

## СПУТНИКОВАЯ ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**В. В. Ольгомец**

кафедра геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики  
Белорусского государственного университета,  
г. Минск, [leraolgomec@gmail.com](mailto:leraolgomec@gmail.com)

**Т. В. Шлендер<sup>1</sup>, А. Е. Яротов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> кафедра общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета

<sup>2</sup> кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и образовательных технологий факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета

В работе рассмотрено понятие «остров тепла» и причины его формирования, связанные с антропогенными преобразованиями земной поверхности. Изучены возможности измерения температуры поверхности, в том числе спутниковыми методами. Описана технология получения данных о поверхностной температуре на основе снимков MODIS с помощью облачной платформы для геопространственного анализа данных – Google Earth Engine. Данные MODIS имеют высокое временное разрешение, их использование для выбранной тематики уникально, поскольку в Беларуси малоизучено. Полученные изображения были улучшены в приложении ArcMap ArcGIS путём проведения интерполяции. В работе приведён пример составленной картосхемы со средней температурой поверхности января за 2001-2022 гг. Определены районы с наиболее высоким показателем, проанализированы возможные причины, повлиявшие на сложившуюся ситуацию.

**Ключевые слова:** температура поверхности; MODIS; остров тепла; городские территории; ArcMap.

Территория любого города состоит из отличающихся участков (промышленные зоны, жилые кварталы, парки и прочее), которые дают разный вклад в общее потепление [3]. Термин «остров тепла» (ОТ) имеет отношение к любой территории, участку территории, объекту, характеризующемуся более высокой, в сравнении с окружающей местностью, температурой земной поверхности или воздуха [1]. Феномен городского острова тепла проявляется в повышении температур городской территории по сравнению с территорией вне города.

Основными причинами повышенных температур в городе являются антропогенные преобразования земной поверхности. Они проявляются в плотной застройке городской среды, покрытии естественной поверхности материалами, активно поглощающими тепловое излучение, а также сокращении площадей, занятых зелеными насаждениями, что ведет к изменениям в термических свойствах земной поверхности и понижает суммарное испарение. Такие материалы, как

бетон и асфальт существенно отличаются по своим термическим свойствам и поверхностным излучательным свойствам от свойств окружающих природных территорий [2].

Формирование острова тепла связано также с особенностями геометрии земной поверхности на территории города. Высокие здания имеют большую площадь поверхности для отражения и поглощения солнечного излучения, что увеличивает интенсивность нагрева городских территорий. Это явление носит название «эффект городских каньонов». Кроме этого, в городе происходит блокирование ветров, что приводит к снижению интенсивности конвективного охлаждения. Автомобили, промышленные предприятия и другие источники также вносят свой вклад в формирование избыточного тепла. Высокий уровень загрязнения городских территорий в свою очередь может усилить эффект ОТ, так как многие виды загрязнителей изменяют радиационные свойства атмосферы. При росте урбанизированных центров происходит изменение всё больших территорий, растёт и средняя температура поверхности в их пределах [2].

На раннем этапе изучения ОТ делался акцент на наземных метеорологических наблюдениях, уделяя особое внимание сравнительному анализу полученных данных. Однако после проведения стационарных измерений необходимо убедиться, что аномалия ОТ постоянна во времени и ослабевает на удалении от города, что невозможно сделать на основе экспериментальных измерений по причине их недостаточного пространственного и временного охвата. Для решения этой проблемы можно использовать данные спутникового зондирования о температуре земной поверхности.

Цель исследования: выявление особенностей изменения поверхностной температуры городских территорий Республики Беларусь спутниковыми методами.

Актуальность заключается в нарастающей значимости технологии дистанционного зондирования в исследованиях температуры/ микроклимата при малом использовании данных методов.

Из-за ограничений условий изображения существующие продукты дистанционного зондирования имеют противоречие между временным разрешением и пространственным разрешением [7]. Один набор данных не может одновременно удовлетворить запросы пространственно-временного мониторинга температуры поверхности Земли и особенности прикладных исследований [4]. Например, полоса теплового инфракрасного датчика Landsat 8 имеет пространственное разрешение 100 м и может быть передискретизирована до 30 м для согласования с мультиспектральными полосами. В то же время он имеет длительный период между полётами и сильно зависит от погоды [5].

Напротив, спектрорадиометр MODIS с разрешением 1 км может получать изображения четыре раза в день. Для работы был рассмотрен вариант получения снимков MODIS.

MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer – сканирующий спектрорадиометр среднего разрешения) – это гиперспектральная система на борту спутника Terra. 36 спектральных зон MODIS охватывают диапазон с длинами волн от 0,4 до 14,4 мкм. Съёмка в двух зонах (620-670 и 841-876 нм) ведётся с разрешением 250 м, в пяти зонах видимого и ближнего инфракрасного диапазона с разрешением 500 м, а в остальных (диапазон от 0,4 до 14,4 мкм) – 1000 м.

Следующей задачей является поиск оптимальной платформы для работы со снимками MODIS. Google Earth Engine – это облачная платформа для геопространственного анализа данных в планетарных масштабах. Она позволяет использовать огромные вычислительные мощности компании Google для изучения самых разнообразных проблем: потерь лесов, засухи, стихийных бедствий, изменения климата и др. Это интегрированная платформа, предназначенная для расширения возможностей не только ученых, но и более широкой аудитории, не имеющей технических возможностей, необходимых для использования традиционных инструментов обработки больших данных или крупномасштабных ресурсов облачных вычислений.

Для использования Earth Engine нужно иметь аккаунт Google, после чего пользователь может запросить доступ к платформе на странице создания учётной записи Earth Engine. Прежде чем приступить к работе, необходимо дождаться одобрения аккаунта. После открытия главной страницы («редактор кода») отображается карта мира, окно для написания сценария (программного кода), а также поле с загруженными данными и поле, где видно выполненные задачи (например, полученные снимки) (рисунок 1).

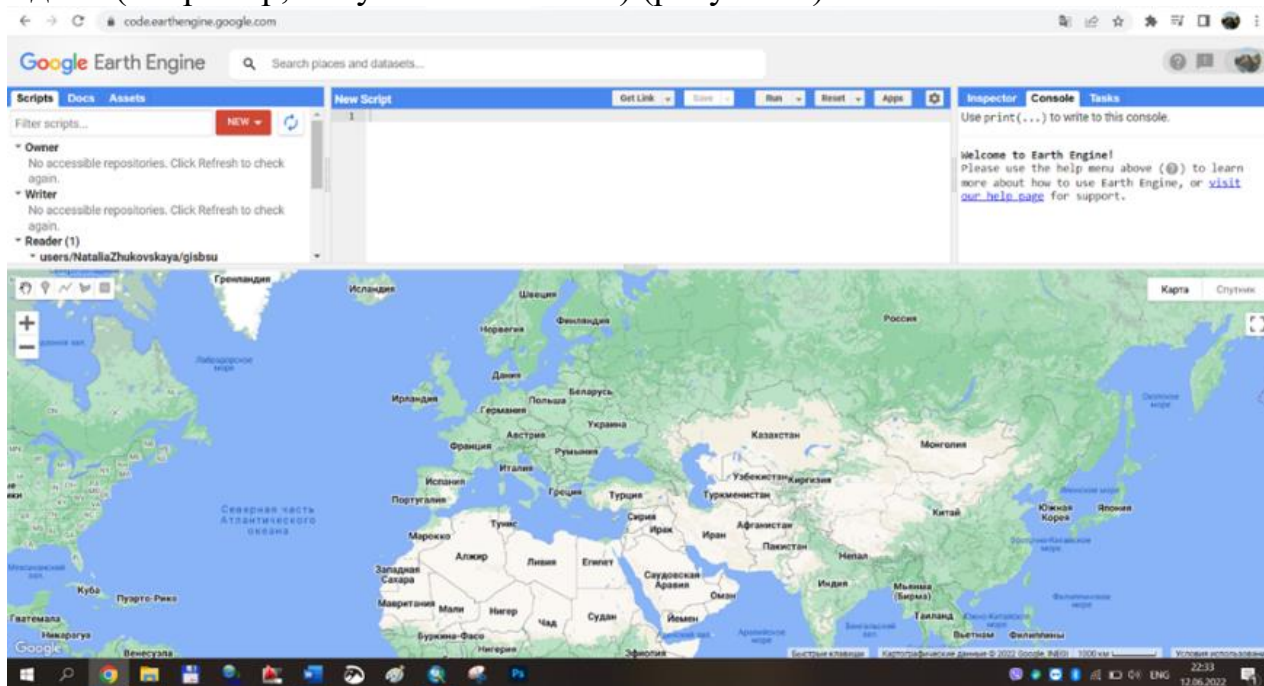


Рис. 1. Общий вид платформы Google Earth Engine

Карта (*Map*) – объект, на котором данные располагаются слоями (*layer*). Сюда отображаются данные, полученные в результате запуска написанного сценария. Преимущество получения снимков с помощью выбранной платформы в том, что они требуют минимальной дальнейшей обработки в сторонних программах. Благодаря написанию кода, ещё до получения снимка задаются необходимые параметры: ключевой показатель для обработки, разрешение изображения, координаты исходного полигона, даты, способ экспорта и др. Сценарий был разработан кафедрой почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики БГУ.

Для получения карты определённой территории, отображающей температуру поверхности, использовалась команда `landSurfaceTemperature`. В качестве первого полигона был выбран квадрат, в границах которого расположен город Минск, площадью около 320 км<sup>2</sup>, а также полигон, включающий, помимо столичного города, пригородные территории.

Для создания первого изображения в окно набора кода вводились координаты четырёх точек – углов полигона (широта и долгота). А также выбран временной период получения снимка – усреднённый показатель за 21 год: с 2001 г. по 2022 г.

Запуск сценария производится с помощью кнопки *Run*. После успешного выполнения, карта приобретёт вид с цветовой гаммой от синего до красного, что коррелирует с общепринятой шкалой температур поверхности Земли. Таким образом, получены данные для всего мира. Однако благодаря определению искомого участка, экспорт снимка будет производиться строго в выставленных координатах. Для экспорта изображения необходимо перейти на вкладку *Tasks* и запустить код повторно. После данного процесса, полученные снимки доступны для скачивания. Платформа предлагает для данной операции два формата: GeoTIFF и TF\_record\_image, из которых наиболее известный и удобный для дальнейшего использования – GeoTIFF.

Полученное изображение в формате GeoTIFF по умолчанию является чёрно-белым. Преобразования производились в приложении ArcMap ArcGIS. Для символизации выбран метод *Классификация*. Создано 10 классов и выбрана цветовая схема от зелёного цвета до красного в порядке увеличения показателя. Полученное изображение распределения температур для города Минска представлено на рисунке 2.

При скачивании снимков MODIS результат отображается в нестандартных для температуры значениях. Показатели температуры LST были пересчитаны в градусы по Цельсию с помощью *Калькулятора растра*. Для этого использовалась формула «Исходный снимок \* 0.02 – 273.15».

Изображение имеет низкое качество и плохо детализировано, что связано с низким пространственным разрешением у MODIS (1000 м). Чтобы представление стало более сглаженным, была проведена интерполяция. Для этого

применялись инструменты *ArcToolBox*. В первую очередь растр был преобразован в точки, по которому далее была проведена интерполяция. В качестве метода выбран *Топо в растр* как наиболее удачный. Количество классов в символизации уменьшено до 7 с разбежкой температур от  $-10,07$  до  $-15,39^{\circ}\text{C}$ , цветовая схема изменена на цвета, соответствующие отрицательным температурам.

На следующем этапе полученное изображение было сопоставлено с границей г. Минска, составлена легенда условных обозначений.

На основе полученной картосхемы (рисунок 3) можно сделать выводы о распределении температур в границах города Минска. Наиболее высокие температуры поверхности наблюдаются в промышленных районах (Заводском районе (в частности, микрорайон Шабаны); на границе Ленинского, Партизанского и Заводского районов). Общеизвестно, что именно производственные предприятия из-за особенностей технологического процесса оказывают наибольшее влияние на повышение температуры, на данной территории примером является МТЗ.

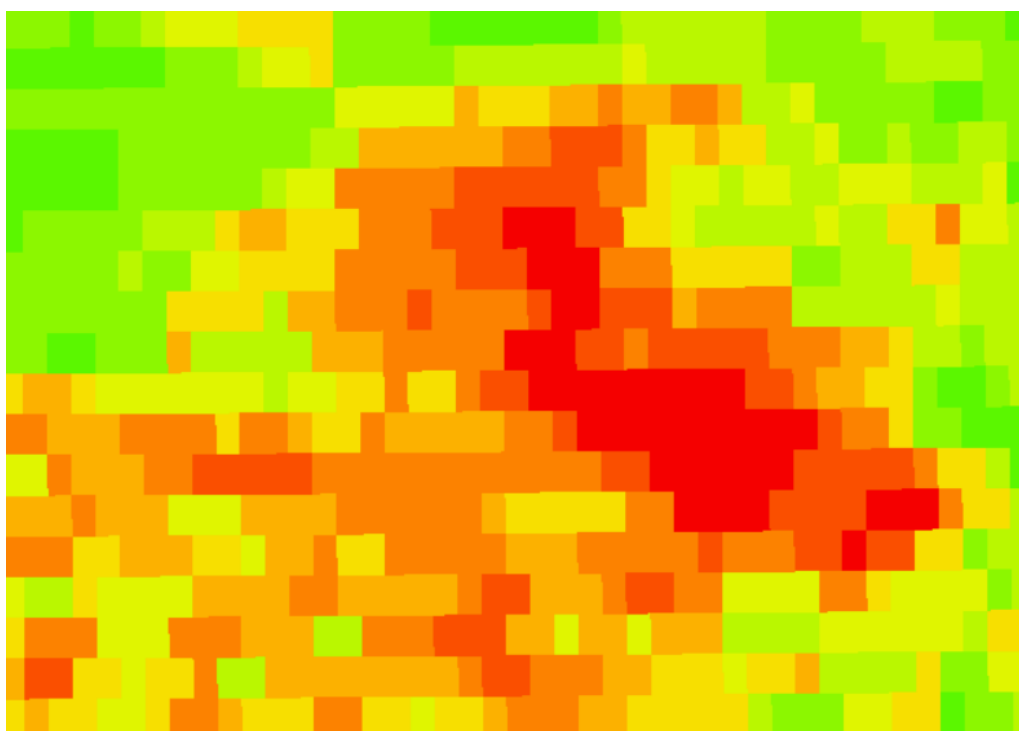


Рис. 2. Распределение температуры поверхности г. Минска по данным MODIS

Чётко прослеживается увеличение температуры с северо-запада на юго-восток, что, помимо наличия крупных предприятий, объясняется плотной высокоэтажной застройкой (преимущественно центральная часть г. Минска, Ленинский район, северные части Московского и Октябрьского районов). Кроме того, в центральной части столицы плотная автомобильно-дорожная сеть и большие потоки движения, характеризующиеся большим количеством выбросов в атмосферу, что также вызывает повышение температуры.

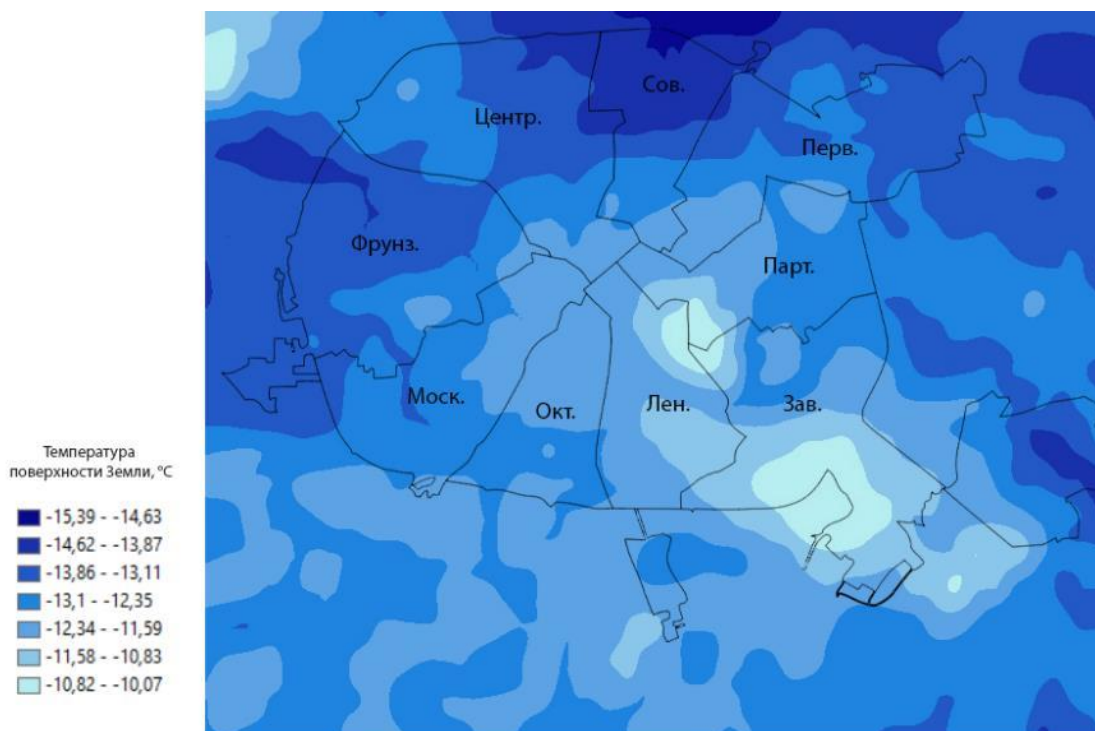


Рис. 3. Картограмма распределения температуры поверхности г. Минска в январе (за период 2001-2022 гг.)

На севере столицы в пределах Центрального и Советского районов наблюдается значительное снижение температуры, поскольку здесь расположены крупные рекреационные зоны (вдхр. Дрозды, вдхр. Цнянское, прилегающие территории, а также пахотные земли).

Данный алгоритм был применён для построения картограмм по другим месяцам и областным центрам Беларуси. Таким образом, спутниковые методы являются простым и быстрым способом получения данных о поверхностной температуре. Снимки MODIS имеют низкое пространственное разрешение, но посредством возможностей ArcGIS изображения могут быть улучшены для восприятия и позволяют сделать выводы о расположении островов тепла в разрезе городов. Однако наиболее эффективным будет изучение температуры посредством объединения данных дистанционного зондирования из нескольких источников на основе их соответствующих преимуществ (например, снимки с Landsat 8, имеющих высокое пространственное разрешение и MODIS, преимущество которого – высокое временное разрешение). Описанная методика позволит в дальнейшем выделить зоны комфортности для проживания, что может поспособствовать формированию цен на рынке недвижимости.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Балдина, Е. А. Изучение городского острова тепла на примере Москвы / Е. А. Балдина, М.Ю. Грищенко, Ю.В. Федоркова // [Электронный ресурс]. – Лаборатория аэрокосмических методов, Географический факультет МГУ – Режим доступа:

[http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat\\_img/files/3/start.htm](http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat_img/files/3/start.htm) – Дата доступа: 03.06.2022

2. Балдина, Е. А. Исследование городских территорий по тепловым снимкам / Е. А. Балдина, М. Ю. Грищенко, Ю. В. Федоркова // [Электронный ресурс]. – Лаборатория аэрокосмических методов, Географический факультет МГУ – Режим доступа: [http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat\\_img/files/2/urbanizirovannye\\_territorii.htm](http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat_img/files/2/urbanizirovannye_territorii.htm). Дата доступа: 03.06.2022

3. Салькова, А. Ученые выяснили, откуда в городах берутся «острова тепла» / А. Салькова // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.gazeta.ru/science/news/2021/12/21/n\\_17043139.shtml](https://www.gazeta.ru/science/news/2021/12/21/n_17043139.shtml). – Дата доступа: 10.02.2022

Т.В. Шлендер, Е.А. Прокопчик, Г.Д. Бурченко, Е.А. Чумаков, Н.В. Жуковская. Городской остров тепла г. Минска и г. Могилева по данным спутника Landsat -8. Журнал География. №6, Изд. “Адукацыя і выхаванне”, Минск, стр.3-14, 2021

4. Ha, W.; Gowda, P.H.; Howell, T.A. A review of downscaling methods for remote sensing-based irrigation management: Part I. *Irrig. Sci.* 2013, 31, 831–850. [Google Scholar]

5. Quan, J.; Zhan, W.; Chen, Y.; Liu, W. Downscaling remotely sensed land surface temperatures: A comparison of typical methods. *Yaogan Xuebao J. Remote Sens.* 2013, 17, 361–387. [Google Scholar].

6. Tsimafei Schlender, Yhor Prakopchyk, Natalia Zhukovskaya, Alexey Yarotau, Matiushevskaya Katsiaryna and Heorhiy Burchanka. (2021) Land Surface Temperature of Minsk city according to Landsat-8 satellite data. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series.* Vol.2, Issue 1 p.15-25.

7. Wang R. Downscale MODIS Land Surface Temperature Based on Three Different Models to Analyze Surface Urban Heat Island: A Case Study of Hangzhou / R. Wang, W. Gao, W. Peng. // [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/13/2134/htm>. – Date of access: 10.10.2022.