

Т. Ф. Газимов^{1,2}, В. В. Чурсин¹, И. В. Кужевская¹*

Температура подстилающей поверхности по данным Landsat 8 в дни со снежным покровом

¹ Национальный исследовательской Томский государственный университет, г. Томск,
Российская Федерация

² Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт,
г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: tf.gazimov@gmail.com

Аннотация. Температура подстилающей поверхности, получаемая в результате обработки данных дистанционного зондирования, представляет собой температуру тонкого слоя между поверхностью и атмосферой. Важной характеристикой для корректного расчета температуры подстилающей поверхности является излучательная способность. Наиболее распространенным методом ее получения является метод, использующий спектральный индекс NDVI. Однако в случае поверхности, которая покрыта снегом, данный метод не подходит. В работе были использованы возможности машинного обучения для классификации типов подстилающей поверхности. Всего было выделено пять типов поверхности: растительность, оголенная почва, водная поверхность, городская застройка и снег. Получены изображения температуры подстилающей поверхности для территории Новосибирского района и его окрестностей за период с 2014 по 2020 год в дни со снежным покровом. Полученные изображения в дальнейшем могут быть использованы для изучения поверхностного острова тепла города Новосибирск.

Ключевые слова: температура подстилающей поверхности, излучательная способность подстилающей поверхности, Landsat 8, классификация типов подстилающей поверхности, машинное обучение, XGBOOST

T. F. Gazimov^{1,2}, V. V. Chursin¹, I. V. Kuzhevskaya¹*

Retrieving land surface temperature over the surface with a snow cover using Landsat 8 data

¹ National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

² Siberian Regional Hydrometeorological Research Institute, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: tf.gazimov@gmail.com

Abstract. Land surface temperature derived from remotely sensed data is the temperature of the thin layer between the surface and the atmosphere. An important feature for a correct estimation of land surface temperature is the emissivity. The most common method of obtaining it is the one using the NDVI spectral index. However, in the case of a surface covered with snow, this method is not suitable. In this work, machine learning capabilities were used to classify the land cover types. A total of five surface types were identified: vegetation, bare soil, water, urban area, and snow. Land surface temperature images were obtained for the area of Novosibirsk region and its surroundings for the period from 2014 to 2020 on days with snow cover. The obtained images can be further used to study the surface urban heat island of the city of Novosibirsk

Keywords: land surface temperature, land surface emissivity, Landsat 8, land cover classification, machine learning, XGBOOST

Введение

Температура подстилающей поверхности или температура поверхности земли (Land Surface Temperature – LST) – это величина, характеризующая интенсивность теплового инфракрасного излучения в слое между подстилающей поверхностью (в качестве которой могут выступать почва, крыши и стены зданий, лес и т.д.) и атмосферой [1, 2]. Для расчета LST также возможно использование информации, поступающей с космических аппаратов (КА), регистрирующие микроволновое излучение, но соответствующие методы менее распространены.

Значения LST могут быть использованы в прикладных целях и используются для расчета эвапотранспирации и влажности почвы, для мониторинга сельскохозяйственных засух и тепловых аномалий, а также для исследований климата (в т.ч. климата городов) [3].

Наиболее популярны у исследователей следующие инструменты, способные измерять уходящее излучение поверхности в инфракрасном диапазоне: TIRS (Landsat 8), MODIS (Terra/Aqua), SLSTR (Sentinel 3). Выбор того или иного КА зависит от исследовательских задач. Так, например, для исследования городского климата и поверхностного городского острова тепла, ввиду своего высокого пространственного разрешения, наиболее полезным является инструмент TIRS (Thermal InfraRed Sensor), установленный на космическом аппарате (КА) Landsat 8.

Согласно [4] методы расчета LST можно разделить на три категории: одноканальные (single-channel), многоканальные (multi-channel) и многоугольные (multi-angle), при условии, что излучательная способность подстилающей поверхности (Land Surface Emissivity – LSE) известна заранее. Если же LSE неизвестна, то методы можно разделить на следующие три типа: метод пошагового поиска (stepwise retrieval), одновременное получение (simultaneous retrieval) LSE и LST с известными параметрами атмосферы и одновременный поиск с неизвестными параметрами атмосферы.

Излучательная способность подстилающей поверхности является важной характеристикой, она оказывает существенное влияние на ошибку при получении температуры подстилающей поверхности. Ошибка 0.015 (1.5%) для LSE эквивалентна примерно ошибке в 1 К в случае материала с температурой 300 К [2].

Распространенным алгоритмом получения излучательной способности подстилающей поверхности является метод, основанный на спектральном индексе NDVI (NDVI based method), который позволяет получить значения LSE для растительности, оголенной почвы и смеси почвы и растительного покрова. Однако для таких поверхностей как снег и лёд данный метод не подходит, и в условиях устойчивого снежного покрова должны использоваться либо дополнительные спектральные индексы, либо другие методы [4].

В качестве альтернативы возможно использование подхода, основанного на классификации типов поверхности (classification-based emissivity method), при котором по итогам процедуры классификации каждому типу поверхности присваивается известное значения LSE [4].

В рамках настоящей работы был проведен расчет температуры подстилающей поверхности по данным космического аппарата Landsat 8 для условий, при которых поверхность покрыта снегом. Также предложен метод классификации типов подстилающей поверхности с использованием машинного обучения и последующим присваиванием значений излучательной способности каждому типу.

Методы и материалы

Для расчета температуры подстилающей поверхности были использованы данные КА Landsat 8 (Level 1, Collection 1) в дни со снежным покровом за период с 2014 по 2020 год. В качестве района исследования была выбрана территория Новосибирского района и его окрестностей.

В качестве теплового инфракрасного канала был использован 10 канал с диапазоном длин волн от 10,6 до 11,2 мкм. Для классификации использовались все каналы, за исключением глубокого синего, панхроматического и коротковолнового инфракрасного, что соответствует 1, 8 и 9 каналу. По результатам оценки важности признаков (feature importance) перечисленные каналы показали наименьшую значимость, поэтому не были использованы при классификации.

Для задачи классификации была использована библиотека машинного обучения XGBOOST [5]. Предложена следующая классификация типов подстилающей поверхности: растительность, оголенная почва, водная поверхность, городская застройка и снег. Обучающая выборка состояла из 15 тысяч значений каждого канала в пикселе, по 3000 для каждого класса. Массив был разделен на обучающую и тестовую выборку в соотношении 70 на 30 % соответственно, с сохранением внутреннего распределения вероятностей каждого класса.

Далее с помощью полученной классификационной модели каждому пикселю присваиваются значения LSE, которые были взяты из библиотеки значений излучательной способности MODIS UCSB [6, 7]. Точность (accuracy) полученной классификационной модели составила 97%.

Расчет LST проводился согласно методу, подробно описанному в [8], с изменением расчета LSE, для расчета которого в работе использовалось значение в пикселе по результатам классификации типов поверхности вместо использования спектрального индекса NDVI. Присваиваемые значения LSE приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значение излучательной способности поверхности для 10 канала Landsat 8 в зависимости от типа поверхности

Тип поверхности				
Городская застройка	Оголенная почва	Растительность	Водная поверхность	Снежный покров
0,962	0,973	0,986	0,993	0,995

Результаты

Для расчета температуры подстилающей поверхности подходят только преимущественно безоблачные снимки. Всего за период с 2014 по 2020 для территории исследования доступно 10 дней со снежным покровом. В качестве примера было получено изображение для 10 марта 2017 года. Данный случай был выбран по причине сложности при классификации из-за начала снеготаяния и частичного схода снежного покрова хорошо прогреваемых участков. Ниже представлены примеры полученных изображений LSE и LST для (рис. 1, 2).

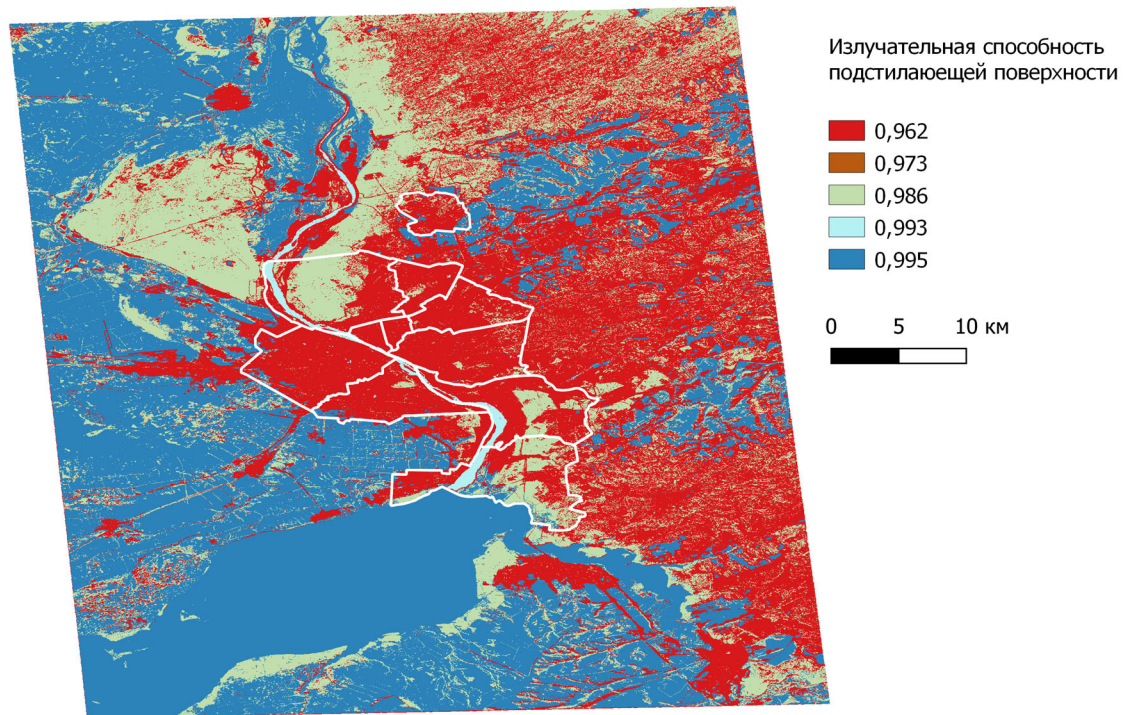


Рис. 1. Пространственное распределение LSE по данным КА Landsat 8 за 10 марта 2017 г.

Визуальная оценка полученного изображения (рис. 1) пространственного распределения LSE показывает, что присваивание значений проводится в основном корректно. Поверхность, покрытая снегом, идентифицируется правильно и пикселям присваивается значения излучательной способности снега. Однако городская застройка по результатам классификации представлена излишне и не согласуется с фактическим распределением.

Анализ рис. 2, показывает, что полученные значения LST для территории Новосибирского района близки к реальному распределению. Так, например, поверхности, покрытой снегом, соответствуют температуры ниже 0°C . Река Обь большую часть зимы остается незамерзающей из-за перемешивания воды вследствие работы ОбьГЭС, поэтому температуры близкие к 0°C также можно назвать досто-

верными. Областями с высокими значениями LST являются промышленные объекты и имеют температуры поверхности либо близкие к 0°C , либо выше. Наибольшим значениям LST соответствуют областям вокруг очистных сооружений рядом с поселком Кудряшовский и предприятия «Искитимцемент» с максимальными значениями $1,97^{\circ}$ и $9,13^{\circ}\text{C}$ соответственно.

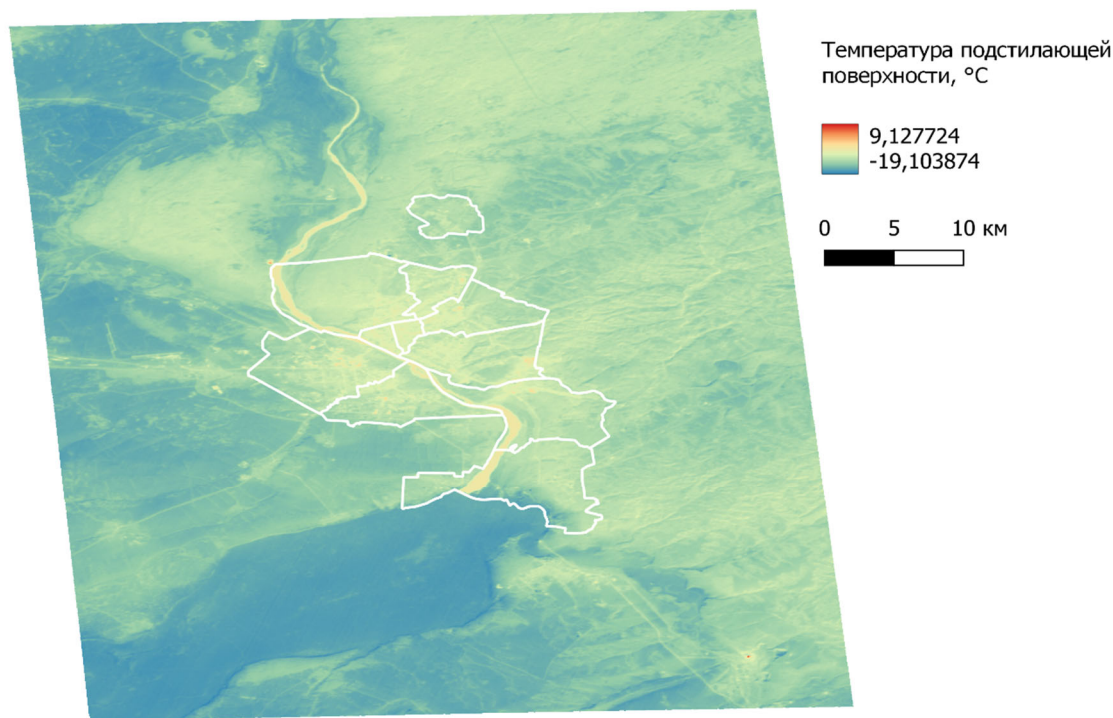


Рис. 2. Пространственное распределение LST по данным КА Landsat 8 за 10 марта 2017 г.

Для верификации полученных значений температуры подстилающей поверхности не подходят фактические наблюдения температуры поверхности почвы, проводимые на метеостанциях сети Росгидромета. Наиболее корректным способом является использование радиометров, измеряющих тепловое инфракрасное излучение и при этом установленные на земле [2]. Так, например, в качестве таких измерений могут использоваться данные со станций сети проекта SURFRAD, находящиеся на территории США [9, 10]. На территории России подобных измерений в свободном доступе обнаружено не было и на данном этапе исследования верификация не проводилась.

Заключение

Температура подстилающей поверхности является важной климатической характеристикой теплового и водного баланса земли и широко используется в исследованиях наук о Земле. Наиболее важным параметром при расчете LST является информация об излучательной способности подстилающей поверхности. В данной работе для определения LSE был предложен метод, основанный на классификации типов поверхности, при котором классификация проводится с помо-

стью машинного обучения. Примененный метод классификации показывает удовлетворительный результат и позволяет получить корректные значения LST. Точность полученной модели классификации типов поверхности составила 97%. Однако несмотря на высокую точность были выявлены ошибки при классификации и требуются дальнейшие исследования. Повысить качество модели возможно путем увеличения обучающей выборки и с помощью добавления дополнительных типов поверхности.

В результате обработки данных космического аппарата Landsat 8 было получено 10 изображений температуры подстилающей поверхности для территории Новосибирского района и его окрестностей. Высоким значениям LST для 10 марта 2017 соответствуют область вокруг очистных сооружений рядом с поселком Кудряшовский и предприятия «Искитимцемент» с максимальными значениями 1,97° и 9,13°C соответственно. Впоследствии полученные изображения LST будут использованы при оценке интенсивности поверхностного острова тепла города Новосибирск.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Khan A., Chatterjee S., Wang Y. Urban Heat Island Modeling for Tropical Climates. – Elsevier, 2020. – 298 p.
2. Hulley G., Ghent D. Taking the temperature of the Earth: steps towards integrated understanding of variability and change. – Elsevier, 2019. – 246 p.
3. Li Z. L. et al. Satellite remote sensing of global land surface temperature: definition, methods, products, and applications. *Reviews of Geophysics*, 2023, 61(1), e2022RG000777.
4. Li Z. L. et al. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote sensing of environment*, 2013, 131, 14-37.
5. Chen T., Guestrin C. Xgboost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining*, 2016, 785-794.
6. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer) UCSB Emissivity Library. [Электронный ресурс] URL: <https://ices.eri.ucsb.edu/modis/EMIS/html/em.html> (дата обращения 03.04.2023)
7. Li B. et al. Estimating soil moisture with Landsat data and its application in extracting the spatial distribution of winter flooded paddies. *Remote Sensing*, 2016, 8(1), 38.
8. Газимов Т. Ф., Кужевская И. В. Оценка летнего поверхностного городского острова тепла города Новосибирск по данным Landsat 8 // *Географический вестник*. – 2021. – №. 4 (59). – С. 84-98.
9. Hulley G. C. et al. Land surface temperature. *Taking the Temperature of the Earth*. Elsevier, 2019, 57-127.
10. SURFRAD (Surface Radiation Budget) Network. [Электронный ресурс] URL: <https://gml.noaa.gov/grad/surfrad/> (дата обращения 06.04.2023)

© Т. Ф. Газимов, В. В. Чурсин, И. В. Кужевская, 2023