабных геопространственных данных, значительно упростила анализ долгосрочных серий спутниковых снимков, существенно сократив время обработки и расширив возможности визуализации результатов. Ряд

исследований уже продемонстрировали эффективность интеграции ДЗЗ и GEE при создании карт землепользования, оценке влияния городской морфологии на структуру ландшафта, построении тепловых карт и в других экологических приложениях. Таким образом, интеграция данных ДЗЗ с платформой Google Earth Engine рассматривается как оптимальное решение для мониторинга пространственно-временной динамики городского острова тепла [2, 3, 4].

В условиях усиливающегося негативного воздействия явления городского острова тепла определение факторов, влияющих на данный процесс, становится крайне актуальным. Целью настоящего исследования является определение расширения зоны влияния городского острова тепла в городе Ханой на основе многовременных спутниковых данных Landsat-8 с применением технологий облачных вычислений платформы Google Earth Engine. Результаты исследования предоставят научно обоснованную информацию, которая позволит градостроителям разработать рекомендации по минимизации воздействия ГОТ на окружающую среду и повышению качества жизни городского населения.

**2. Район исследования**

Ханой, столица Вьетнама, расположен в центре дельты Красной реки и является одним из наиболее быстро урбанизируемых мегаполисов Юго-Восточной Азии. Топография города характеризуется преимущественно низменными аллювиальными равнинами в центральных районах, переходящими в низкие холмы в северной и западной периферии. С климатической точки зрения Ханой относится к влажной субтропической зоне с выраженными сезонными колебаниями. В регионе наблюдаются холодная и сухая зима (средние температуры 15–20 °C) и жаркое, влажное

лето, когда пиковые температуры часто достигают 40 °C, что значительно усиливает тепловой стресс в центральной части города.

За последние несколько десятилетий Ханой претерпел беспрецедентное пространственное расширение, особенно после увеличения административных границ в 2008 году. Темпы городского роста оцениваются примерно в 3,5% в год [1]. Эта ускоренная урбанизация, вызванная интенсивной миграцией из сельских районов в городские и социально-экономическим развитием, привела к глубокой трансформации структуры землепользования. Обширные площади сельскохозяйственных угодий, водно-болотных угодий и городских зеленых насаждений систематически заменялись водонепроницаемыми поверхностями, включая жилые районы с высокой плотностью застройки, промышленные зоны и транспортную инфраструктуру.

Следовательно, синергетический эффект быстрого преобразования земельного покрова и присущих региону климатических условий делает Ханой критически важным объектом исследования для анализа сложного взаимодействия между социально-экономическим развитием и деградацией окружающей среды. Интенсификация эффекта городского острова тепла (ГОТ) в Ханое подчеркивает острую необходимость в интегрированных, многофункциональных стратегиях городского планирования для смягчения температурных аномалий и повышения устойчивости городского климата.

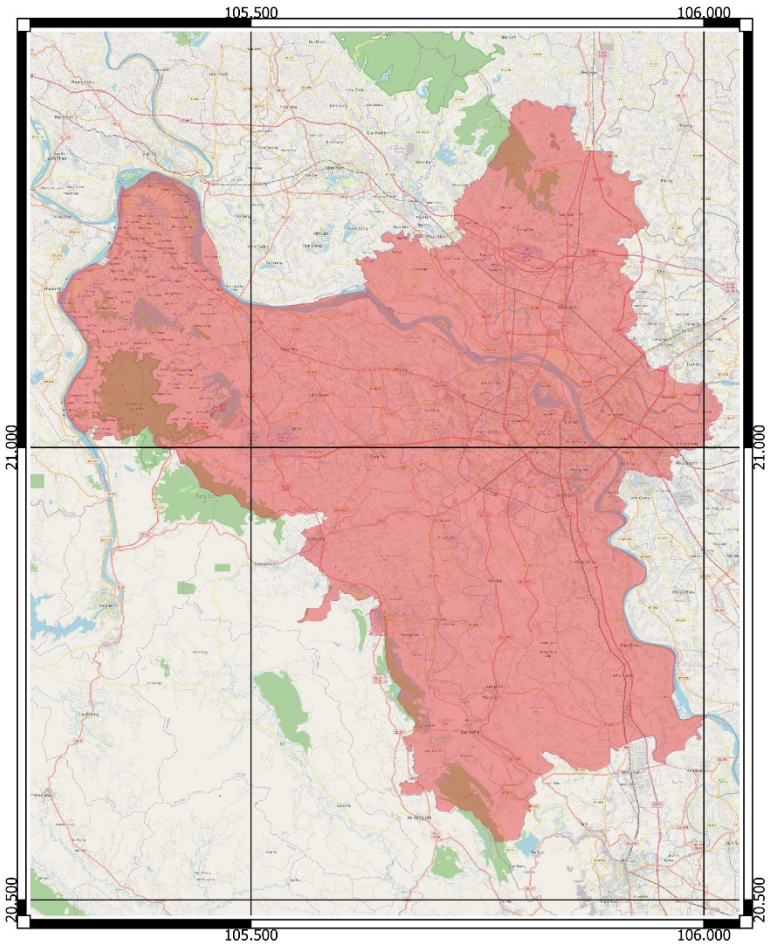



**Рис. 1** – Географическое расположение города Ханой.

**3. Методы исследования**

Для оценки эффекта городского острова тепла (ГОТ) в Ханое были использованы мультиспектральные снимки, полученные с помощью сенсоров OLI/TIRS спутника Landsat 8. Выбор Landsat 8 был обусловлен его оптимальным пространственно-временным разрешением и наличием тепловых инфракрасных каналов, которые имеют критическое значение для определения температуры поверхности суши (ТПС). Каждая сцена обладает пространственным разрешением, подходящим для анализа в масштабе мегаполиса, что обеспечивает полный охват исследуемой области.

В связи со значительными вычислительными затратами, связанными с обработкой крупномасштабных пространственно-временных наборов

данных, в данном исследовании была использована облачная вычислительная платформа Google Earth Engine (GEE). GEE обеспечивает прямой доступ к глобальному архиву Landsat и позволяет выполнять сложные геопространственные алгоритмы с помощью параллельных вычислений. Кроме того, интеграция классификаторов машинного обучения, а именно: «Случайного леса» (Random Forest, RF), метода опорных векторов (Support Vector Machine, SVM) и деревьев классификации и регрессии (Classification and Regression Trees, CART), в среде GEE позволила достичь высокой точности классификации земельного покрова и мониторинга окружающей среды. Оценка феномена ГОТ проводилась на основе анализа температуры поверхности суши (ТПС) и нормированного индекса городского острова тепла ($UHI_N$).

Значения ТПС были получены на основе данных теплового инфракрасного сенсора (TIRS) из продуктов Landsat 8 уровня 2 (Level 2 Tier 1). Перевод цифровых значений (DN) в абсолютную температуру (°C) осуществлялся с использованием метода линейного коэффициента масштабирования:

$$LST = (M¿¿l \times DN + A_l) - 273{,}15¿ \quad (2)$$

Где:

LST - температура поверхности суши (*Land Surface Temperature*), выраженная в градусах Цельсия (°C);

$M_l$ and $A_l$ — мультипликативный и аддитивный коэффициенты масштабирования, приведённые в метаданных спутниковых данных (в частности, $\mathbf{M_l = 0{,}003418}$ и $\mathbf{A_l = 149}$);

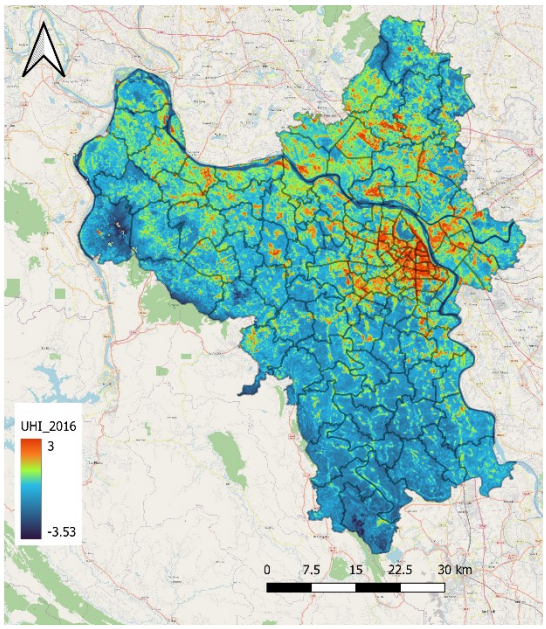
DN — исходное цифровое значение (*Digital Number*) пикселя теплового канала спутникового изображения.

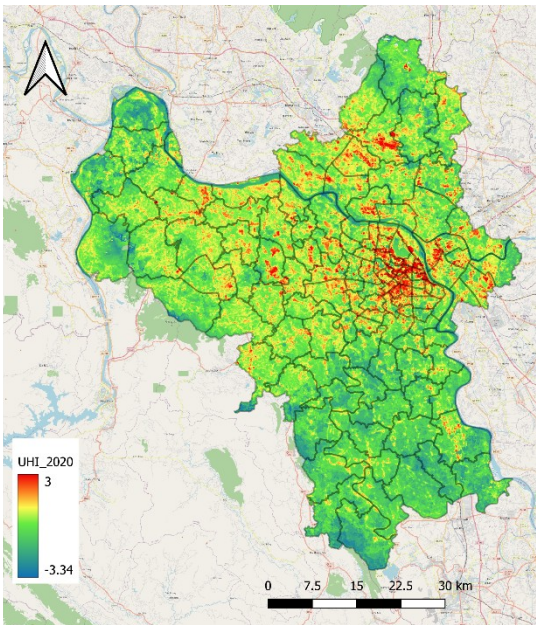
Нормализованный индекс городского острова тепла (Normalized Urban Heat Island Index - $UHI_N$):

$$UHI_N = \frac{LST - LSTmean}{SD_{LST}} \quad (3)$$

## 4. Results and Discussion

Результаты расчета индекса $UHI_N$ свидетельствуют о том, что интенсивность городского острова тепла (ГОТ) в Ханое возрастает с течением времени, концентрируясь преимущественно во внутренних городских районах с высоким уровнем урбанизации и постепенно снижаясь по направлению к окраинам города. Зоны острова тепла были дифференцированы по трем уровням, а именно: зона 1 — зона слабого острова тепла, где нормализованный индекс находится в диапазоне от 1 до 2 °C; зона 2 — зона умеренного острова тепла с индексом $UHI_N$ в пределах от 2 до 3 °C; и зона 3 — зона сильного острова тепла с интенсивностью 3 °C и выше.



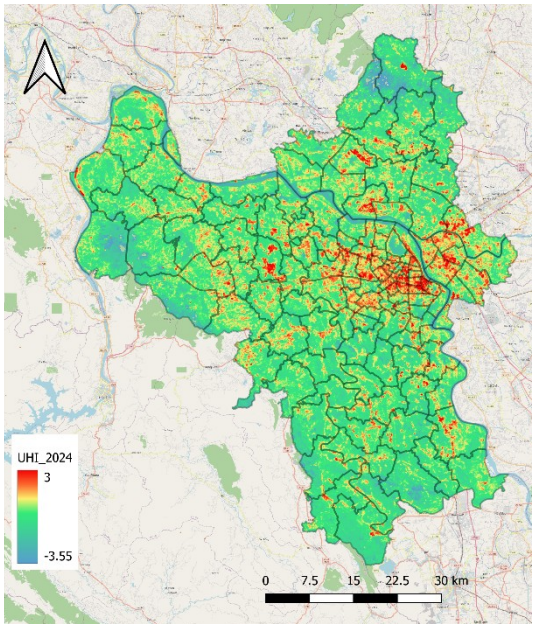



**Рис. 2** – Динамика и пространственная классификация ГОТ по годам

На основе результатов расчётов зон городского теплового острова за рассматриваемые годы установлено, что площадь территорий, подверженных воздействию эффекта городского теплового острова в городе Ханой в период 2014–2025 гг., составляет приблизительно 13–15 % от общей площади города.

**Таб. 1 -** Обобщённая характеристика зон воздействия ГОТ в городе Ханой

| Год | Общая площадь зоны ГОТ | % площади | Зона 1 (га) | Зона 2 (га) | Зона 3 (га) | Максимальное значение $UHI_N$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2014 | 43936.23 | 13% | 35911.40 | 5472.25 | 1276.29 | 7.85 |
| 2016 | 50806.2 | 15% | 35598.47 | 10845.58 | 2181.08 | 7.08 |
| 2018 | 44842.37 | 13% | 24681.43 | 13085.67 | 3537.63 | 6.84 |
| 2020 | 43442.9 | 13% | 31753.73 | 9207.62 | 1240.77 | 6.60 |
| 2022 | 51744.87 | 15% | 42245.24 | 6635.42 | 1432.10 | 6.89 |
| 2024 | 49920.29 | 15% | 37663.28 | 9829.72 | 1213.65 | 7.65 |

## 5. Заключение

На основании анализа многовременных данных дистанционного зондирования Landsat в сочетании с результатами полевых наблюдений в данной работе представлены научные доказательства пространственно-временной изменчивости интенсивности городского острова тепла (ГОТ) в городе Ханой за период 2014–2025 гг. Результаты анализа свидетельствуют о том, что стремительные процессы урбанизации на протяжении последних двух десятилетий привели к росту интенсивности ГОТ, при этом наиболее выраженное воздействие наблюдается в центральной части города, а также в районах расширения городской застройки в северном, северо-западном и северо-восточном направлениях.

Пространственное распределение ГОТ, выявленное в данном исследовании, согласуется с тенденциями, отмеченными в последних работах по Ханою, а также в исследованиях быстрорастущих тропических мегаполисов. Это подтверждает, что изменение целевого назначения земель, в частности, трансформация естественных поверхностей в застроенные территории с высокой способностью к поглощению и удержанию тепла, является одним из ключевых факторов формирования и усиления городского острова тепла.

Использование многовременных данных дистанционного зондирования в сочетании с облачными вычислениями продемонстрировало возможность непрерывного, согласованного и экономически эффективного мониторинга городской среды в крупном масштабе, что в свою очередь способствует объективной оценке эффективности политики городского планирования и развития в динамике.

**Благодарность (Acknowledgement):** Исследование выполнено при поддержке Ханойского горно-геологического университета (Hanoi University of Mining and Geology) в рамках грантового проекта № T26-35.

***Использованные источники:***

1. Le Minh Tuan and Bakaeva Natalia, *A Technique for Generating Preliminary Satellite Data to Evaluate SUHI Using Cloud Computing: A Case Study in Moscow, Russia.* Remote Sensing, 2023. **15**: p. 3294

2. Nguyễn Văn Linh, Phan Kiều Diễm. *Nghiên cứu ứng dụng viễn thám hỗ trợ kiểm kê, xây dựng bản đồ hiện trạng sử dụng đất cấp huyện: Trường hợp nghiên cứu tại huyện Tháp Mười, tỉnh Đồng Tháp*. Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ 59 (2023): 193-202.

3. Lê Ngọc Hành, Nguyễn Hoàng Sơn, Lê Phúc Chi Lăng. *Ứng dụng viễn thám và google earth engine thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp năm 2023 ở huyện Hòa Vang, thành phố Đà Nẵng*. Hue University Journal of Science: Agriculture and Rural Development 133.3B (2024): 17-33.

4. Phạm Công Hà. *Ứng dụng Google Earth Engine giám sát biến động không gian xanh tại thành phố Thủ Đức bằng ảnh Sentinel 2 giai đoạn 2019-2024*. Tạp chí Trắc địa-Bản đồ 11.03 (2025): 25-39

5. Nguyễn Phương Đông (2024). Trực quan hóa diễn biến nhiệt độ bề mặt và đảo nhiệt đô thị của thành phố Hà Nội bằng Google Earth Engine và nền tảng điện toán đám mây. Tạp chí Rừng và Môi trường.

6. Le Minh, Tuan & Bakaeva, Natalia & Danilina, Nina & Hoang, Thi. (2023). Method of identifying urban heat islands by remote sensing based on big data. E3S Web of Conferences. 403. 10.1051/e3sconf/202340305007.