

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРОЙ И ТИПОМ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ХАНОЙ, ВЬЕТНАМ

© 2022 г. Ле Хунг Чинь^{а, *}, В. Р. Заблоцкий^б, И. В. Зеньков^{с, д}, Зань Туен Ву^е, Кхань Хоай Дао^а

^аТехнический университет им. Ле Куй Дон, Ханой, Вьетнам

^бМосковский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

^сСибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

^дФедеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Красноярск, Россия

^еХанойский университет природных ресурсов и окружающей среды, Ханой, Вьетнам

*E-mail: trinhlehung@lqdtu.edu.vn

Поступила в редакцию 06.09.2021 г.

В работе представлены результаты оценки взаимосвязи между температурой центральной части города Ханоя и типом городской поверхности. Изображения Landsat TM и Landsat 8, собранные за период с 2000 по 2019 г., использовались для расчета температуры поверхности изучаемой территории, а также индексов, характеризующих растительный покров территории NDVI, застроенную NDBI и водную поверхность MNDWI. Вычислялся коэффициент корреляции между температурой поверхности и индексами NDVI, NDBI, MNDWI. Полученные результаты показывают, что растительный покров и водная поверхность связаны обратной корреляционной зависимостью с температурой поверхности, что выражается отрицательными величинами коэффициента корреляции. С другой стороны, застроенная территория имеет положительную корреляцию с температурой поверхности, что показывается положительными значениями коэффициента корреляции. В течение всего периода наблюдений коэффициент корреляции между температурой и плотностью городской застройки по индексу NDBI постоянно увеличивался и достиг наивысшего уровня в 2019 г. Другие индексы характеризовались относительным постоянством значений. Результаты исследования показывают возможность использования индекса NDBI для оценки плотности городской застройки и могут быть использованы в целях рационального управления землепользованием городских территорий.

Ключевые слова: температура поверхности Земли, урбанизация территории, дистанционное зондирование, Landsat, город Ханой

DOI: 10.31857/S0205961422030034

ВВЕДЕНИЕ

Быстрая урбанизация территории характерна для Вьетнама. Однако при отсутствии научного планирования урбанизация негативно сказывается на природных ресурсах и окружающей среде. Повышение температуры городской территории является примером такого негативного воздействия. Рост температуры городской поверхности в сравнении с прилегающей территорией, явление, известное как, “остров тепла”, является актуальной проблемой для большинства крупных городов. Основной причиной этого явления является изменение землепользования и земельного покрова в процессе урбанизации. Остров тепла образуется, когда солнечная радиация активно поглощается городской поверхностью и накапливается в поверхностном слое вместо того, чтобы отражаться обратно в атмосферу (Carnahan, Larson, 1990; Trinh, 2014). В настоящее время тепло-

вые острова отрицательно влияют на качество жизни в крупных городах мира.

Городской тепловой остров был впервые обнаружен в 1833 г. в Лондоне (Howard, 1833). В работе (Oke, 1979) выдвинута гипотеза о двух причинах возникновения городских островов тепла, связанных со свойствами поверхности территории и атмосферными условиями в городах.

В настоящее время для изучения этого феномена и наблюдения за ним используются средства дистанционного зондирования. Например, температура поверхности может быть получена на основе спутниковых датчиков Landsat, Aster, MODIS, регистрирующих изображения в тепло-инфракрасных каналах. По сравнению с традиционными методами, основанными на данных измерительных метеостанций, использование данных дистанционного зондирования имеет много пре-

имуществ и широко используется в мире (Бондур, 2011).

В ряде работ тепловые инфракрасные изображения применялись для оценки температуры поверхности крупных городов. Выделяются два основных научных направления: изучение способов расчета температуры поверхности по тепловым инфракрасным каналам и изучение взаимосвязи между температурой поверхности и факторами земного покрова.

К первому направлению относятся исследования: (Alipour et al., 2004; Balling and Brazel, 1988; Cueto et al., 2007; Kumar et al., 2012; Trinh, 2014; Trinh and Vu, 2019; Yuan et al., 2007). В этих работах совершенствовались методики определения температуры поверхности по тепловым инфракрасным каналам Landsat TM, Landsat ETM+ на основе только первого теплового инфракрасного канала. В других исследованиях (Du et al., 2014; Rozenstein et al., 2014; Li and Jiang, 2018; Rongali et al., 2018) показано, что использование двух тепловых инфракрасных каналов Landsat 8, например, метод разделенного окна — split-window method, для определения температуры поверхности обладает большей точностью в сравнении с одноканальным методом.

Во втором направлении многими учеными доказана тесная взаимосвязь между температурой и типом подстилающей поверхности. Городская застройка с редкой растительностью характеризуется гораздо более высокими температурами поверхности, чем поверхность с густой растительностью (Tran et al., 2011; Boori et al., 2015; Bui, 2015; Bakar et al., 2016; Чинь и Заблоцкий, 2016; Nguyen and Pham, 2016; Pal and Ziaul, 2017; Anadababu et al., 2018; Guha et al., 2018).

Imran и др. (Imran et al., 2021) использовали данные тепловых ИК изображений Landsat для определения изменения земного покрова на температуру поверхности и оценки критерия теплового комфорта жителей города Дакка, Бангладеш. Показано, что за 27 летний период наблюдений произошло увеличение максимальной и средней температуры поверхности на 4.62 и 6.43°C, соответственно, в то время как изменение минимальной температуры поверхности было незначительным. Peng и др. (Peng et al., 2020) использовали данные Landsat 8 OLI_TIRS для оценки температуры поверхности города Ханчжоу (Китай) с учетом влияния таких топографических факторов, как высота местности, наклон, ориентация склона относительно стран света. Результаты показали, что высота и наклон отрицательно коррелируют с температурой поверхности, причем все топо-

графические факторы связаны с температурой поверхности линейными зависимостями.

В работе Burnett и Chen (Burnett and Chen, 2021) использовались тепловые инфракрасные каналы спутников Landsat, Aster, MODIS для изучения взаимосвязи между температурой поверхности и воздухом на территориях с различной подстилающей поверхностью (город, растительность густая и редкая) в зимнее и летнее время. Результаты показали, что зимой температура поверхности и воздуха имеют более тесную линейную зависимость, чем летом, причем это наблюдалось для всех территорий с различными характеристиками поверхности. Aik и др. (Aik et al., 2020) изучали влияние изменения землепользования на температуру поверхности в нагорьях Камерон (Malaysia) в период с 2009 по 2019 г. на основе использования изображений Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI_TIRS и MODIS. Исследование подтверждает влияние изменения землепользования/растительного покрова на температуру поверхности.

Данные тепловых инфракрасных датчиков дистанционного зондирования широко используются во Вьетнаме при изучении температуры поверхности больших городов. Tran и др. (Tran et al., 2011) проанализировали изменение температуры поверхности города Хошимин под воздействием урбанизации. Авторы применяли изображения Landsat для расчета индексов NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и NDBI (Normalized Difference Built-up Index) и показали тесную корреляцию указанных индексов с температурой поверхности. Bui (Bui, 2015) изучал зависимость температуры поверхности города Ханой от плотности городской застройки. Результаты показали, что в районах, где плотность застройки превышает 80%, средняя температура достигла 37°C, что примерно на 5° выше, чем в районах с плотностью застройки менее 10%.

Trinh (Trinh, 2014) также использовал тепловые инфракрасные изображения Landsat для анализа распределения температуры поверхности в городе Ханой. Исследование Trinh (2014) показало, что температура поверхности в центральной части Ханоя с высокой плотностью зеленых насаждений значительно ниже, чем температура поверхности в новостройках на окраине города, для которых характерна низкая плотность древесных насаждений.

В данной работе анализируется взаимосвязь между температурой поверхности города Ханой и типом подстилающей поверхности, включая растительный покров, открытую водную поверх-

Таблица 1. Изображения LANDSAT, использованные в работе

No.	Спутник	Дата съемки
1	Landsat 5 TM	4 ноября 2000
2	Landsat 5 TM	9 октября 2005
3	Landsat 5 TM	8 ноября 2010
4	Landsat 8 OLI_TIRS	02 декабря 2013
5	Landsat 8 OLI_TIRS	30 октября 2016
6	Landsat 8 OLI_TIRS	03 декабря 2019

ность и застроенную территорию. Шесть многозональных изображений Landsat за период 2000–2019 гг. использовались для расчета температуры поверхности и оценки типа земного покрова. Зависимость между температурой и типом подстилающей поверхности оценивалась на основе анализа коэффициента корреляции между температурой поверхности и индексами NDVI, MDNWI, NDBI.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Исследуемая территория и данные дистанционного зондирования

Исследуемая территория. Ханой – столица Социалистической Республики Вьетнам, простирается от 20°53′ до 21°23′ северной широты и от 105°44′ до 106°02′ восточной долготы. Площадь города составляет 3324.92 км², население более 8 миллионов человек (по данным переписи 2019 г.). За последнее время землепользование и почвенный покров города очень быстро изменились, что отрицательно сказывается на окружающей среде. Сравнение температурных данных метеостанции в центральной части города (станция Ланг) и станций на окраинах (станция Ха Донг и Хоай Дык) показало, что с 1990–2000 гг., средняя температура в центральной части города увеличилась на 0.5°C, а окраинах всего на 0.1–0.2°C. В работе Le (Le, 2005) на основе данных наземных наблюдений убедительно показано существование “острова тепла” в городе.

В данной работе исследуемой территорией является центральная часть города, в которой расположены, как плотная городская застройка, так и зоны отдыха (рис. 1).

Исходные данные. Шесть многозональных изображений LANDSAT 5 TM и Landsat 8 OLI_TIRS, полученных в период с 2000 по 2019 гг., использовались в работе (табл. 1 и рис. 2). Изображения LANDSAT были загружены с веб-сайта Геологической службы США (USGS – <http://glovis.usgs.gov>). Чтобы минимизировать влияние разнообразных погодных условий, изображения выбирались только для сухого сезона – с октября по декабрь месяц. Изображения Landsat в видимом и инфракрасном канале имеют пространственное разрешение 30 м. Пространственное разрешение тепловых инфракрасных каналов Landsat TM и Landsat 8 составляет 120 и 100 м соответственно. Этого вполне достаточно для проведения исследований на региональном масштабе и изучения оптических и тепловых свойств подстилающей поверхности города Ханой.

Методика обработки данных

Данные разновременных спутниковых изображений Landsat предварительно обрабатывались для устранения радиометрических и геометрических ошибок (Chavez, 1996), а затем переводились в местную систему координат VN-2000.

На следующем этапе индексы NDVI (Rouse et al., 1973), MNDWI (Xu, 2006) и NDBI (Zha et al., 2003) рассчитывались по следующим формулам:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}, \quad (1)$$

$$MNDWI = \frac{\rho_{GREEN} - \rho_{SWIR1}}{\rho_{GREEN} + \rho_{SWIR1}}, \quad (2)$$

$$NDBI = \frac{\rho_{SWIR1} - \rho_{NIR}}{\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}}. \quad (3)$$

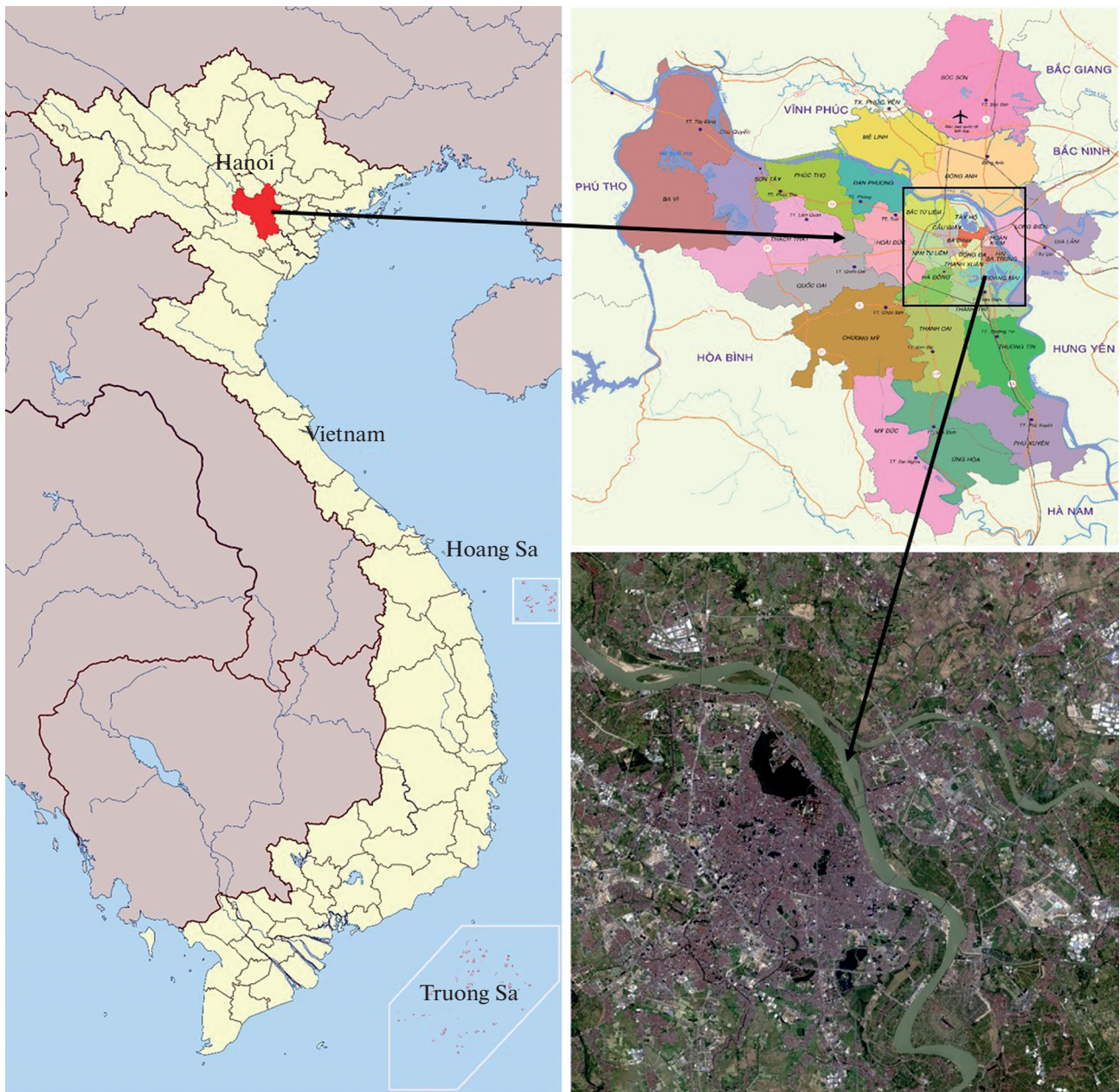


Рис. 1. Местоположение исследуемой территории.

Тепловой инфракрасный канал (канал 6 изображения Landsat TM, канал 10 изображения Landsat 8) использовался для расчета яркостной температуры в соответствии с методом, предложенным NASA (<http://usgs.gov>):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (4)$$

T_B – яркостная температура (K);

K_1 и K_2 – первая и вторая калибровочные константы, записанные в файле метаданных изображения Landsat.

Для расчета температуры поверхности использовался вегетационный индекс NDVI с учетом коэффициента излучения поверхности в соответ-

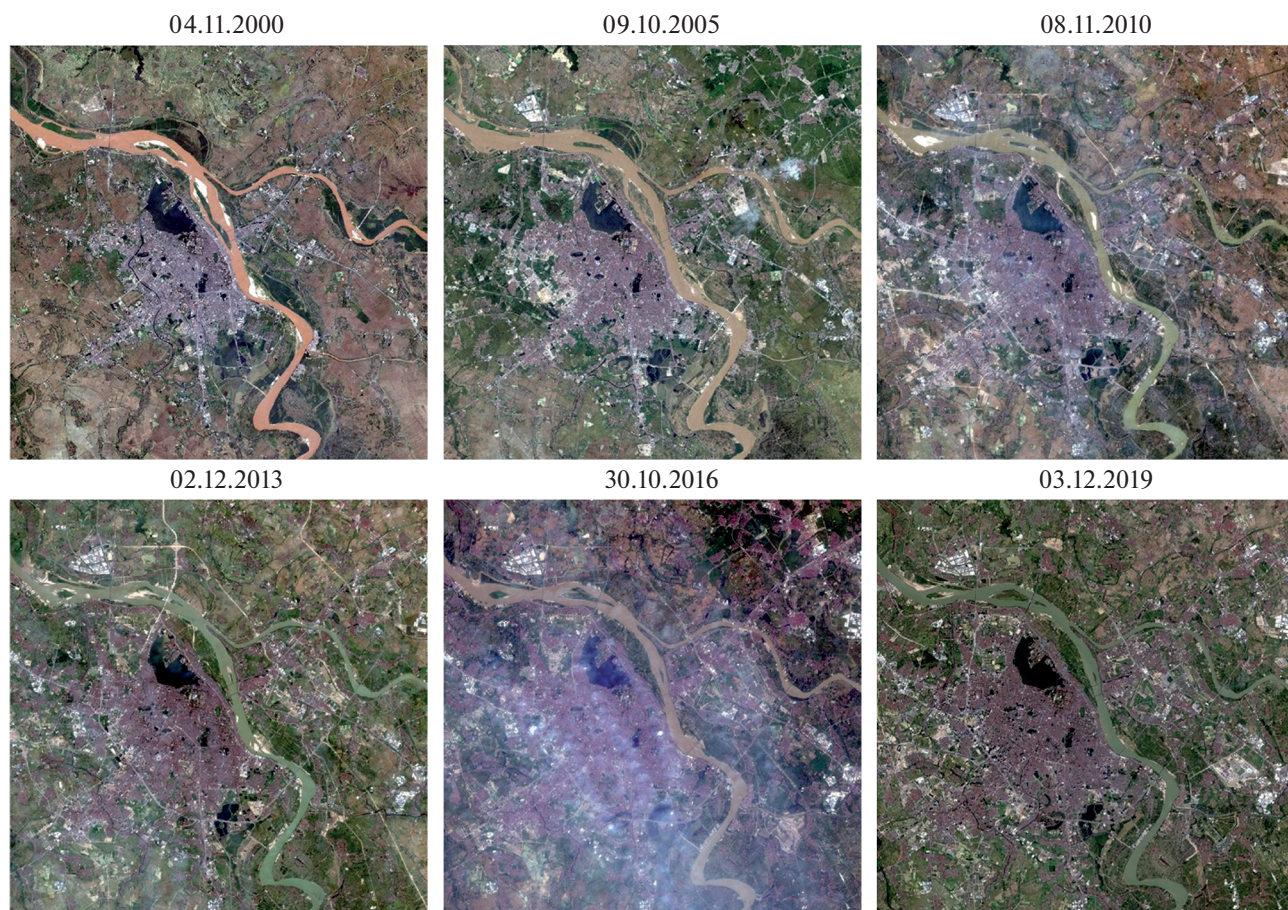


Рис. 2. Исходные изображения Landsat в видимом диапазоне.

ствии с методом, предложенным Valor и Caseless (Valor и Caseless, 1996):

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) \quad (5)$$

ε — коэффициент излучения от неоднородной поверхности;

ε_v — коэффициент излучения сплошной растительности;

ε_s — коэффициент излучения открытой почвы;

P_v — отношение растительности и почвы в пикселе, рассчитанное по формуле:

$$P_v = \left(\frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} \right)^2. \quad (6)$$

На последнем шаге осуществлялось вычисление поверхностной температуры (LST) по формуле:

$$\text{LST} = \frac{T_B}{1 + \frac{\lambda T_B}{\rho} \ln \varepsilon} \quad (7)$$

λ — длина волны; ρ — константа (1.438×10^{-2} м К).

После расчета температуры поверхности и индексов NDVI, MNDWI и NDBI рассчитывались коэффициенты корреляции между температурой поверхности и индексами NDVI, MNDWI, NDBI. Значение коэффициента корреляции позволяет оценить зависимость между температурой поверхности и такими типами земного покрова, как растительность, открытая водная поверхность, городская застройка.

Блок-схема алгоритма оценки взаимосвязи между температурой поверхности и типом подстилающей поверхности показана на рис. 3.



Рис. 3. Блок-схема алгоритма оценки взаимосвязи между температурой поверхности и типом земного покрова.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Красный канал (канал 3 изображения Landsat TM, канал 4 изображения Landsat 8) и ближний инфракрасный канал (канал 4 изображения Landsat TM, канал 5 изображения Landsat 8) использовались для расчета индекса NDVI по формуле (1). Результаты расчета индекса NDVI исследуемой территории показаны на рис. 4. На изображении NDVI, растительность представлена яркими светлыми пикселями, темные пиксели — области с редкой растительностью или без нее. Как правило, индекс NDVI меняется от -1 до 1 , при этом растительность характеризуется значениями индекса большими 0.2 .

Для расчета индекса MNDWI по формуле (2) использовался зеленый канал (канал 2 изображения Landsat TM, канал 3 изображения Landsat 8) и коротковолновый инфракрасный канал (канал 5 изображения Landsat TM, канал 6 изображения Landsat 8). Результаты расчета MNDWI исследуемой территории показаны на рис. 5. Можно видеть, что на изображении MNDWI водная поверхность представлена светлыми пикселями, а

почва и растительность — темными пикселями. Спектральная отражательная способность воды в зеленом канале выше, чем в коротковолновом инфракрасном канале, однако для растительности справедливо обратное отношение.

На рис. 6 показаны результаты расчета индекса NDBI по формуле (3) для исследуемой территории. Участки с городской застройкой представлены яркими светлыми пикселями. Сравнивая индексы *NDBI* можно сделать вывод о том, что площадь городской застройки, особенно в центральной части быстро увеличивалась с 2000 по 2019 г.

Температура поверхности территории города, рассчитанная по формуле (7) показана на рис. 7. Анализ полученных результатов показывает, что минимальная температура поверхности в городе за период 2000–2019 гг. существенно не менялась и составляла около 17°C . Однако максимальная температура постоянно увеличивалась и составляла 40.3 , 40.7 , 40.9 , 41.0 , 41.9 и 42.6°C в 2000, 2005, 2010, 2013, 2016 и 2019 гг. соответственно. Средняя температура городской поверхности в 2000, 2005, 2010, 2013, 2016 и 2019 гг. составляла 27.1 , 28.0 ,

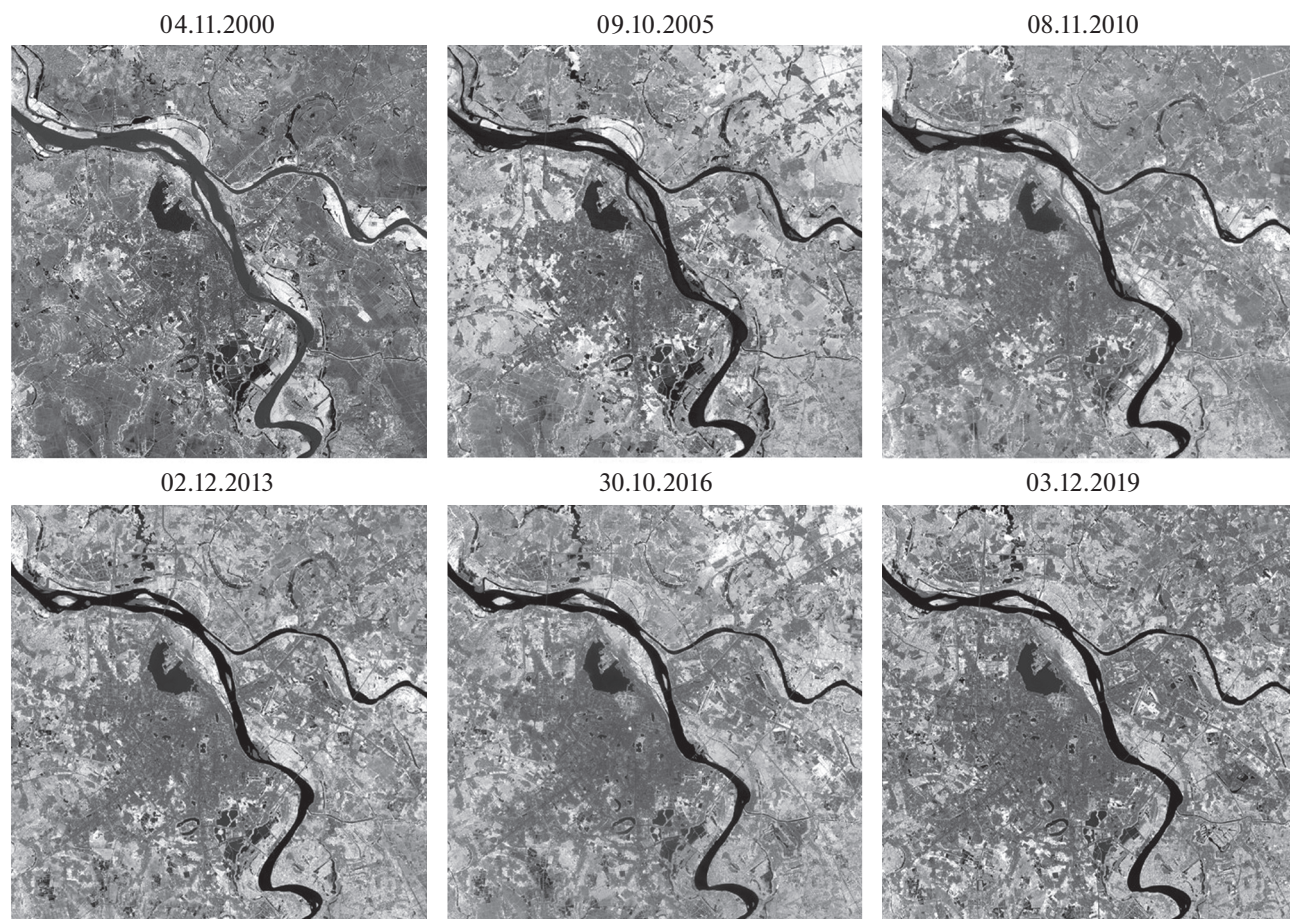


Рис. 4. Индексы NDVI территории Ханоя и его окрестностей.

28.3, 27.4, 32.1 и 33.4°C соответственно. Из рис. 6 и 7 следует, что высокая температура характерна для участков с высокой плотностью городской застройки и малопроницаемыми поверхностями. На участках, покрытых растительностью и открытой водной поверхностью температура поверхности намного ниже (показано темными пикселями).

Чтобы оценить изменение во времени индексов NDVI, MNDWI, NDBI и влияние различных типов покрова на температуру поверхности были рассчитаны коэффициенты корреляции между температурой и индексами. В табл. 2. представлены результаты расчета коэффициента корреляции между температурой поверхности и индексами для территории города.

Анализ результатов табл. 2 показывает, что температура поверхности положительно коррелирует с индексом NDBI (положительный коэффициент корреляции) и отрицательно коррелирует с индексом NDVI и MNDWI (отрицательный коэффициент корреляции). Увеличение площади

застроенной территории и связанное с этим увеличение температуры городской поверхности хорошо фиксируется индексом NDBI. Тепловой остров города за последнее время увеличился в размерах. С другой стороны, увеличение площади растительного покрова и площади открытой воды приводит к снижению температуры городской поверхности, что фиксируется индексами NDVI и MNDWI.

Температура поверхности максимально коррелирует с таким типом покрова, как “городская застройка”. Коэффициент корреляции между температурой поверхности и индексом NDBI в 2000, 2005, 2010, 2013, 2016 и 2019 гг. составлял соответственно 0.536, 0.627, 0.699, 0.807, 0.810 и 0.816. Эти значения намного превышают коэффициент корреляции между температурой и индексами NDVI и MNDWI. Растительный покров оказывал меньшее влияние на температуру поверхности, по сравнению с городской застройкой, но намного сильнее, нежели открытая водная поверхность.

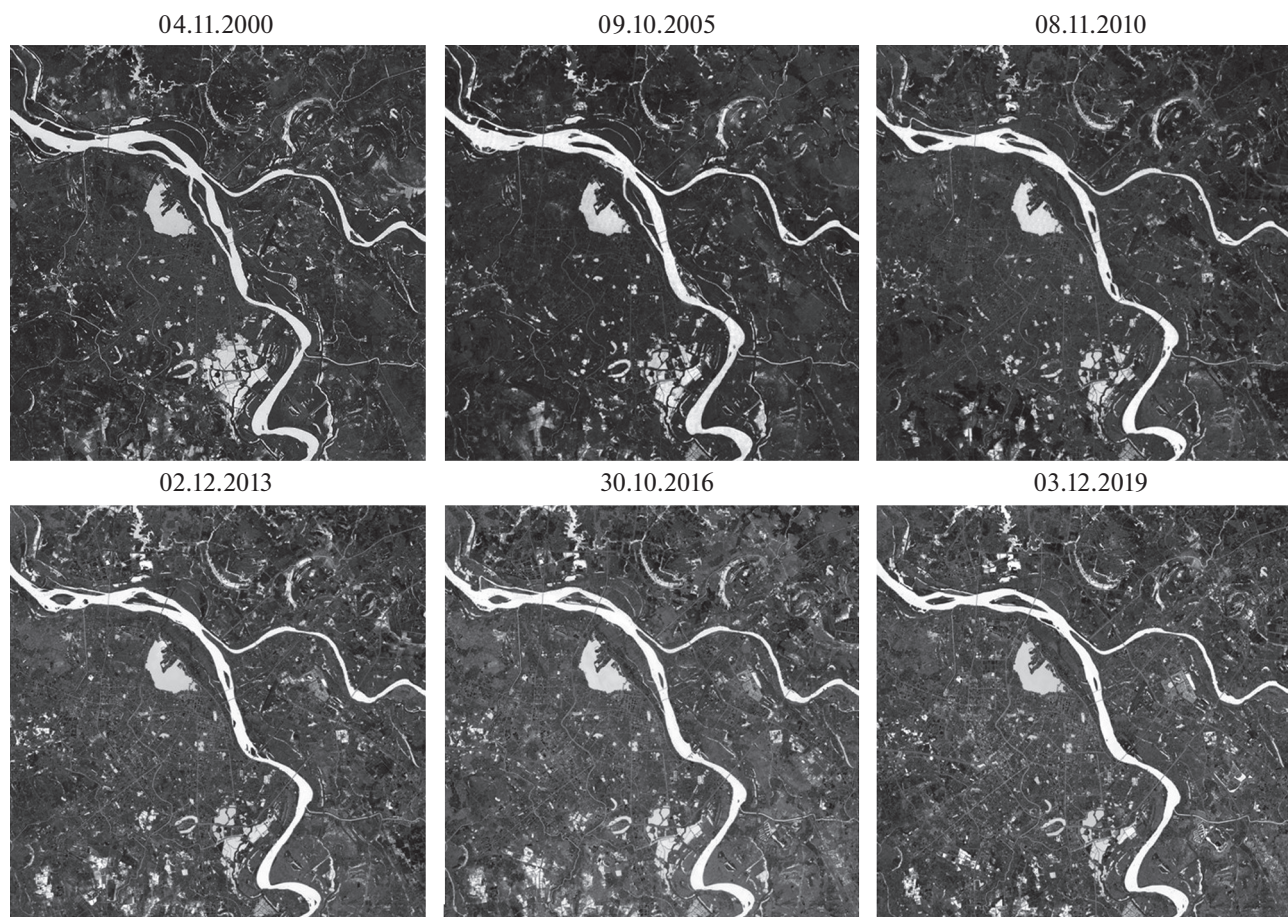


Рис. 5. Индексы MNDWI территории Ханоя и его окрестностей.

Установлено, что коэффициент корреляции между температурой поверхности и индексом NDBI постоянно увеличивался в течение периода

2000–2019 гг., вместе с ростом площади застроенных земель. Таким образом, можно утверждать, что процесс урбанизации, и связанное с ним уве-

Таблица 2. Коэффициент корреляции между температурой поверхности и индексами

Дата съемки	Средние значения коэффициента корреляции			
		NDVI	NDBI	MNDWI
04.11.2000	Температура поверхности	–0.497	0.536	–0.186
09.10.2005		–0.561	0.627	–0.099
08.11.2010		–0.404	0.699	–0.334
02.12.2013		–0.491	0.807	–0.203
30.10.2016		–0.439	0.810	–0.320
03.12.2019		–0.593	0.816	–0.108

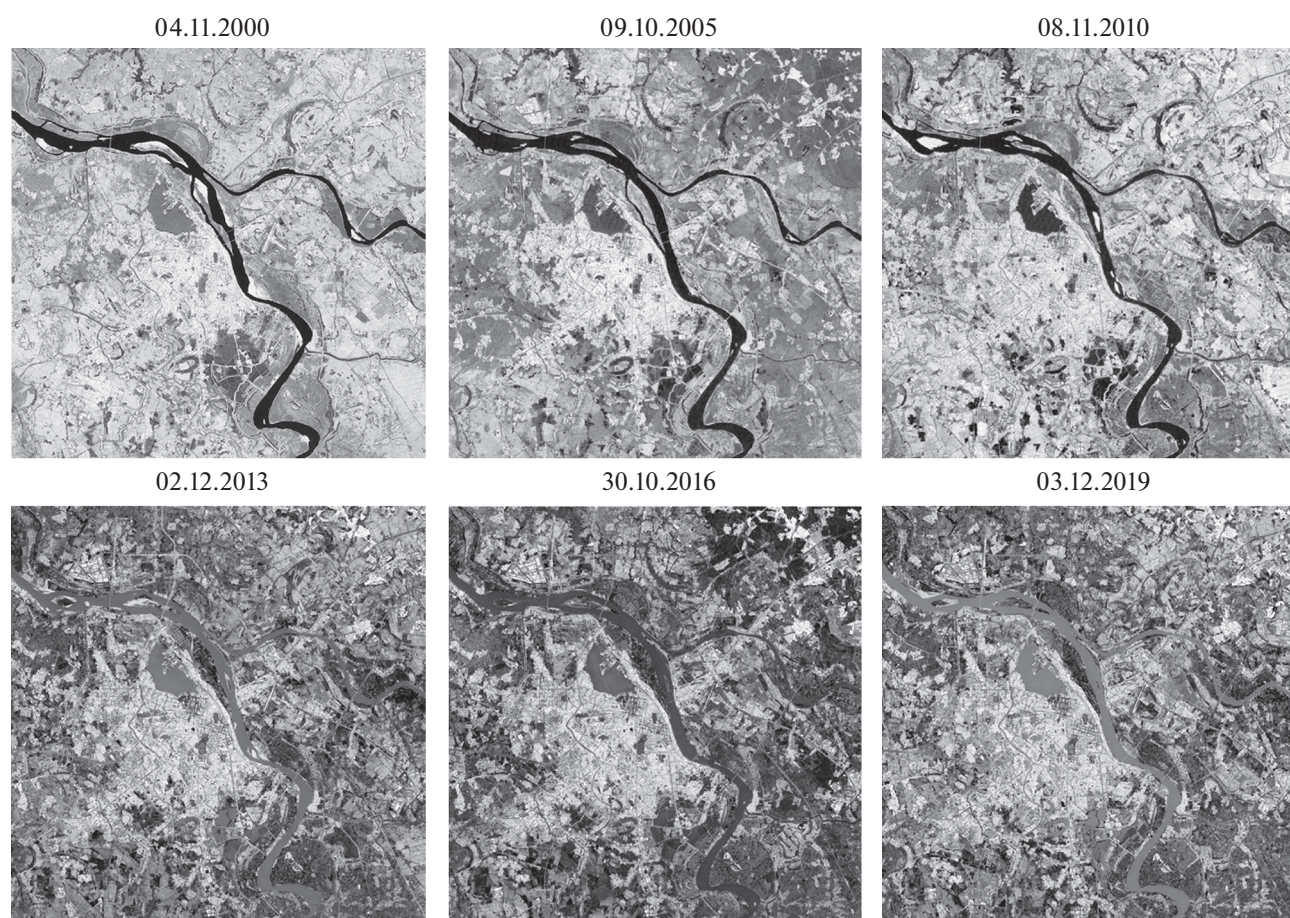


Рис. 6. Индексы NDBI территории Ханоя и его окрестностей.

личение площади застроенных земель, находит отражение в возрастании максимальных температур поверхности города.

ВЫВОДЫ

Многозональные изображения Landsat являются ценным источником данных в изучении распределения температуры поверхности городской территории. Полученные результаты показали, что, как средние значения, так и распределение температуры на территории Ханоя с 2000 по 2019 гг. претерпели значительные изменения. Площадь территории с высокой температурой поверхности быстро росла вместе с увеличением площади застройки. Чтобы оценить взаимосвязь между температурой поверхности и типом подстилающей поверхности в ходе активной урбанизации территории, в исследовании использовались спектральные индексы NDVI, MNDWI и NDBI и рассчитывался коэффициент корреля-

ции между температурой поверхности и этими индексами. Полученные результаты показали, что температура городской поверхности положительно коррелирует с индексом NDBI и отрицательно коррелирует с индексом NDVI и MNDWI. Коэффициент корреляции между температурой и индексом NDBI достигает максимального значения по сравнению с индексами NDVI и MNDWI. Можно утверждать, что увеличение площади застроенной территории оказывает наибольшее влияние на температуру поверхности по сравнению с другими факторами и лучше фиксируется индексом NDBI.

Полученные результаты и методика обработки данных дистанционного зондирования могут использоваться городскими и региональными властями в качестве источника информации для принятия обоснованных решений развития городской территории с целью уменьшения рисков резкого роста температуры окружающей среды.

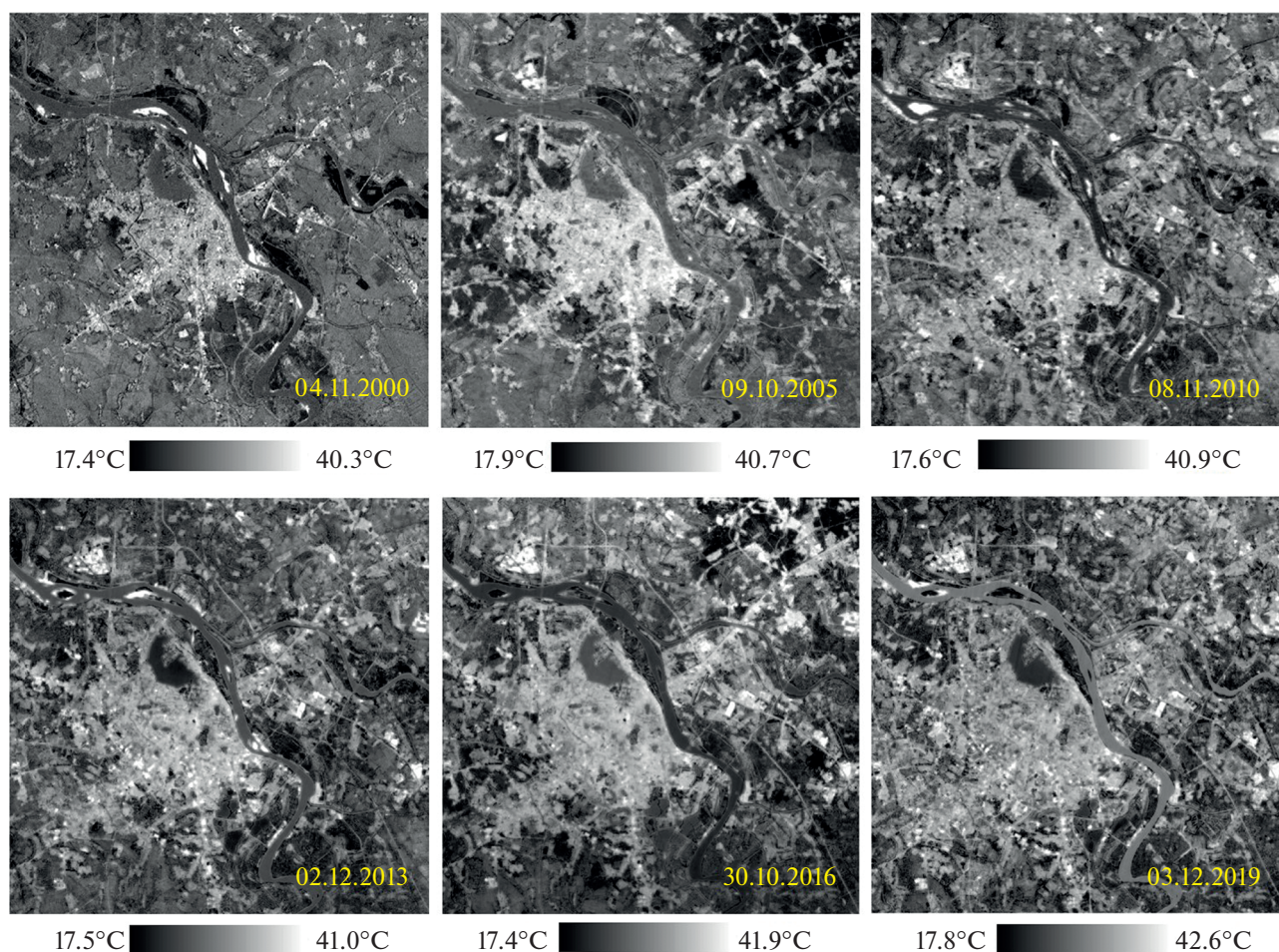


Рис. 7. Температура поверхности Ханоя и его окрестностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондур В.Г. Космический мониторинг природных пожаров в России в условиях аномальной жары 2010 г. // Исслед. Земли из космоса. 2011. № 3. С. 3–13.
- Чинь Л.Х., Заблоцкий В.Р. Применение серии разновременной тепловой ИК съемки Landsat для выявления подземных пожаров в угольной шахте ХаньХоа, провинция Тхай Нгуен, Вьетнам // Исслед. Земли из космоса. 2016. № 5. С. 42–49.
- Aik D., Ismail M., Muharam F. Land use/land cover changes and the relationship with land surface temperature using Landsat and MODIS imageries in Cameron Highlands, Malaysia // Land. 2020. V. 9. 372. <https://doi.org/10.3390/land9100372>
- Alipour T., Sarajian M., Esmaseily A. Land surface temperature estimation from thermal band of LANDSAT sensor, case study: Alashtar city // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2004. V. 38(4). P. 1–6.
- Anandababu D., Purushothaman B.M., Suresh B.S. Estimation of land surface temperature using Landsat 8 data // International J. Advance Research, Ideas and Innovations in Technology. 2018. V. 4(2). P. 177–186.
- Bakar S., Pradhan B., Lay U., Abdullahi S. Spatial assessment of land surface temperature and land use/land cover in Langkawi Island // Earth and Environmental Science. 2016. V. 37. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012064>
- Balling R.C., Brazel S.W. High – resolution surface temperature patterns in a complex urban Terrain // Photogrammetric Engineering and Remote sensing. 1988. V. 54(9). P. 1289–1293.
- Boori M.S., Vozenilek V., Balter H., Choudhary K. Land surface temperature with land cover classes in Aster and Landsat data // J. Remote Sensing & GIS. 2015. V. 4. P. 1–4. <https://doi.org/10.4172/2169-0049.1000138>
- Bui Q.T. Urban heat island analysis in Ha Noi: examining the relationship between land surface temperature and impervious surface // Conference of Application of GIS. 2015. P. 674–677.
- Burnett M., Chen D. The impact of seasonality and land cover on the consistency of relationship between air temperature and LST derived from Landsat 7 and MODIS at a local scale: A case study in southern Ontario // Land. 2021. V. 10. P. 672. <https://doi.org/10.3390/land10070672>
- Carnahan W.H., Larson R.C. An analysis of an urban heat sink // Remote Sensing of Environment. 1990. V. 33(1). P. 65–71.

- Chavez P. Image-based atmospheric corrections—revisited and improved // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1996. V. 62(9). P. 1025–1036.
- Cueto G., Jauregui Ostos E., Toudert D., Tejeda Martinez A. Detection of the urban heat island in Mexicali and its relationship with land use // *Atmosfera*. 2007. V. 20(2). P. 111–131.
- Du C., Ren H., Qin Q., Meng J., Li J. Split-window algorithm for estimating land surface temperature from Landsat 8 TIRS data // *International Geoscience Remote Sensing Symposium*. 2014. P. 3578–3581. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2014.6947256>.
- Guha S., Govil H., Dey A., Gill N. Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy // *European J. Remote Sensing*. 2018. V. 51(1). P. 667–678. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494>
- Imran H.M., Hossain A., Islam A., Rahman A., Bhuiyan Md., Paul S., Alam A. Impact of land cover changes on land surface temperature and human thermal comfort in Dhaka City of Bangladesh // *Earth Systems and Environment*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00243-4>
- Kumar K.S., Bhaskar P.U., Padmakumari K. Estimation of land surface temperature to study urban heat island effect using LANDSAT ETM+ image // *International J. Engineering Science and Technology*. 2012. V. 4(2). P. 771–778.
- Howard L. The climate of London, International Association for Urban Climate (IAUC). 1833. 285 p.
- Le D.Q. The formation of heat islands in the inner city of Hanoi // *Vietnam J. Meteorology and Hydrology*. 2005. 530. P. 44–46.
- Li S., Jiang G. Land surface temperature retrieval from Landsat-8 data with the generalized split-window algorithm // *IEEE Access*. 2018. V. 6, P. 18149–18162. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2818741>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). LANDSAT data users' handbook. Available at <http://usgs.gov>. Accessed April 12. 2021.
- Nguyen D.T., Pham V.V. Application of remote sensing and GIS to study surface temperature changes of the urban districts in Hanoi during 2005–2015 period // *Vietnam J. Agricultural Sciences*. 2016. V. 14(8). P. 1219–1230.
- Oke T.R. Technical note No. 169: Review of urban climatology. 1979. World Meteorological Organization. Geneva. Switzerland. 43 p.
- Pal S., Ziaul S. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2017. V. 20(1). P. 125–145.
- Peng X., Wu W., Zheng Y., Sun J., Hu T., Wang P. Correlation analysis of land surface temperature and topographic elements in Hangzhou, China. *Scientific Reports*. 2020. V. 10. 10451.
- Rongali G., Keshari A.K., Gosain A.K., Khosa R. Split-window algorithm for retrieval of land surface temperature using Landsat 8 thermal infrared data // *J. Geovisualization and Spatial Analysis*. Published online 05 September 2018. 19 p.
- Rouse J.W., Hass R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*. 1973. Washington-DC. P. 309–317.
- Rozenstein O., Qin Z., Derimian Y., Karnieli A. Derivation of land surface temperature for landsat-8 TIRS using a split window algorithm // *Sensors*. 2014. V. 14. P. 5768–5780. <https://doi.org/10.3390/s140405768>
- Tran T.V., Hoang T.L., Le V.T. Research on the change of urban surface temperature under impact of urbanization in Hochiminh City by applying remote sensing method // *Vietnam J. Earth Sciences*. 2011. V. 33(3). P. 347–359.
- Trinh L.H. Studies of land surface temperature distribution using multispectral image Landsat // *Vietnam J. Earth Sciences*. 2014. V. 36(1). P. 82–89.
- Trinh L.H., Vu D.T. Comparison of single-channel and split-window methods for estimating land surface temperature from Landsat 8 data // *VNU J. Sciences: Earth and Environmental Sciences*. 2019. V. 35(2). P. 33–44.
- Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // *International J. Remote Sensing*. 2006. V. 27(14). P. 3025–3033.
- Valor E., Caselles V. Mapping land surface emissivity from NDVI. Application to European African and South American areas // *Remote Sensing of Environment*. 1996. V. 57. P. 167–184.
- Yuan F., Bauer M. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in LANDSAT imagery, *Remote Sensing of Environment*. 2007. V. 106. P. 375–386.
- Zha Y., Gao J., Ni S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery // *International J. Remote Sensing*. 2003. V. 24(3). P. 583–594
- Веб-сайт Геологической службы США: USGS — <http://glovis.usgs.gov>. Accessed April 12. 2021.

The Relationship between the Land Surface Temperature and Land Cover Types, a Case Study in Hanoi, Vietnam

Le Hung Trinh¹, V. R. Zablotskii², I. V. Zenkov^{3, 4}, Danh Tuyen Vu⁵, and Khanh Hoai Dao¹

¹Le Quy Don Technical University, 236 Hoang Quoc Viet Str., Hanoi, Vietnam

²Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

³Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

⁴Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Krasnoyarsk, Russia

⁵Hanoi University of Natural Resources and Environment, Hanoi, Vietnam

This article presents the results of an assessment of the relationship between land surface temperature in the central part of Hanoi city and land cover/land use. The six Landsat TM and Landsat 8 images from 2000 to 2019 are used to calculate land surface temperature and land cover/land use factors, including NDVI (vegetation cover), NDBI (built-up land), MNDWI (water body), and then determine the correlation coefficient

between them. The results obtained show that vegetation cover and water body have an inverse correlation with land surface temperature, expressed in values of the correlation coefficient less than 0. Meanwhile, built-up land has a positive correlation with land surface temperature, which is shown in a value of the correlation coefficient greater than 0. The absolute value of the correlation coefficient between the land surface temperature and the built-up land reached the much higher in comparison with vegetation and water body, and increased steadily from 2000 to 2019. Results from the study can be used for land-use management and planning in urban areas.

Keywords: land surface temperature, land cover, urbanization, remote sensing, Landsat, Hanoi city

REFERENCES

- Bondur V.G.* Satellite Monitoring of Wildfires during the Anomalous Heat Wave of 2010 in Russia // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2011. V. 47. № 9. P. 1039–1048. <https://doi.org/10.1134/S0001433811090040>
- Trinh L.H., Zablotskii V.R.* Primenenie serii raznovremennoi teplovoy IK s'emki Landsat dlya vyyavleniya podzemnykh pozharov v ugol'noi shakhte Khan'Khoa, provintsiya Tkhai Nguen, V'etnam // *Issled. Zemli iz kosmosa*. 2016. № 5. P. 42–49. (In Russian).
- Aik D., Ismail M., Muharam F.* Land use/land cover changes and the relationship with land surface temperature using Landsat and MODIS imageries in Cameron Highlands, Malaysia // *Land*. 2020. V. 9. 372. <https://doi.org/10.3390/land9100372>
- Alipour T., Sarajian M., Esmaseily A.* Land surface temperature estimation from thermal band of LANDSAT sensor, case study: Alashtar city // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2004. V. 38(4). P. 1–6.
- Anandababu D., Purushothaman B.M., Suresh B.S.* Estimation of land surface temperature using Landsat 8 data // *International J. Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*. 2018. V. 4(2). P. 177–186.
- Bakar S., Pradhan B., Lay U., Abdullahi S.* Spatial assessment of land surface temperature and land use/land cover in Langkawi Island // *Earth and Environmental Science*. 2016. 37. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012064>.
- Balling R.C., Brazel S.W.* High – resolution surface temperature patterns in a complex urban Terrain // *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*. 1988. V. 54(9). P. 1289–1293
- Boori M.S., Vozenilek V., Balter H., Choudhary K.* Land surface temperature with land cover classes in Aster and Landsat data // *J. Remote Sensing & GIS*. 2015. V. 4. P. 1–4. <https://doi.org/10.4172/2169-0049.1000138>
- Bui Q.T.* Urban heat island analysis in Ha Noi: examining the relationship between land surface temperature and impervious surface // *Conference of Application of GIS*. 2015. P. 674–677.
- Burnett M., Chen D.* The impact of seasonality and land cover on the consistency of relationship between air temperature and LST derived from Landsat 7 and MODIS at a local scale: A case study in southern Ontario // *Land*. 2021. V. 10. P. 672. <https://doi.org/10.3390/land10070672>
- Carnahan W.H., Larson R.C.* An analysis of an urban heat sink // *Remote Sensing of Environment*. 1990. V. 33(1). P. 65–71.
- Chavez P.* Image-based atmospheric corrections—revisited and improved // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1996. V. 62(9). P. 1025–1036.
- Cueto G., Jauregui Ostos E., Toudert D., Tejeda Martinez A.* Detection of the urban heat island in Mexicali and its relationship with land use // *Atmosfera*. 2007. V. 20(2). P. 111–131.
- Du C., Ren H., Qin Q., Meng J., Li J.* Split-window algorithm for estimating land surface temperature from Landsat 8 TIRS data // *International Geoscience Remote Sensing Symposium*. 2014. P. 3578–3581. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2014.6947256>
- Guha S., Govil H., Dey A., Gill N.* Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy // *European Journal of Remote Sensing*. 2018. V. 51(1). P. 667–678. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494>
- Imran H.M., Hossain A., Islam A., Rahman A., Bhuiyan Md., Paul S., Alam A.* Impact of land cover changes on land surface temperature and human thermal comfort in Dhaka City of Bangladesh // *Earth Systems and Environment*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00243-4>
- Kumar K.S., Bhaskar P.U., Padmakumari K.* Estimation of land surface temperature to study urban heat island effect using LANDSAT ETM+ image // *International J. Engineering Science and Technology*. 2012. V. 4(2). P. 771–778.
- Howard L.* The climate of London, International Association for Urban Climate (IAUC). 1833. 285 p.
- Le D.Q.* The formation of heat islands in the inner city of Hanoi // *Vietnam J. Meteorology and Hydrology*. 2005. 530. P. 44–46.
- Li S., Jiang G.* Land surface temperature retrieval from Landsat-8 data with the generalized split-window algorithm. // *IEEE Access*. 2018. V. 6, P. 18149–18162. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2818741>
- NATIONAL Aeronautics and Space Administration (NASA). LANDSAT data users' handbook. Available at <http://usgs.gov>. Accessed April 12. 2021.
- Nguyen D.T., Pham V.V.* Application of remote sensing and GIS to study surface temperature changes of the urban districts in Hanoi during 2005–2015 period // *Vietnam J. Agricultural Sciences*. 2016. V. 14(8). P. 1219–1230.
- Oke T.R.* Technical note No. 169: Review of urban climatology. 1979. World Meteorological Organization. Geneva. Switzerland. 43 p.
- Pal S., Ziaul S.* Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian J. Remote Sensing and Space Science*. 2017. V. 20(1). P. 125–145.

- Peng X., Wu W., Zheng Y., Sun J., Hu T., Wang P.* Correlation analysis of land surface temperature and topographic elements in Hangzhou, China. *Scientific Reports* 2020. V. 10. 10451.
- Rongali G., Keshari A.K., Gosain A.K., Khosa R.* Split-window algorithm for retrieval of land surface temperature using Landsat 8 thermal infrared data // *J. Geovisualization and Spatial Analysis*. Published online 05 September 2018. 19 p.
- Rouse J.W., Hass R.H., Schell J.A., Deering D.W.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*. 1973. Washington-DC. P. 309–317.
- Rozenstein O., Qin Z., Derimian Y., Karnieli A.* Derivation of land surface temperature for landsat-8 TIRS using a split window algorithm // *Sensors*. 2014. V. 14. P. 5768–5780. <https://doi.org/10.3390/s140405768>
- Tran T.V., Hoang T.L., Le V.T.* Research on the change of urban surface temperature under impact of urbanization in Hochiminh City by applying remote sensing method // *Vietnam J. Earth Sciences*. 2011. V. 33(3). P. 347–359.
- Trinh L.H.* Studies of land surface temperature distribution using multispectral image Landsat. // *Vietnam J. Earth Sciences*. 2014. V. 36(1). P. 82–89.
- Trinh L.H., Vu D.T.* Comparison of single-channel and split-window methods for estimating land surface temperature from Landsat 8 data // *VNU J. Sciences: Earth and Environmental Sciences*. 2019. V. 35(2). P. 33–44.
- Xu H.* Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // *International J. Remote Sensing*. 2006. V. 27(14). P. 3025–3033.
- Valor E., Caselles V.* Mapping land surface emissivity from NDVI. Application to European African and South American areas // *Remote Sensing of Environment*. 1996. V. 57. P. 167–184.
- Yuan F., Bauer M.* Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in LANDSAT imagery, *Remote Sensing of Environment*. 2007. V. 106. P. 375–386.
- Zha Y., Gao J., Ni S.* Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery // *International J. Remote Sensing*. 2003. V. 24(3). P. 583–94.
- USGS – <http://glovis.usgs.gov>. Accessed April 12. 2021.