

Исследование антропогенных изменений в городском ландшафте по данным инфракрасного диапазона Landsat-8

А.А. Гостева^{1,2}, А.К. Матушко¹, О.Э. Якубайлик^{1,2}

¹Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения
Российской академии наук, г. Красноярск, Россия

²Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный
центр Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Красноярск, Россия

AGosteva@icm.krasn.ru

Изменения в городском ландшафте можно обнаружить с помощью дистанционного зондирования в видимом и дальнем инфракрасном диапазонах. Для исследования и мониторинга природно-антропогенных объектов широко применяется тепловая съемка. Использование нескольких источников пространственных данных расширяет возможности анализа. В работе проведен анализ данных с умеренным пространственным разрешением и ежедневной съемкой, полученных от спутника MODIS, со средним пространственным разрешением и периодичностью съемки примерно один раз в 14 дней – от спутника Landsat и высоким разрешением с возможностью получения нескольких сцен в сутки – от спутника PlanetScope. Предложена методика выявления антропогенных преобразований в городском ландшафте по температуре земной поверхности. Выявлены три категории изменений: без изменений, незначительные изменения с разницей температур 1–3 °С и значительные изменения с разницей температур более 4 °С. При анализе участков температурной карты с максимальными изменениями отмечено, что динамика изменений связана со строительством новых микрорайонов, торговых центров. Также изменение температуры поверхности зависит от изменения лесных ландшафтов, например в местах вырубки древесных насаждений.

Ключевые слова: тепловые космические снимки; коллекция данных; спутники Landsat; PlanetScope; температура поверхности земли; климат городской среды

Для цитирования: Гостева А.А., Матушко А.К., Якубайлик О.Э. Исследование антропогенных изменений в городском ландшафте по данным инфракрасного диапазона Landsat-8 // Изв. вузов. Электроника. 2021. Т. 26. № 3-4. С. 314–323. DOI: <https://doi.org/10.24151/1561-5405-2021-26-3-4-314-323>

Study of Anthropogenic Changes in the Urban Landscape Based on the Landsat-8 Infrared Range

A.A. Gosteva^{1,2}, A.K. Matuzko¹, O.E. Yakubailik^{1,2}

¹*Institute of Computational Modelling of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia*

²*Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center of the Siberian
Branch of the Russian Academy of Sciences», Krasnoyarsk, Russia*

AGosteva@icm.krasn.ru

Abstract: Changes in the urban landscape can be detected using visible and far infrared remote sensing. Thermal imagery is widely used for research and monitoring of natural and anthropogenic objects. Multiple data sources use enhances spatial analysis capabilities. These sources are, for example, MODIS satellite data with moderate spatial resolution and daily surveys, Landsat data collection with medium spatial resolution and survey frequency of about once every 14 days, and high-resolution PlanetScope data with the ability to acquire multiple scenes per day. This paper proposes the methodology for identifying anthropogenic transformations in the urban landscape by land surface temperature. Three categories of changes were identified: no changes, minor changes with a temperature difference of 1–3 °C and significant changes with a temperature difference of more than 4 °C. When analyzing areas with maximum temperature changes, it was noted that the dynamics of changes are associated with changes in urban development, namely, with the construction of new microdistricts and shopping centers. A change in surface temperature is also associated with a change in forest landscapes, for example, in places where tree plantations were cut down.

Keywords: thermal satellite imagery; data collection; Landsat; PlanetScope; land surface temperature; urban environment climate

For citation: Gosteva A.A., Matuzko A.K., Yakubailik O.E. Study of anthropogenic changes in the urban landscape based on the Landsat-8 infrared range. *Proc. Univ. Electronics*, 2021, vol. 26, no. 3-4, pp. 314–323. DOI: <https://doi.org/10.24151/1561-5405-2021-26-3-4-314-323>

Введение. Спектральные характеристики данных дистанционного зондирования Земли применяются в системах мониторинга изменений различных компонентов экосистем, природных и антропогенных ландшафтов и пр. При решении практических задач часто пользуются гиперспектральными спутниковыми изображениями. Такие изображения позволяют распознавать объекты, но требуют специализированных технологий обработки. Задача поиска объекта или разделение всех объектов на классы [1] является достаточно типичной и в последнее десятилетие ставится перед специалистами дистанционного зондирования.

Ландшафты современного города относятся к преобразованным культурным, где элементы, привнесенные в результате деятельности человека, преобладают над естественными, природными. Реконструкция городского ландшафта влечет за собой изменение климата города, что напрямую влияет на изменение температуры земной поверхности. Оценить такие изменения возможно как прямыми измерениями, так и дистанционными методами. В качестве дистанционных методов применяются данные

космической съемки с тепловым каналом. При выборе источников спутниковых данных учитываются такие характеристики, как периодичность съемки и пространственное разрешение.

В настоящей работе предлагается методика обнаружения изменений температуры земной поверхности в пределах одной территории за определенный промежуток времени и рассматривается ее применимость для определения антропогенных изменений ландшафта. Изменения температуры земной поверхности на территории г. Красноярска за двухлетний период (с сентября 2016 г. по сентябрь 2018 г.) определяются с помощью космических снимков в тепловом инфракрасном излучении.

Исходные данные. Объектом исследования являются территория г. Красноярска и его окрестности. Для поиска городских изменений используются данные от спутников MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), Landsat-8, PlanetScope с различными пространственными разрешениями и периодами съемки. Самые ранние снимки спутниковой группировки PlanetScope территории г. Красноярска датированы 2016 г., поэтому в работе не учтены более ранние снимки. Для поиска изменений подобран снимок с похожими метеоусловиями в 2018 г.

Температура земной поверхности – это температура первой сплошной поверхности, т.е. земли, вершин деревьев или крыш зданий [2]. Данные сканирующего спектрорадиометра среднего разрешения MODIS, расположенного на спутниках Terra и Aqua, начали поступать с марта 2000 г. Спектрорадиометр с умеренным разрешением системы наблюдения Земли производит суточные данные о температуре поверхности. С помощью семи доступных тепловых инфракрасных диапазонов этот алгоритм может корректировать погрешности в профилях температуры и водяного пара без одновременного извлечения данных о поверхности или профилей переменных атмосфер. Коэффициенты излучения также необходимы для эксплуатационного продукта, поэтому MODIS оценивает их на основе классификации по типам растительного покрова с использованием тепловых инфракрасных двунаправленных функций распределения отражения и моделирования [3].

Данные продукта MOD11A1 версии 6 содержат информацию о ежедневной дневной температуре земной поверхности и его излучательную способность с пространственным разрешением ~ 1 км. Полученные данные имеют точность 1 К [4].

Данные американского спутника дистанционного зондирования Земли Landsat стали доступны для широкого круга пользователей ГИС-сообщества в декабре 2009 г. [5]. Запуск спутника Landsat-8 состоялся в феврале 2013 г. Спутник Landsat-8 получает данные с использованием двух разных датчиков – Operational Land Imager (OLI) и Thermal Infrared Sensor (TIRS). Изображения Landsat-8 состоят из 11 спектральных каналов, где 10-й и 11-й являются дальними инфракрасными полосами с пространственным разрешением 100 м, что позволяет анализировать энергию земной поверхности, а не отражение солнечного света [6]. Система Landsat не предоставляет готовые физические параметры, такие как температура поверхности, но они могут быть рассчитаны дополнительно [7]. С 2016 г. все данные Landsat, в том числе и Landsat-8, поставляются с геометрической и радиометрической коррекцией. Снимки с коррекцией хранятся в наборах Landsat Level-1 Data Processing Levels или Landsat Level-1 data product.

Снимки высокого разрешения космических аппаратов PlanetScope представлены в онлайн-сервисе [8]. Группировка PlanetScope насчитывает более 120 спутников, равномерно распределенных по орбите высотой ~ 500 км, и предназначена для регулярного космического мониторинга любой территории в высоком пространственном разрешении: четыре спектральных канала с разрешением 3,7 м – синий (0,450–0,515 мкм), зеленый (0,515–0,595 мкм), красный (0,605–0,695 мкм), ближний инфракрасный (0,740–0,900 мкм).

Вычисление температуры земной поверхности. Рассмотрим основные варианты расчета температуры земной поверхности, которые подробно описаны в работе [9] (для всех вариантов расчета использовано ПО QGIS):

- 1) с учетом атмосферной коррекции методом Radiative transfer equation с применением параметров, полученных в Atmospheric Correction Parameter Calculator, а также плагина Land Surface Temperature Estimation Plugin;
- 2) без учета известных атмосферных параметров с применением плагина Semi-Automatic Classification Plugin [10];
- 3) с использованием для классификации снимков высокого пространственного разрешения, например от PlanetScope.

Последний вариант является усовершенствованным, поэтому для оценки точности предлагаемых вариантов расчета температуры поверхности необходимо провести корреляцию между получившимися данными о температуре поверхности с использованием разных методов атмосферных коррекций Radiative transfer equation и DOS1 [11].

Устранение влияния атмосферы в термальной области необходимо для использования тепловых каналов при определении абсолютной температуры. Испускаемый сигнал ослабляется и усиливается атмосферой. Расчет радиационной передачи – сложный и долгий процесс. Калькулятор параметров атмосферной коррекции облегчает этот расчет [12]. Атмосферная коррекция методом Radiative transfer equation легко применима за счет доступа ко всем необходимым параметрам в открытых источниках и при использовании калькулятора атмосферных параметров. Для получения профиля атмосферы необходимо ввести обязательные параметры (дату и время, широту и долготу) и необязательные (данные о поверхности – высоту над уровнем моря, атмосферное давление, температуру и значение влажности). Если условия поверхности не предоставлены, будут использоваться предсказанные моделью условия поверхности. В настоящей работе данные о давлении, температуре и влажности получены службой gr5.ru, где хранятся архивы о фактической погоде, измеренной на наземных станциях прогнозирования погоды и мониторинга.

Сравнение результатов вычисления температуры земной поверхности. Для анализа результатов вычисления температуры поверхности с использованием различной атмосферной коррекции попиксельно сравним два растровых изображения за 2016 и 2018 г. Получим примерно 700 000 пикселей (рис.1). Значения корреляции равны: $R^2(2016) = 0,85$; $R^2(2018) = 0,65$.

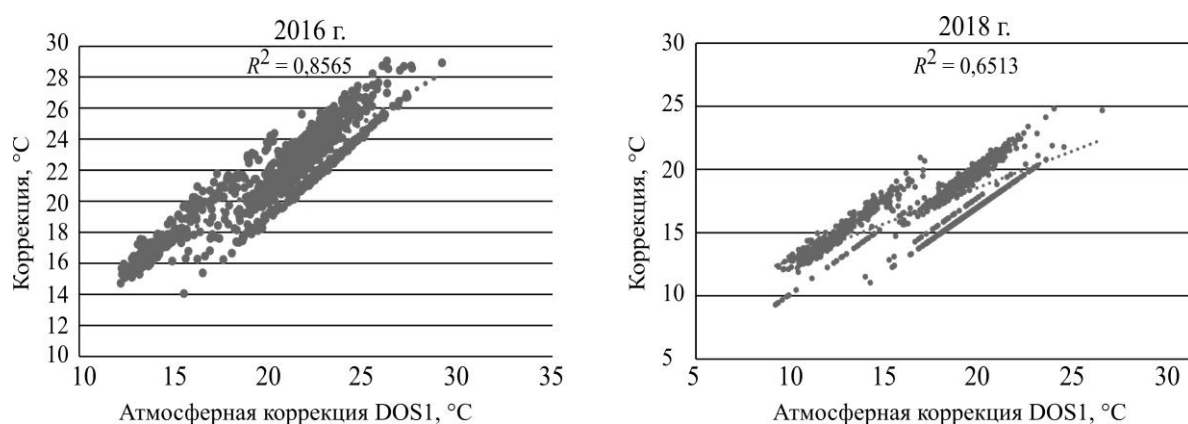


Рис.1. Растровые изображения земной поверхности с различной атмосферной коррекцией за 2016 и 2018 гг.

Fig.1. Bitmap images of the land surface with different atmospheric correction for 2016 and 2018

Несмотря на расхождение значений, полученных в результате использования различных вариантов расчета температуры земной поверхности, достоверность данных от Landsat-8 достаточна для выявления изменений в городском ландшафте.

Сравнение данных от MODIS и Landsat-8. Сравним значения температуры поверхности Земли, полученные от Landsat-8 и MODIS. Для данных от Landsat-8 проведено по три расчета за каждый год. Подобрано два готовых набора данных от MODIS (растровых слоя) на каждую из дат (20.09.2018 и 05.09.2016).

Растровый слой температуры поверхности Земли, полученный от MOD11A1, имеет пространственное разрешение 700×700 м. Эти данные будем считать эталонными. Слой векторных полигонов с шагом, соответствующим размеру ячейки раstra, создается так, чтобы одна ячейка раstra соответствовала одному полигону. С использованием геопространственного анализа каждому полигону присваивается среднее значение температуры земной поверхности Landsat-8 в рамках этого полигона. На следующем шаге формируется новый точечный слой с применением процедуры создания центроидов на основе полигонов. С помощью плагина Point sampling tool для каждой точки определяются значения температуры поверхности Земли от MODIS и вычисленные по данным Landsat-8 с учетом классификации по спектральным каналам PlanetScore. Из полученных значений убираются значения точек, которые находятся на границе реки или попадают в зону облачности снимка. Это необходимо, так как температура воды в реке Енисей после строительства ГЭС всегда примерно 7°C , что сильно искажает среднюю температуру для этих полигонов. Всего было выбрано 1160 полигонов для сравнения температуры поверхности.

Корреляция значений для двух снимков за 2016 и 2018 г., полученных от Landsat-8 и MODIS, представлена на рис.2. Время пролета Landsat-8 – около 12 ч, MODIS – около 11 ч. Из графиков видно, что данные имеют высокую степень корреляции и могут быть использованы с точки зрения точности достаточно эффективно.

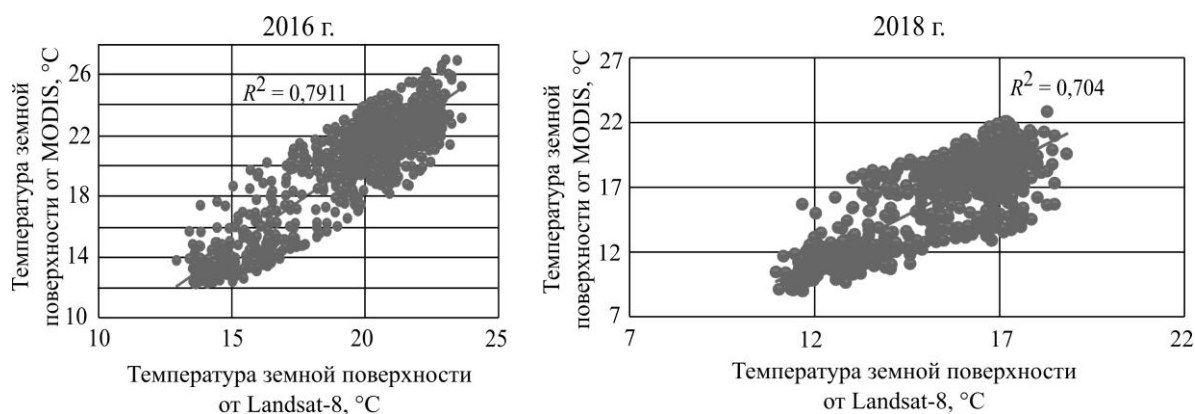


Рис.2. Корреляция значений снимков, полученных от Landsat-8 и MODIS, за 2016 и 2018 гг.

Fig.2. Correlation of imagery values between Landsat-8 and MODIS for 2016 and 2018

Несмотря на точность данных от MODIS, пространственного разрешения для городской территории недостаточно, поэтому в работе используются данные от Landsat-8. Температурный канал Landsat-8 имеет разрешение 100 м, но карта температур строится при использовании видимых каналов. Это позволяет увеличить пространственное разрешение до 30 м. Данные от PlanetScore увеличивают пространственное разрешение до 4 м.

Методика исследования антропогенных преобразований в городском ландшафте на основе температуры земной поверхности. Реконструкция городской застройки, искусственное изменение рельефа, вырубка лесных насаждений приводят к изменению городского климата. Соответственно, меняется температура поверхности, что является признаком изменений в городском ландшафте. Антропогенные преобразования в городском ландшафте исследуются на основе температурных карт, полученных по спутниковым данным Landsat-8 в тепловом и видимом диапазонах [13]. Сначала необходимо вычислить температуру поверхности на 20.09.2018 и 05.09.2016. Территория исследования ограничивается г. Красноярском, поэтому необходимо провести операцию оверлея по границе города для каждого результата вычисления.

Важный этап – нормирование данных для сравнения полученных температурных карт. По статистическим характеристикам каждого изображения, а именно по средне-статистическому значению температуры карты, вычисляется добавочное значение для операции нормирования. После этого проводится математическая операция алгебры карт, позволяющая вычитать одну карту из другой. В результате получается новое изображение, содержащее разницу между температурными значениями в каждом пикселе.

Для корректного выявления изменений по двум спутниковым снимкам необходимы безоблачные односезонные космические снимки с максимально равнозначными метеорологическими условиями. Для апробации методики выявления антропогенных преобразований в городском ландшафте подобраны спутниковые снимки территории г. Красноярска с идентичными метеоусловиями на сентябрь 2016 г. и сентябрь 2018 г. Набор изображений со спутника Landsat-8 представлен на даты 20.09.2018 и 05.09.2016. В таблице приведена температура воздуха в ночные и дневные часы на даты исследования для подбора максимально одинаковых погодных условий.

Данные о метеоусловиях на даты исследований
Weather for research dates

Дата	Температура воздуха, °С		Облачность	Направление и скорость ветра
	дневная	ночная		
20.09.2018	+15	+4	Безоблачно	Западный ветер со скоростью 1 м/с
05.09.2016	+19	+14	Малооблачно	Западный ветер со скоростью 2 м/с

Для сравнения температурных карт земной поверхности за 2016 и 2018 гг. проведена нормализация по среднему значению температуры поверхности в границах г. Красноярска. После нормализации средние значения становятся равными, и на следующем этапе выполняется математическая операция алгебры карт с вычитанием карты LST2016 из нормализованной карты LST2018. В результате вычитания получается новое изображение, содержащее разницу между значениями температуры в каждом пикселе для изучаемых дат. Полученные значения делятся на три категории: без изменений, незначительные изменения при разнице температур 1–3 °С и значительные изменения при перепаде температур более 4 °С.

Результаты и их обсуждение. Апробация методики исследования изменений городского ландшафта по температуре земной поверхности позволила создать тематическую карту разницы температур (рис.3). На карте выявлены участки со значительным изменением температуры (за два года температура изменилась на 4 °С и более).

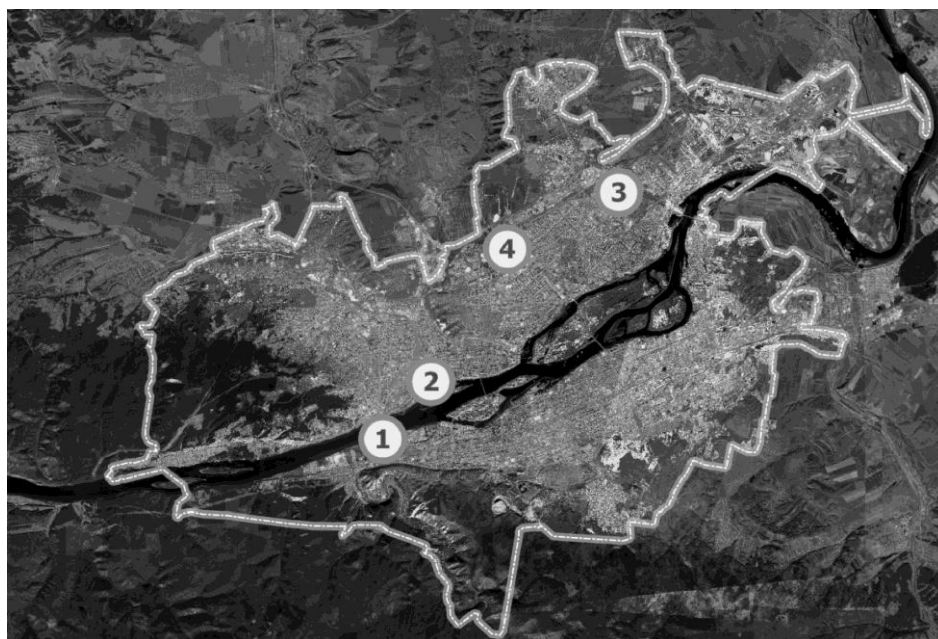


Рис.3. Карта анализа результатов: 1–4 – участки реорганизации городского ландшафта
Fig.3. Points for analysis results: 1–4 – urban landscape reorganization areas

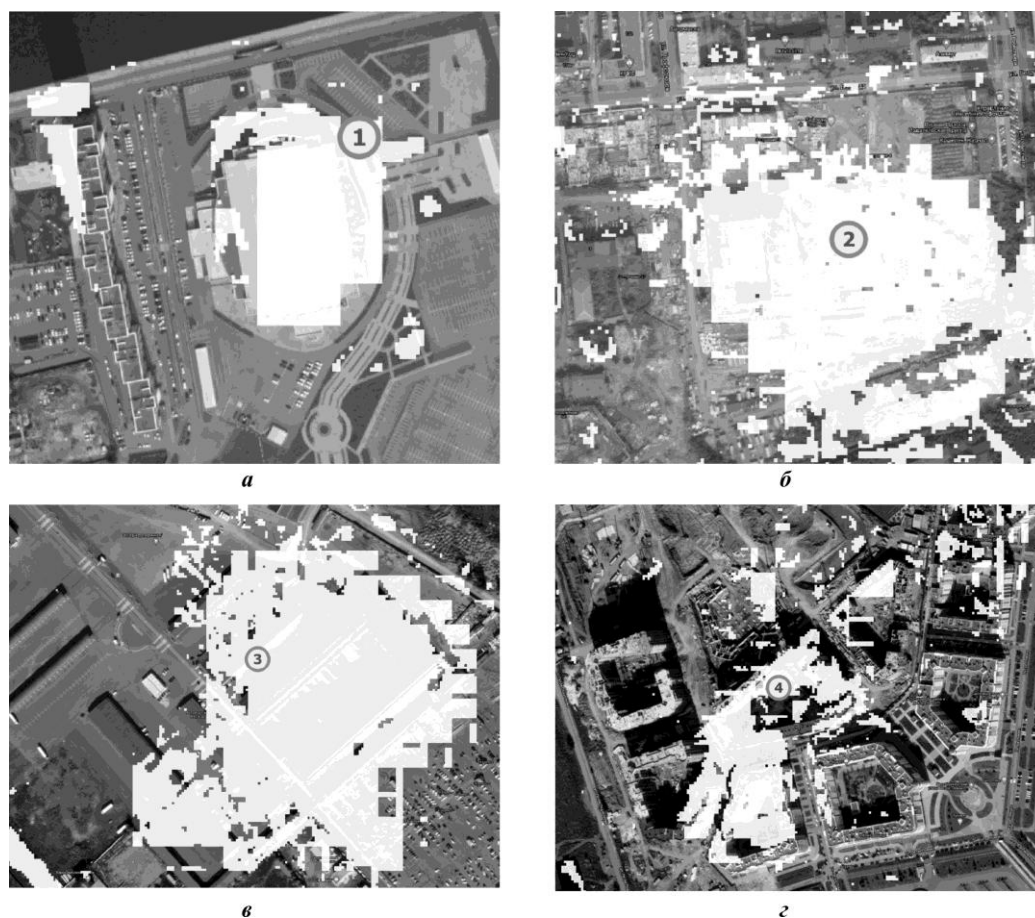


Рис.4. Температурные изменения городской территории (а–г) в результате строительства новых объектов (1–4)
Fig.4. Temperature changes in urban areas (a–d) as a result of the construction of new facilities (1–4)

На рис.4,а показано изменение температуры поверхности в результате строительства спортивного сооружения. В 2016 г. строительство объекта только начиналось. Выделены участки с повышением температуры поверхности, которые совпадают с контуром объекта, построенного в 2018 г. На рис.4,б представлена территория бывшего завода, где в 2017 г. был снесен производственный корпус для строительства жилых зданий. На рис.4,в приведен пример градостроительства в Советском районе, где вместо бывшего пустыря (2016 г.) построены в 2018 г. склады. На рис.4,г показан новый микрорайон Преображенский, выделены места изменения температуры поверхности, которые соответствуют строящимся новым домам в 2018 г.

Заключение. Высокая степень совпадений значений температуры земной поверхности, полученных разными методами классификации и атмосферной коррекции, свидетельствует о том, что может использоваться любой метод в зависимости от поставленной задачи и территории исследования. Сравнение температуры поверхности Земли, полученной от Landsat-8, с эталонными данными от MODIS показало, что степень корреляции достаточно высока и данные достоверны. Это важно для дальнейших исследований и применения температурных значений, полученных от Landsat-8. Таким образом, эти температурные значения могут применяться для поиска изменений на территории г. Красноярска. В результате получено новое изображение, отображающее разность температур для двух дат исследования (05.09.2016 и 20.09.2018).

При анализе территорий установлено, что максимальное изменение температуры земной поверхности связано с реорганизацией городского ландшафта, в частности строительством новых микрорайонов, торговых центров, а также утратой прежних свойств природного ландшафта (вырубкой лесов, изменением высоты поверхности). Анализ полученного изображения с разностью в 2 года позволяет найти изменения в застройке города и дает возможность оценить их влияние на городской тепловой контур.

Литература

1. *Асмус В.В., Бучнев А.А., Пяткин В.П.* Кластерный анализ данных дистанционного зондирования Земли // *Автометрия*. 2010. Т. 46. № 2. С. 58–66.
2. *Laraby K.G., Schott J.R., Raqueno N.* Developing a confidence metric for the Landsat land surface temperature product // *Proc. SPIE*. 2016. Vol. 9840: Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XXII (17 May 2016). P. 98400C. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2222582>
3. *Wan Z., Zhang Y., Zhang Q., Li Z.-L.* Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature // *International Journal of Remote Sensing*. 2004. Vol. 25 (1). P. 261–274. DOI: <https://doi.org/10.1080/0143116031000116417>
4. MODIS Land-surface temperature algorithm theoretical basis document (LST ATBD). URL: https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod11.pdf (дата обращения: 26.02.2021).
5. *Irons J.R., Rocchio L.* History. From the beginning // *Landsat Science: [Web]* / NASA. 2013. URL: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/history.html> (дата обращения: 26.02.2021).
6. *Fu P., Weng Q.* Consistent land surface temperature data generation from irregularly spaced Landsat imagery // *Rem. Sens. of Env.* 2016. Vol. 184. P. 175–187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.06.019>
7. *Irons J.R., Dwyer J.L., Barsi J.A.* The next Landsat satellite: The Landsat data continuity mission // *Rem. Sens. of Env.* 2012. Vol. 122. P. 11–21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>
8. Satellite imagery gallery // Planet: [Web]. URL: <https://www.planet.com/products/explorer/> (дата обращения: 26.02.2021).
9. *Gosteva A.A., Matuzko A.K., Yakubailik O.E.* Detection of changes in urban environment based on infrared satellite data // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 537. Iss. 6. P. 062051. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/6/062051>
10. *Congedo L.* Semi-automatic classification plugin documentation. Release 6.0.1.1. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>

11. **Зубкова К.И., Куревлева Т.Г., Пермитина Л.И.** Оценка погрешности расчета NDVI при использовании эмпирических методов учета влияния атмосферы // *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*. 2016. Т. 3. № 2. С. 24–30.
12. **Barsi J.A., Schott J.R., Palluconi F.D., Hook S.J.** Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments // *Proc. SPIE*. 2005. Vol. 5882: Earth Observing Systems X (22 August 2005). P. 58820E. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.619990>
13. **Effat H.A., Hassan O.A.K.** Change detection of urban heat islands and some related parameters using multi-temporal Landsat images; a case study for Cairo city, Egypt // *Urban Climate*. 2014. Vol. 10 (1). P. 171–188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.10.011>

Поступила в редакцию 15.03.2021 г.; после доработки 15.03.2021 г.; принята к публикации 14.04.2021 г.

Гостева Анна Александровна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (Россия, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50), AGosteva@icm.krasn.ru

Матузко Александра Константиновна – младший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук (Россия, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50/44), akmatuzko@icm.krasn.ru

Якубайлик Олег Эдуардович – кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (Россия, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50), oleg@icm.krasn.ru

References

1. Asmus V.V., Buchnev A.A., Pyatkin V.P. Cluster analysis of Earth remote sensing data. *Avtometriya = Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2010, vol. 46, no. 2, pp. 58–66. (In Russian).
2. Laraby K.G., Schott J.R., Raqueno N. Developing a confidence metric for the Landsat land surface temperature product. *Proc. SPIE*, vol. 9840, *Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XXII* (17 May 2016), p. 98400C. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2222582>
3. Wan Z., Zhang Y., Zhang Q., Li Z.-L. Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, vol. 25 (1), pp. 261–274. DOI: <https://doi.org/10.1080/0143116031000116417>
4. *MODIS Land-surface temperature algorithm theoretical basis document (LST ATBD)*. Available at: https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod11.pdf (accessed: 26.02.2021).
5. Irons J.R., Rocchio L. History. From the beginning. *Landsat Science*, NASA, 2013. Available at: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/history.html> (accessed: 26.02.2021).
6. Fu P., Weng Q. Consistent land surface temperature data generation from irregularly spaced Landsat imagery. *Rem. Sens. of Env.*, 2016, vol. 184, pp. 175–187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.06.019>
7. Irons J.R., Dwyer J.L., Barsi J.A. The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Rem. Sens. of Env.*, 2012, vol. 122, pp. 11–21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>
8. Satellite imagery gallery. *Planet*. Available at: <https://www.planet.com/products/explorer/> (accessed: 26.02.2021).
9. Gosteva A.A., Matuzko A.K., Yakubailik O.E. Detection of changes in urban environment based on infrared satellite data. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 537, iss. 6, p. 062051. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/6/062051>
10. Congedo L. *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. Release 6.0.1.1. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>
11. Zubkova K.I., Kurevleva T.G., Permitina L.I. Estimation of NDVI calculation error when using empirical methods for atmospheric correction. *Rocket-Space Device Engineering and Information Systems*, 2016, vol. 3, issue 2, pp. 20–25.
12. Barsi J.A., Schott J.R., Palluconi F.D., Hook S.J. Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments. *Proc. SPIE*, vol. 5882, *Earth Observing Systems X* (22 August 2005), pp. 58820E. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.619990>

13. Effat H.A., Hassan O.A.K. Change detection of urban heat islands and some related parameters using multi-temporal Landsat images; a case study for Cairo city, Egypt. *Urban Climate*, 2014, vol. 10 (1), pp. 171–188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.10.011>

Received 15.03.2021; Revised 15.03.2021; Accepted 14.04.2021.

Information about the authors:

Anna A. Gosteva – Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Senior Scientific Researcher, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences» (Russia, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50), AGosteva@icm.krasn.ru

Aleksandra K. Matuzko – Junior Scientific Researcher, Institute of Computational Modelling of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Russia, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/44), akmatuzko@icm.krasn.ru

Oleg E. Yakubailik – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Prof., Leading Researcher, Head of Laboratory, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences» (Russia, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50), oleg@icm.krasn.ru

Вниманию читателей журнала

«Известия высших учебных заведений. Электроника»

Подписку на печатную версию журнала можно оформить:

- по объединенному каталогу «Пресса России» ООО «Агентство «Книга-Сервис» в любом почтовом отделении. Подписной индекс 38934
- по каталогу «Периодические издания. Газеты и журналы» ООО «УП Урал-Пресс». Подписной индекс 38934
- через редакцию - с любого номера и до конца года

**Подписку на электронную версию журнала
можно оформить на сайтах:**

- Научной электронной библиотеки: www.elibrary.ru
- ООО «Агентство «Книга-Сервис»: www.rucont.ru; www.akc.ru;
www.ppressa-rf.ru
- ООО «УП Урал-Пресс»: www.delpress.ru
- ООО «ИВИС»: www.ivis.ru