

УДК: 528.8

DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-318-329

А.А. Гостева<sup>1</sup>, А.К. Матушко<sup>2</sup>, О.Э. Якубайлик<sup>3</sup>

## АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОТЕРИ ДАННЫХ LANDSAT 8–9 COLLECTION 2 LEVEL 2

### АННОТАЦИЯ

Применение тепловых снимков для анализа городских территорий представлено в материалах «ИнтерКарто. ИнтерГИС» на примере г. Красноярска по данным Landsat 8. Новые данные Landsat 8–9 collection 2 level 2 стали доступны в марте 2021 г. Данные были дополнены ценными научными продуктами, такими как параметры атмосферы (спектральный коэффициент пропускания атмосферы, восходящее излучение и нисходящее излучение), значения температуры поверхности Земли, тепловое излучение, маска оценки качества. Детальное изучение данных показало, что на многие исследуемые авторами ранее территории данные не предоставлены в полном объеме. Существует частичная или полная потеря данных в слое коэффициента излучения, и как следствие — потери повторяются в слоях температуры поверхности Земли. Такая же ситуация с потерей данных наблюдается в ряде других крупных российских городов. Сложившаяся ситуация требовала детального изучения документации по описанию алгоритмов Landsat 8–9. Изучив все этапы выполнения алгоритма, авторам удалось восстановить последовательность вычислений, сохранив дополнительные параметры атмосферы. Потерянные данные в канале коэффициента излучения были заменены новым слоем, в котором коэффициенты излучения поверхности были рассчитаны через вегетационный индекс NDVI. В результате авторами проведена апробация работы предложенного алгоритма на территории г. Красноярска. Результатом выполнения алгоритма являются слои со значениями температуры поверхности без потери данных, за исключением сцен с повышенной облачностью. Наблюдается незначительное расхождение значений температуры поверхности при использовании описанного алгоритма и исходных данных за счет применения разных источников для определения коэффициента излучения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Landsat 8–9, температура, ДЗЗ, ГИС LST, тепловые снимки

---

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Академгородок, д. 50, Красноярск, Россия, 660036,  
*e-mail:* [agosteva@icm.krasn.ru](mailto:agosteva@icm.krasn.ru)

<sup>2</sup> Институт вычислительного моделирования СО РАН, Академгородок, д. 50/44, Красноярск, Россия, 660036,  
*e-mail:* [akmatuzko@icm.krasn.ru](mailto:akmatuzko@icm.krasn.ru)

<sup>3</sup> Институт вычислительного моделирования СО РАН, Академгородок, д. 50/44, Красноярск, Россия, 660036,  
*e-mail:* [oleg@icm.krasn.ru](mailto:oleg@icm.krasn.ru)

Anna A. Gosteva<sup>1</sup>, Aleksandra K. Matuzko<sup>2</sup>, Oleg E. Yakubailik<sup>3</sup>

## SURFACE TEMPERATURE ALGORITHM FOR DATA LOSS RECOVERY LANDSAT 8–9 COLLECTION 2 LEVEL 2

### ABSTRACT

The use of thermal images for the analysis of urban areas is presented in Proceedings of InterCarto. InterGIS, on the example of the city of Krasnoyarsk according to Landsat 8 data. New Landsat 8–9 collection 2 level 2 data became available in March 2021. The data has been supplemented with valuable scientific products such as atmospheric parameters (atmospheric spectral transmittance, up-going radiation and down-going radiation), earth surface temperatures, thermal radiation, quality assessment mask. A detailed study of the data showed that for many territories previously studied by the authors, data were not provided in full. There is partial or complete loss of data in the emissivity layer, and as a consequence the loss is repeated in the Earth's surface temperature layers. The same situation with data loss is observed in a number of other large Russian cities. The current situation required a detailed study of the documentation describing the Landsat 8–9 algorithms. Having studied all the stages of the algorithm execution, the authors managed to restore the sequence of calculations, while retaining additional atmospheric parameters. The lost data in the emissivity channel has been replaced with a new layer computed via NDVI. As a result, the authors tested the operation of the proposed algorithm on the territory of the city of Krasnoyarsk. The result of the algorithm execution is layers with surface temperature values without data loss, except for scenes with high cloudiness. There is a slight discrepancy between the surface temperature values when using the described algorithm and initial data, due to the use of different sources to determine the emissivity.

**KEYWORDS:** Landsat 8–9, temperature, remote sensing, LST GIS, thermal images

### ВВЕДЕНИЕ

Наблюдение поверхности Земли позволяет получать информацию об антропогенных и природных объектах, изучать их свойства, наблюдать процесс изменения, соблюдать данные о различных физических свойствах [Campbell, 2011].

Температура поверхности является одной из важнейших климатических характеристик, а также важным параметром физических процессов на поверхности земли в локальном и глобальном масштабах [Гриценко, 2019; 2021]. Несмотря на то, что существует множество публикаций о методах и алгоритмах расчета температуры земной поверхности с использованием данных дистанционного зондирования Земли [Wan, 2004], точное определение показателей остается сложной задачей [Irons, 2013]. Новая коллекция данных Landsat дает новые возможности для определения значений температуры земной поверхности.

Продукты Landsat Collection 2 Surface Temperature (ST) генерируются из нескольких источников входных данных и атмосферных профилей, включая глобальный набор данных NASA об излучательной способности ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and

---

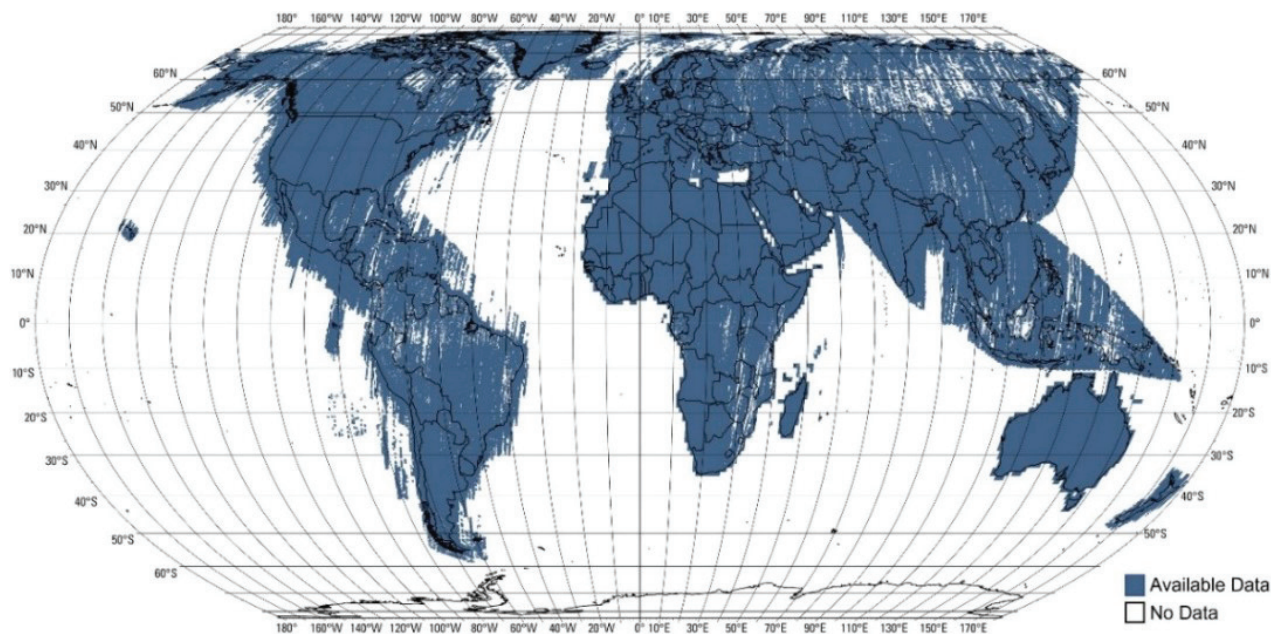
<sup>1</sup> Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center, 50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia, e-mail: [agosteva@icm.krasn.ru](mailto:agosteva@icm.krasn.ru)

<sup>2</sup> Institute of Computational Modelling of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ICM SB RAS), 50/44, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia, e-mail: [akmatuzko@icm.krasn.ru](mailto:akmatuzko@icm.krasn.ru)

<sup>3</sup> Institute of Computational Modelling of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ICM SB RAS), 50/44, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia, e-mail: [oleg@icm.krasn.ru](mailto:oleg@icm.krasn.ru)

Reflection Radiometer) GED (Global Emissivity Dataset). Таким образом пользователь напрямую получает доступ к температуре поверхности Земли.

ASTER GED содержит области с отсутствующими данными о среднем коэффициенте излучения, необходимых для успешного создания продукта ST. Если отсутствует информация ASTER GED, в этих областях будут отсутствовать данные о температуре земной поверхности. Области с отсутствием данных представлены на рисунке 1.



*Рис. 1. Мировое покрытие данными ASTER GED.*

*Электронный ресурс: <https://www.usgs.gov/media/images/aster-ged-emissivity-coverage>  
(дата обращения 01.10.2022)*

*Fig. 1. Worldwide coverage of ASTER GED data.*

*Web resource: <https://www.usgs.gov/media/images/aster-ged-emissivity-coverage>  
(accessed 01.10.2022)*

На рис. 2 приведены примеры отсутствия данных на территории крупных российских городов. В Москве и Новосибирске только некоторые районы остаются без покрытия. Территория Улан-Удэ практически полностью находится в зоне «no data».

Такая же ситуация наблюдается с покрытием данными г. Красноярска. При рассмотрении его территории выявлено, что потеря данных здесь всего 25 % (рис. 3), но в предыдущих работах авторы описывали, что часть этих территорий попадают во внутригородские постоянные острова тепла, которые наблюдаются последние 10 лет [Гостева, 2019].

Сложившаяся ситуация не позволяет в полном объеме использовать значения температуры поверхности из новой коллекции. После анализа новой коллекции данных появилась идея заменить ASTER GED, проведя самостоятельный расчет коэффициента излучения, как это было реализовано на предыдущей коллекции Landsat [Гостева, 2018]. Далее с использованием полученных значений коэффициента излучения и параметров атмосферы, которыми была дополнена новая коллекция данных, рассчитывается температура поверхности на всю исследуемую территорию. Здесь есть два пути развития: пользоваться для вычисления температуры поверхности алгоритмами, описанными авторами ранее [Гостева, 2019], или повторить последовательность определения



температуры поверхности, применяемую поставщиками данных для Landsat 8–9 Collection 2 Level 2, заменив слой коэффициента излучения с отсутствующими значениями на слой с коэффициентами излучения поверхности, полученными применением индекса NDVI.

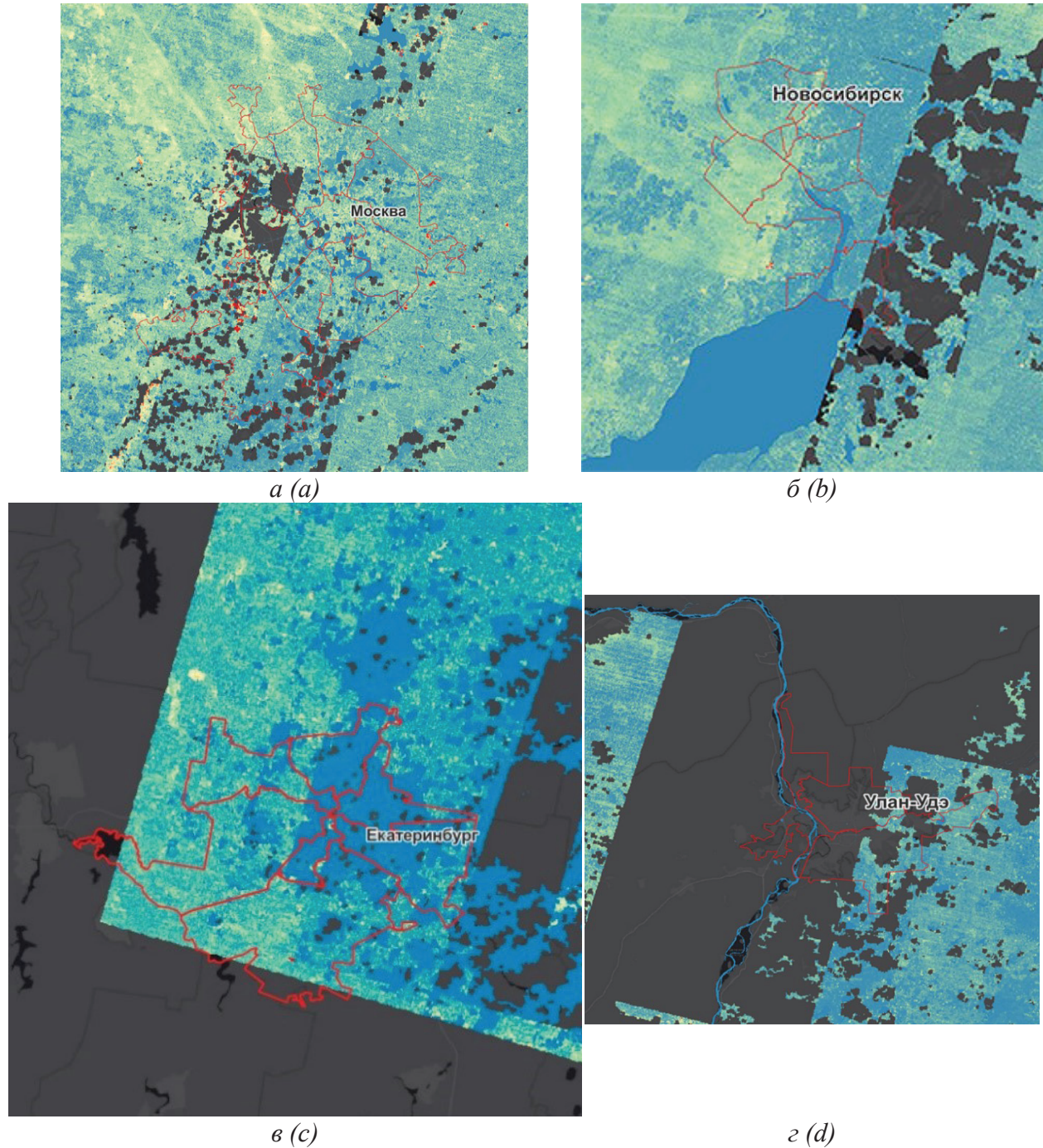


Рис. 2. Температуры поверхности:  
а) Москва; б) Новосибирск; в) Екатеринбург; г) Улан-Удэ  
Fig. 2. Surface temperatures:  
a) Moscow; b) Novosibirsk; c) Yekaterinburg; d) Ulan-Ude

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С марта 2021 г. стали доступны новые уровни обработки Landsat Collection 2 Level 2. Алгоритм вычисления температуры земной поверхности по спутниковым данным Landsat 8–9 описан в документации. Пользователь может получить доступ к значениям температуры, скачивая слой с температурой без дополнительных слоев. В названии файла указана дата снимка, уровень обработки (Level 1 или Level 2) и какие данные содержатся. Например, значения температуры находятся в слое с названием ST\_B10.TIF.

На рис. 3 представлена территория г. Красноярска, данные слоя ST\_B10.TIF Landsat Collection 2 Level 2 на даты 10.07.21, 20.05.20, 07.09.19 переведены в значения °С.

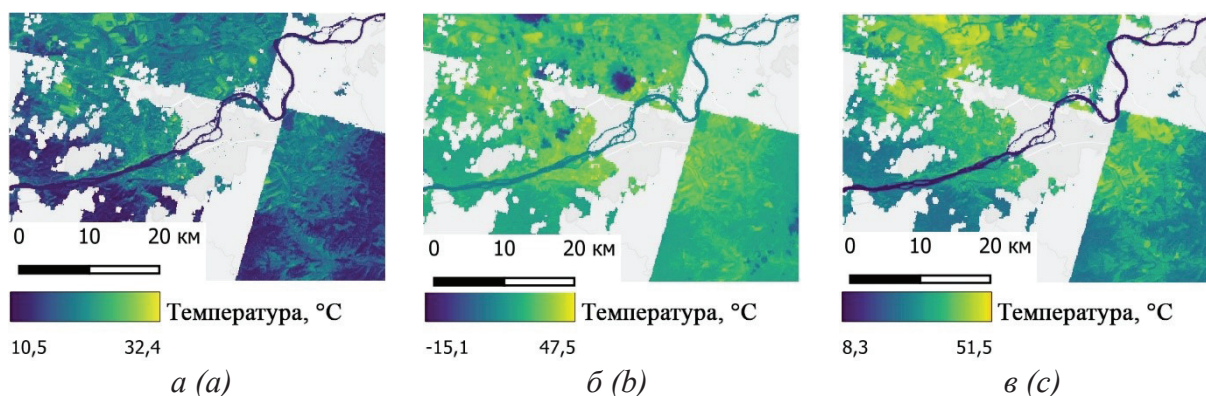


Рис. 3. Значения температуры поверхности: а) 07.09.2019; б) 10.07.2021; в) 20.05.2020  
 Fig. 3. Surface temperature values: a) 07.09.2019; b) 10.07.2021; c) 20.05.2020

Алгоритм определения температуры поверхности описывается несколькими этапами, в результате получаются значения для каждого пикселя Landsat. Для определения этих значений используются внешние источники данных для параметров атмосферы и коэффициента излучения. Используют параметры из наборов данных MERRA-2 и GEOS-5 FP-IT в качестве вспомогательных входных данных. Это глобальные наборы данных, поэтому алгоритм применим во всем мире.

Вычисление атмосферных параметров происходит при использовании MODTRAN — компьютерной программы, разработанной для моделирования атмосферного распространения электромагнитного излучения в спектральном диапазоне от 0,2 до 100 мкм. Это охватывает спектр от среднего ультрафиолета до дальнего инфракрасного диапазона.

Для того чтобы определить вклад атмосферы, влияющей на итоговое значение температуры поверхности, необходимо определить параметры атмосферы. Вычисление атмосферных параметров включает спектральный коэффициент пропускания атмосферы, восходящее излучение и нисходящее излучение, а также создает полосу теплового излучения на основе тепловой полосы Landsat. Вычисление состоит из нескольких шагов.

Первый шаг — это чтение нескольких файлов: файл заголовка точек сетки, чтобы получить количество точек сетки, а также количество строк и столбцов сетки, затем файл с количеством высот и значений высот.

Для этих точек MODTRAN считывается файл высот сетки, и значения помещаются в структуру modtran\_points на отметке 0. Существует короткая версия каждой отметки 0 для имени каталога высот и длинная версия для научных расчетов.

Затем для каждой точки MODTRAN рассчитываются спектральный коэффициент пропускания атмосферы, восходящее и нисходящее излучение. Этот процесс начинается с

файла спектрального отклика датчика, который представляет собой предопределенный файл, содержащий строки с длинами волн и спектральными значениями.

Схематичное описание работы MODTRAN показано на рисунке 4.

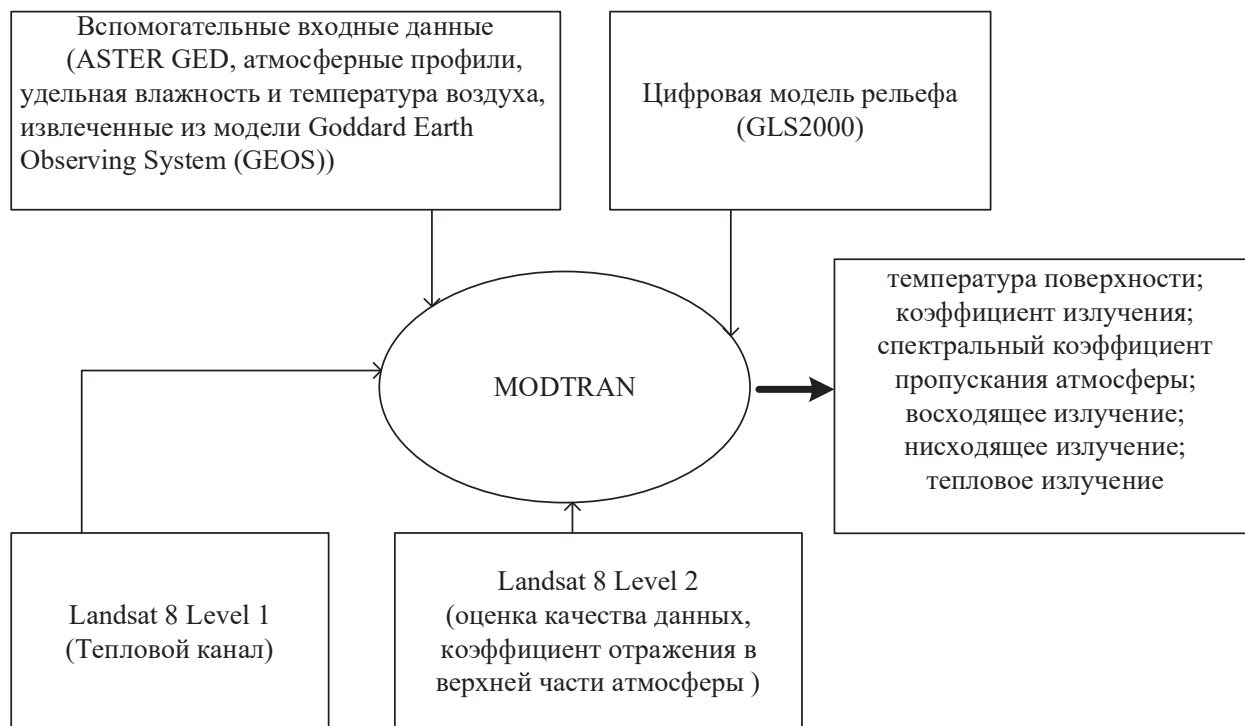


Рис. 4. Схема обработки данных Landsat 8–9 Collection 2 Level 2

Fig. 4. Data processing scheme Landsat 8–9 Collection 2 Level 2

В результате полученные данные доступны для загрузки на сайте агрегатора космических снимков EarthExplorer<sup>1</sup>; для скачивания необходимо выбрать Landsat 8–9 Collection 2 Level 2. В списке файлов представлены слои атмосферных параметров, сформированные по данным MODTRAN (они выделены на рис. 5). Доступны такие данные, как тепловое излучение (ST\_TRAD), восходящее излучение (ST\_URAD), спектральный коэффициент пропускания атмосферы (ST\_ATRAN), нисходящее излучение (ST\_DRAD).

Для того чтобы самостоятельно провести вычисление температуры поверхности, необходимо загрузить все данные с параметрами атмосферы, слой B4 (красный), B5 (ближний инфракрасный) и сопроводительный файл с метаданными. Порядок действий для определения температуры поверхности схематично представлен на рисунке 6.

Для определения температуры поверхности необходимо произвести расчет яркости (L), учитывая такие параметры влияния атмосферы, как тепловое излучение (thermal radiance —  $L_{th}$ ), восходящее излучение (upwelled radiance —  $L_{uw}$ ), спектральный коэффициент пропускания атмосферы (atmospheric Transmittance —  $\tau$ ), нисходящее излучение (downwelled Radiance —  $L_{dw}$ ) (рис. 7).

<sup>1</sup> Сайт для поиска, просмотра и загрузки космических снимков из архивов Геологической службы США. Электронный ресурс: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения 01.04.2023).



LC08\_L2SP\_142021\_20220526\_20220602\_02\_T1\_ST\_ATRAN.TIF  
 Landsat Collection 2 Level-2 Band File

LC08\_L2SP\_142021\_20220526\_20220602\_02\_T1\_ST\_B10.TIF  
 Landsat Collection 2 Level-2 Band File

LC08\_L2SP\_142021\_20220526\_20220602\_02\_T1\_ST\_DRAD.TIF  
 Landsat Collection 2 Level-2 Band File

LC08\_L2SP\_142021\_20220526\_20220602\_02\_T1\_ST\_EMIS.TIF  
 Landsat Collection 2 Level-2 Band File

LC08\_L2SP\_142021\_20220526\_20220602\_02\_T1\_ST\_TRAD.TIF  
 Landsat Collection 2 Level-2 Band File

LC08\_L2SP\_142021\_20220526\_20220602\_02\_T1\_ST\_URAD.TIF  
 Landsat Collection 2 Level-2 Band File

Рис. 5. Структура исходных данных  
 Fig. 5. The structure of the initial data

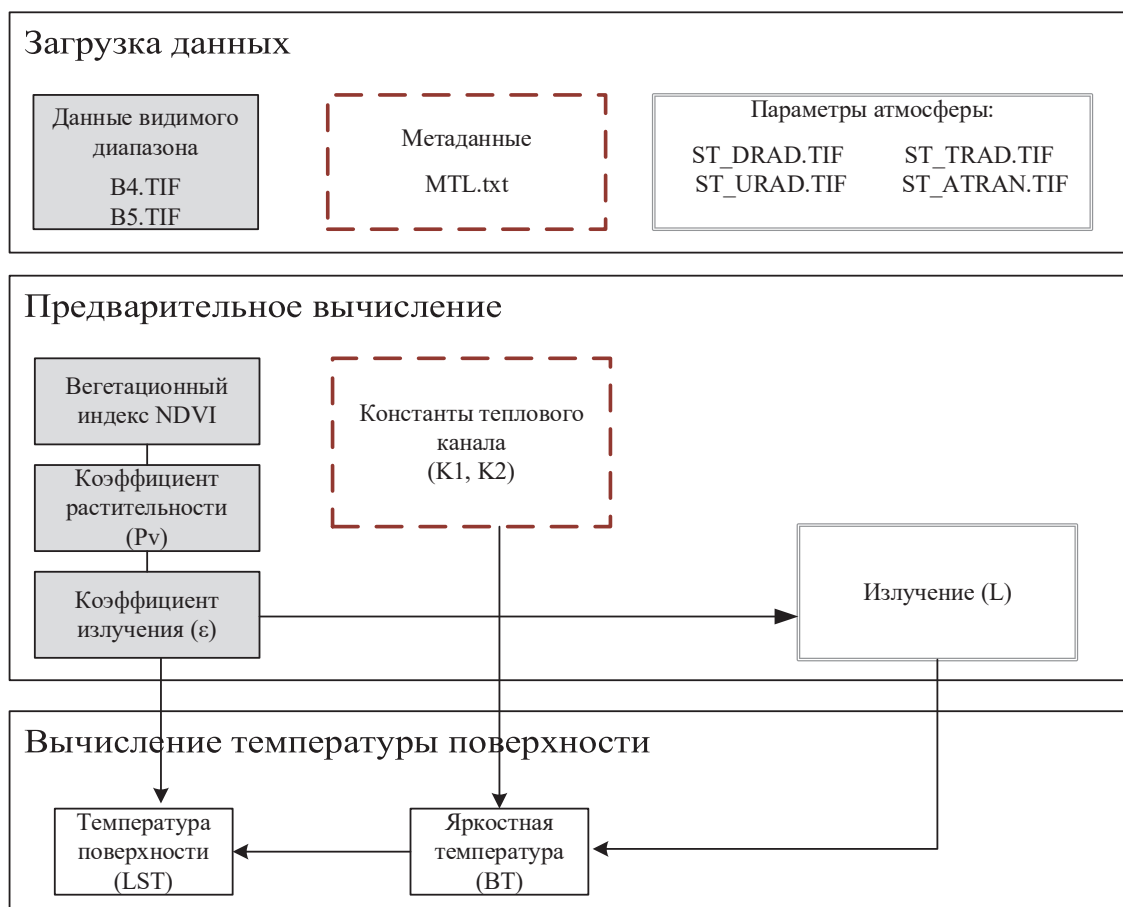


Рис. 6. Схема вычисления температуры поверхности  
 Fig. 6. Scheme for calculating the surface temperature

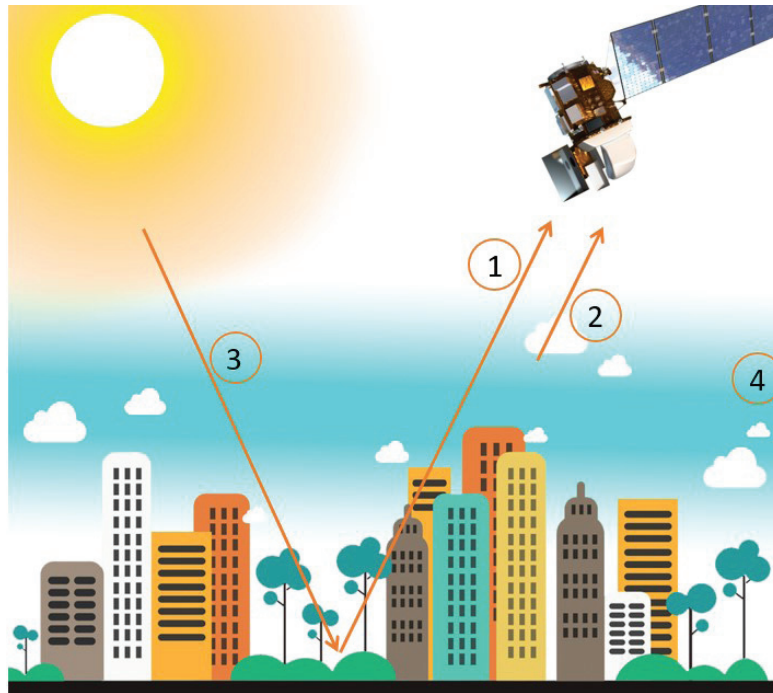


Рис. 7. 1 — тепловое излучение, 2 — восходящее излучение, 3 — нисходящее излучение, 4 — спектральный коэффициент пропускания атмосферы

Fig. 7. 1 — thermal radiance, 2 — upwelled radiance, 3 — downwelled radiance, 4 — atmospheric transmittance

Для вычисления температуры поверхности сначала необходимо произвести вычисление яркости по формуле (1) [Parastatidis, 2017]:

$$L = \frac{L_{th} - L_{uw} - (1 - \varepsilon)L_{dw}\tau}{\tau} \quad (1),$$

где  $\varepsilon$  — коэффициент излучения.

Расчет коэффициента излучения  $\varepsilon$  состоит из 3 шагов. Первый шаг — вычислить NDVI, используя следующее уравнение (2):

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (2),$$

где  $\rho_{NIR}$  — отражение в ближней инфракрасной области спектра,  $\rho_{RED}$  — отражение в красной области спектра [Sobrino, 2004].

Далее рассчитывается формула

$$\varepsilon = 0.004 * P_v + 0.986 \quad (3).$$

Необходимо определить  $P_v$  — коэффициент растительности, используя формулу (4) [Campbell, 2011]:



$$P_v = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (4).$$

Далее вычисляется яркостная температура (BT), которая представляет собой эффективную температуру, видимую спутником при предполагаемом коэффициенте излучения, равном единице (5):

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L} + 1\right)} \quad (5),$$

где  $K_2$  и  $K_1$  — константы теплового преобразования для конкретных полос, которые доступны в файле метаданных.

Последним этапом вычисляется температура поверхности (land surface temperature — LST) по формуле (6):

$$LST = \frac{BT}{1 + \left(\frac{\lambda * BT}{c_2} \ln \varepsilon\right)} - 273,15 \quad (6),$$

где  $T$  — температура спектральной яркости излучения (°C),  
 $\lambda$  — длина волны света,  $\lambda$  для 10-го канала Landsat-8,  
 $c_2 = h * c / k = 1.4388 * 10^{-2} \text{ м К} = 14388 \text{ } \mu\text{м К}$ ,  
 $\varepsilon$  — коэффициент излучения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После анализа результатов вычислений по описанному выше алгоритму проведено сравнение полученных и исходной значений температуры. Для сравнения полученных результатов из значений температуры, вычисленных по новому алгоритму, вычитаем значения, представленные в коллекции 2 Landsat 8–9. Были выбраны 3 даты ☐ 10.07.21, 20.05.20, 07.09.19.

На рассматриваемой территории можно выделить 4 основных типа поверхности: водные объекты, зеленая зона (лес, растительность), сельскохозяйственные поля, строения (жилые, общественные, промышленные). В пределах одной сцены были выбраны 40 точек, по 10 точек на каждый из 4 описанных типов поверхности. На рисунке 8 обозначены точки; выбор их расположения ограничен наличием данных Landsat 8–9 Collection 2 Level 2.

На рисунке 9 представлены результаты сравнения снимков по типу поверхности на исследуемые даты.

Наблюдаемое расхождение между полученными значениями можно объяснить тем, что для получения коэффициента излучения в источнике ASTER GED для всех сцен используются одни значения коэффициента излучения без учета смены сезонов. Для каждой сцены были определены свои значения коэффициентов излучения; учитывая особенности расположения исследуемой территории, авторы настаивают на необходимости этих вычислений.

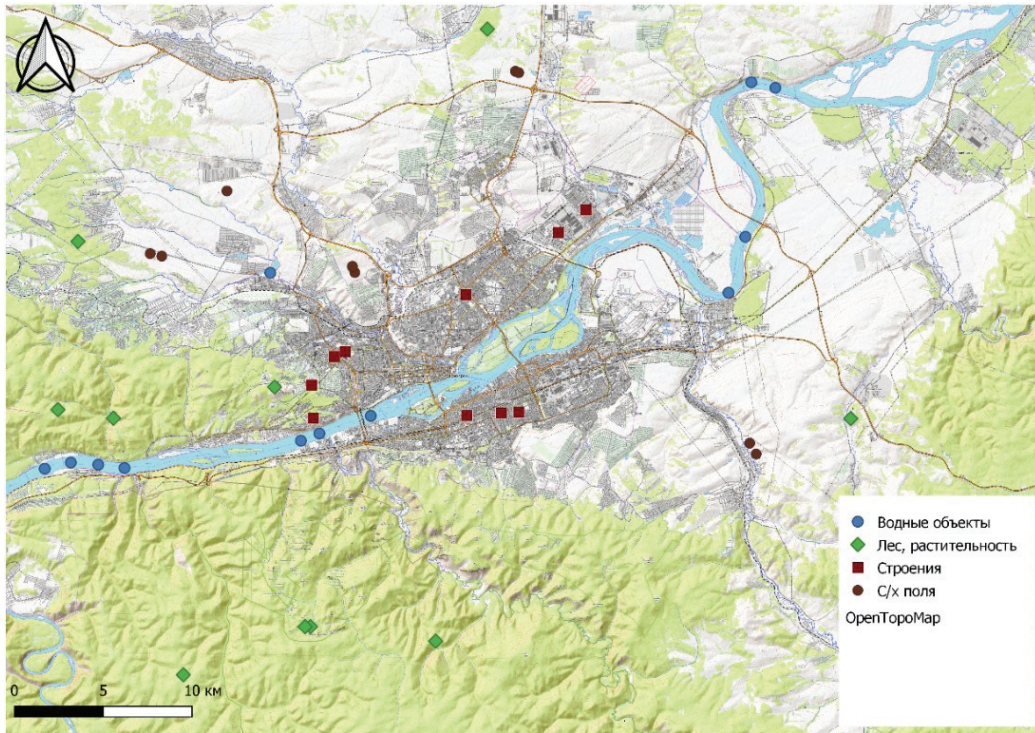


Рис. 8. Точечные объекты, распределенные по 4 типам поверхности  
 Fig. 8. Point objects distributed over 4 types of surface

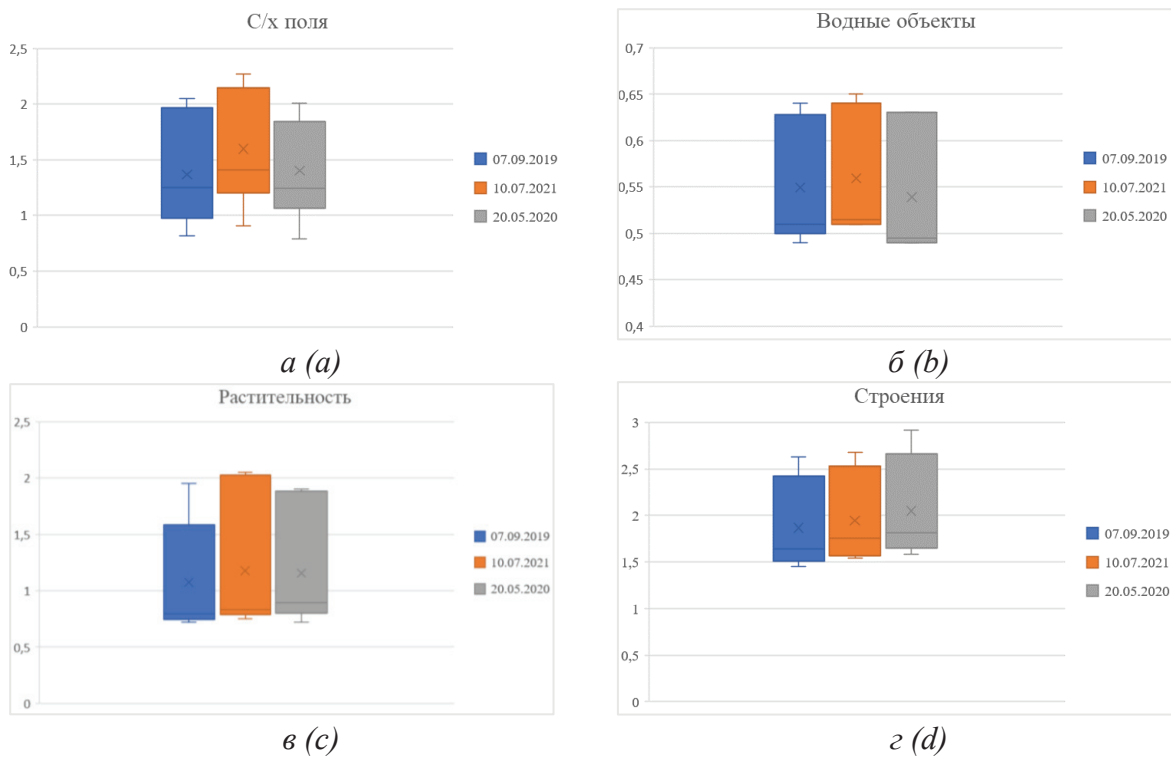


Рис. 9. Результаты сравнения снимков:  
 а) сельскохозяйственные поля; б) водные объекты; в) растительность; г) строения  
 Fig. 9. Comparison results: a) agricultural fields; b) water; c) vegetation; d) buildings

## ВЫВОДЫ

Исследования значений температуры по космическим снимкам Landsat 8–9 Collection 2 Level 2 имеют большую значимость для решения большого количества различных задач. В связи с этим было необходимо восстановить пустые значения, рассчитав коэффициент излучения с использованием нормализованного относительного индекса растительности.

Таким образом, произведя расчет коэффициента излучения и повторив последовательность вычисления, которая предусмотрена производителями Landsat 8–9, были восстановлены потерянные данные и возможность получения значений температуры поверхности. В результате проведенного исследования полученные значения покрывают всю территорию исследования, могут быть автоматизированы и растрированы на всю мировую поверхность.

Полученные значения температуры максимально приближены к значениям температуры представленных Landsat 8–9 Collection 2 Level 2. Это было проверено на 4 разных типах поверхности; максимальное схождение значений определено на водных объектах, а максимальные расхождения — на классе строений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Гостева А.А., Матушко А.К., Якубайлик О.Э.* Дистанционные методы в изучении температуры поверхности земли в городах (на примере г. Красноярск, Россия). ИнтерКарто. ИнтерГИС. Материалы Междунар. конф., 2018. Т. 24. Ч. 2. С. 195–205. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-2-24-195-205.

*Гостева А.А., Матушко А.К., Якубайлик О.Э.* Выявление изменений городской среды на основе спутниковых данных инфракрасного диапазона (на примере Красноярск) ИнтерКарто. ИнтерГИС. Материалы Междунар. конф., 2019. Т. 25. Ч. 2. С. 90–100. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-90-100.

*Грищенко М.Ю., Калитка Л.С.* Изучение сезонной изменчивости теплового поля Краснодара по космическим снимкам со спутника Landsat 8. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Материалы Междунар. конф., 2019. Т. 25. Ч. 2. С. 101–111. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-101-111.

*Грищенко М.Ю., Лучер Д.А., Бочарников М.В.* Оценка возможности дешифрирования растительности по тепловым космическим снимкам на примере Южного Урала и Кузнецкого Алатау. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Материалы Междунар. конф., 2022. Т. 28. Ч. 1. С. 496–507. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-496-507.

*Campbell J.B., Wynne R.H.* Introduction to remote sensing. 5th Edition. New York: The Guilford Press, 2011. 667 p.

*Irons J.R., Loveland T.R.* Eighth Landsat satellite becomes operational. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2013. V. 79. No. 5. P. 398–401.

*Parastatidis D., Mitraka Z., Chrysoulakis N., Abrams M.* Online global land surface temperature estimation from Landsat. Remote Sensing, 2017. V. 9. No. 12. Art. 1208. DOI: 10.3390/rs9121208.

*Sobrino J., Jimenez J.-C., Paolini L.* Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing of Environment, 2004. V. 90. Iss. 4. P. 434–440. DOI: 10.1016/j.rse.2004.02.003.

*Wan Z., Zhang Y., Zhang Q., Li Z.* Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. International Journal of Remote Sensing, 2004. No. 25 (1). P. 261–274. DOI: 10.1080/0143116031000116417.



## REFERENCES

- Campbell J.B., Wynne R.H.* Introduction to remote sensing. 5th Edition. New York: The Guilford Press, 2011. 667 p.
- Gosteva A.A., Matuzko A.K., Yakubailik O.E.* Remote methods in studying the temperature of the earth's surface in cities (on the example of Krasnoyarsk, Russia). InterCarto. InterGIS. Proceedings of the International Conference, 2018. V. 24. Part 2. P. 195–205 (in Russian). DOI: 10.24057/2414-9179-2018-2-24-195-205.
- Gosteva A.A., Matuzko A.K., Yakubailik O.E.* Identification of changes in urban environment on the basis of the satellite data of the infrared range (on the example of Krasnoyarsk). InterCarto. InterGIS. Proceedings of International conference, 2019. V. 25. Part 2. P. 90–100 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-90-100.
- Grishchenko M.Yu., Kalitka L.S.* Study of the seasonal variability of the Krasnodar thermal field based on space images from the Landsat 8 satellite. InterCarto. InterGIS. Proceedings of the International conference, 2019. V. 25. Part 2. P. 101–111 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-101-111.
- Grishchenko M.Yu., Lucher D.A., Bocharnikov M.V.* Estimation of the possibility of interpretation of vegetation on the basis of thermal satellite images on the example of the Southern Urals and Kuznetsk Alatau. InterCarto. InterGIS. Proceedings of the International conference, 2022. V. 28. Part 1. P. 496–507 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-496-507.
- Irons J.R., Loveland T.R.* Eighth Landsat satellite becomes operational. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2013. V. 79. No. 5. P. 398–401.
- Parastatidis D., Mitraka Z., Chrysoulakis N., Abrams M.* Online global land surface temperature estimation from Landsat. Remote Sensing, 2017. V. 9. No. 12:1208. DOI: 10.3390/rs9121208.
- Sobrino J., Jimenez J.-C., Paolini L.* Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing of Environment, 2004. V. 90. Iss. 4. P. 434–440. DOI: 10.1016/j.rse.2004.02.003.
- Wan Z., Zhang Y., Zhang Q., Li Z.* Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. International Journal of Remote Sensing, 2004. No. 25 (1). P. 261–274. DOI: 10.1080/0143116031000116417.
-