

DOI:10.17308/978-5-9273-3692-0-2023-275-278

**ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ И НАЗЕМНОЙ ИНФРАКРАСНОЙ СЪЕМКИ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ТЕРРИТОРИИ
(НА ПРИМЕРЕ Г. СПАССК-РЯЗАНСКОГО И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ)****THE USE OF SPACE AND GROUND-BASED INFRARED IMAGES
TO STUDY THE THERMAL DIFFERENTIATION OF THE TERRITORY
(ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF SPASSK - RYAZANSKY AND ITS ENVIRONS)****Кочуров Б.И.¹, Литвиненко В.В.²**Kochurov B.I.¹, Litvinenko V.V.²

e-mail: camertonmagazin@mail.ru

¹Институт географии РАН, Москва, Россия²Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия¹Institute of Geography RAS, Moscow, Russia²Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russia

Аннотация. В работе анализируется опыт авторов по дифференциации территории на основе температуры земной поверхности г. Спасск-Рязанского и ближайших окрестностей (Рязанская область, РФ), с использованием космической и наземной инфракрасной съемки и последующей точечной верификацией полученных данных контактными измерениями. Представлены карты температуры поверхности земли в 2020 и 2023 годах на основе обработки в ГИС спутниковых снимков Landsat, сравнивается точность измерения температуры различных типов участков местности на основе космической и наземной съемки.

Abstract. The paper analyzes the authors' experience in differentiating the territory based on the temperature of the Earth's surface of the city of Spassk-Ryazansky and the immediate surroundings (Ryazan region, Russia), using space and ground infrared images and subsequent point verification of the data obtained by contact measurements. The maps of the earth's surface temperature in 2020 and 2023 based on the processing of Landsat satellite images in GIS are presented, the accuracy of measuring the temperature of various types of terrain areas based on space and ground surveys is compared.

Ключевые слова: температура поверхности Земли, тепловое излучение Земли, Спасск-Рязанский, инфракрасные изображения, дистанционное зондирование Земли, тепловизор, контактные измерения.

Keywords: Earth surface temperature, Earth thermal radiation, Spassk-Ryazansky, infrared images, remote sensing of the Earth, thermal imager, contact measurements.

Неравномерный нагрев поверхности земли, играет существенную роль всех компонентов географической оболочки. Особенно важное значение тепловые характеристики оказывают на развитие биосферы. Цель работы - провести изучение возможности дифференциации территории на основе пространственного распределения температуры поверхности с использованием открытых данных ДЗЗ, сравнить полученные результаты с наземными измерениями температуры поверхности контактными и бесконтактными (тепловизионными) способами. Для изучения, была выбрана территория г. Спасск-Рязанский и ближайших окрестностей, площадью 50 км². Выбор связан с разнообразными природными условиями, (как природными, так и антропогенными) на сравнительно небольшой территории, пересечённым рельефом и сравнительно большой относительной амплитудой высот (около 50 метров), наличием крупных водных объектов (р. Ока и устье Притока Спасский), а также хорошей транспортной доступностью. Помимо этого, были выделены два района для наземных тепловизионных и контактных измерений температуры поверхности, общей площадью 1,6 км² (рис. 1).

В качестве исходных данных ДЗЗ были использованы снимки космических аппаратов (далее КА) Landsat 8 и 9 размещенные в открытом доступе на сайте Геологической службы США [2], использован спектральный канал (B10), регистрирующий отраженное длинноволновое инфракрасное излучение в диапазоне длины волн электромагнитного спектра 10,30 – 11,30 микрометров (10300-11300 нанометров). Пространственное разрешение канала составляет 100 метров на пиксель. Временная повторность съемки территории, с учетом работы двух КА - 8 дней. Известно, что существенным препятствием для использования данных космической съемки в инфракрасном (в т.ч. тепловом) и видимом спектрах является облачность, что особенно (в силу высокой повторяемости) заметно в осенне-зимний и ранневесенний периоды. Для сравнения, нами были выбраны снимки 2020 и 2023 годов на период 09-10 апреля. Выбор 2020 года связан с наличием малооблачных снимков на близкую дату к 10.04.2023, близкой температурой приземного слоя воздуха [3], а также существенным отличием по уровню и срокам весеннему половодью. 2020 год характерен низким запасом воды в снежном покрове к концу зимнего периода, раннем сходе снежного покрова и как следствие, низким прохождением половодья. Снимки обрабатывались в открытой геоинформационной программе «QGIS» с использованием алгоритмов, опубликованных на сайте [1], а также с использованием дополнительного модуля программы QGIS «RS&GIS», (авторы Prathamesh Barane, G.S. Dwarakish), в последствии на основе обработанных изображений были рассчитаны изотермы с шагом в пять градусов (рис. 2).

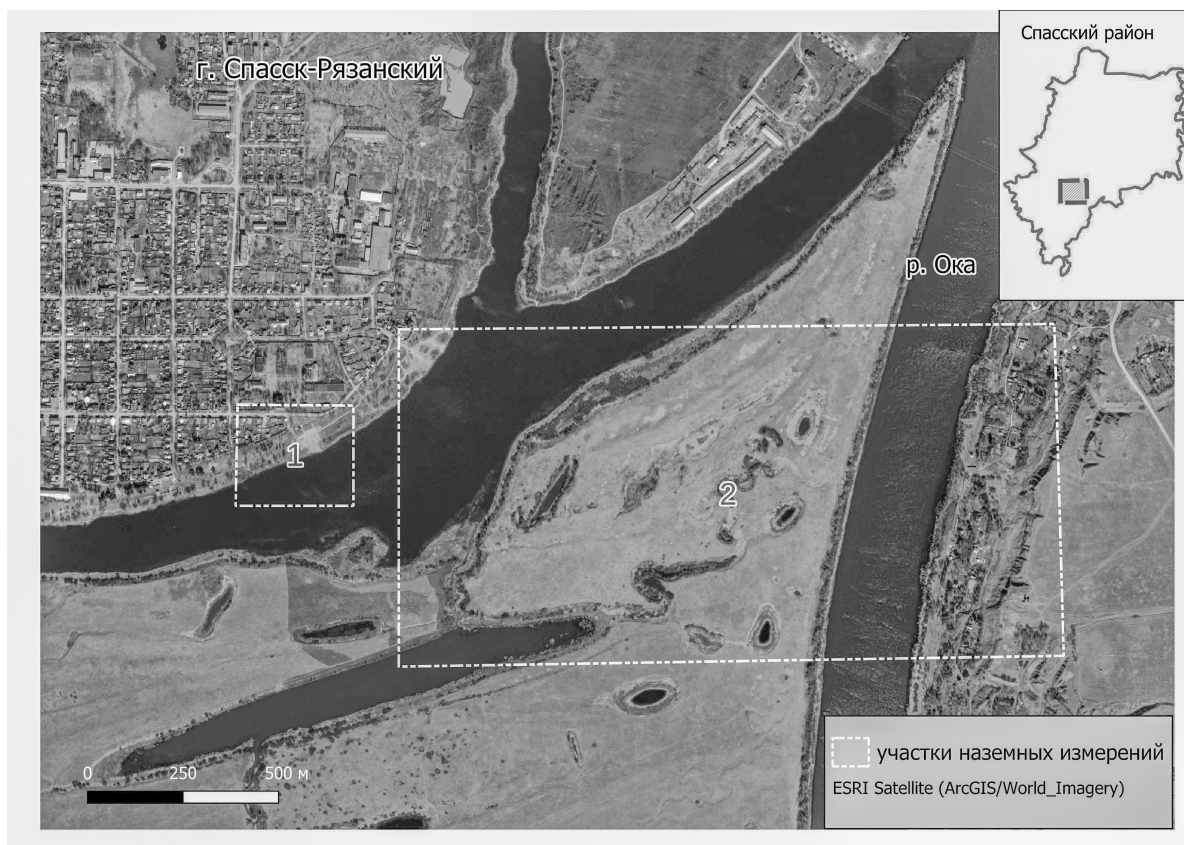


Рис. 1. Изображение территории из космоса и расположение участков наземных измерений температуры поверхности, внутри изучаемого района.

Карты-схемы тепловой дифференциации территории для двух лет, приведены на рисунке 2. Наибольший прогрев зафиксирован для плоских возвышенных участков побережья Оки, а также для участков овражно-балочной сети со склонами широтной ориентации, очевидно, в первую очередь части оврагов, где есть протяженные склоны южной, юго-восточной и юго-западной экспозиции. Отчетливо выделяется повышенными температурами территория г. Спасск-Рязанский на левом берегу Оки, в виду высокого влияния антропогенных и урбандо-ландшафтных факторов: больших площадей искусственных покрытий (крыши домов асфальт и бетонная тротуарная плитка), отдельных тепловыделяющих производств, также наличие в городе и в окрестностях относительно крупных участков непокрытых древесно-кустарниковой растительностью территорий без искусственного покрытия (сельскохозяйственные поля, промышленные территории, городские площади). Заметное влияние на прогрев территории оказывает площадь водной поверхности, так в 2020 году в силу очень слабого весеннего половодья прогрев сухих пойменных участков достигал высоких значений для начала апреля +15-20 градусов и выше.

В апреле 2023 года, авторами были проведены наземная инфракрасная съемка и точечные измерения температуры поверхности. Работы проводились в двух контрольных участках (рис. 1) с использованием ручного тепловизора, регистрирующего отраженное длинноволновое инфракрасное излучение в диапазоне длины волн электромагнитного спектра 8 – 14 микрометров (8000-14000 нанометров) и контактных электронных термометров. На рисунках 3 и 4 представлены тепловые изображения прибора, с использованием цветовой шкалы температуры (Б), а также фотографии изучаемых территорий. Выбор именно этих участков связан с пересеченным рельефом местности, наличием водных объектов, различным видовым составом и вегетационным состоянием травянистых растений, включением незадернованных участков почвы.

В таблице, приведены сравнительные результаты измерений температуры поверхности на двух контрольных участках, на основе обработки спутниковых снимков, и анализа наземных инфракрасных панорамных и направленных изображений поверхности, выполненных с использованием ручного тепловизора, с последующей верификацией результатов измерений контактным способом. Температура приземного слоя воздуха днем, 10 апреля 2023 года, приведена на основе данных двух ближайших метеостанций, расположенных в населенных пунктах Шилово (номер метеостанции 27736) и Старожилово (номер 27734) [3]. В целом, сравнению точности тепловой космической съемки и алгоритму дешифровки данных ДЗЗ посвящено достаточно много работ, например [4]. В этой работе, авторы рассматривают точность космической и наземной инфракрасной съемки между собою и в сравнении с контактными измерениями.

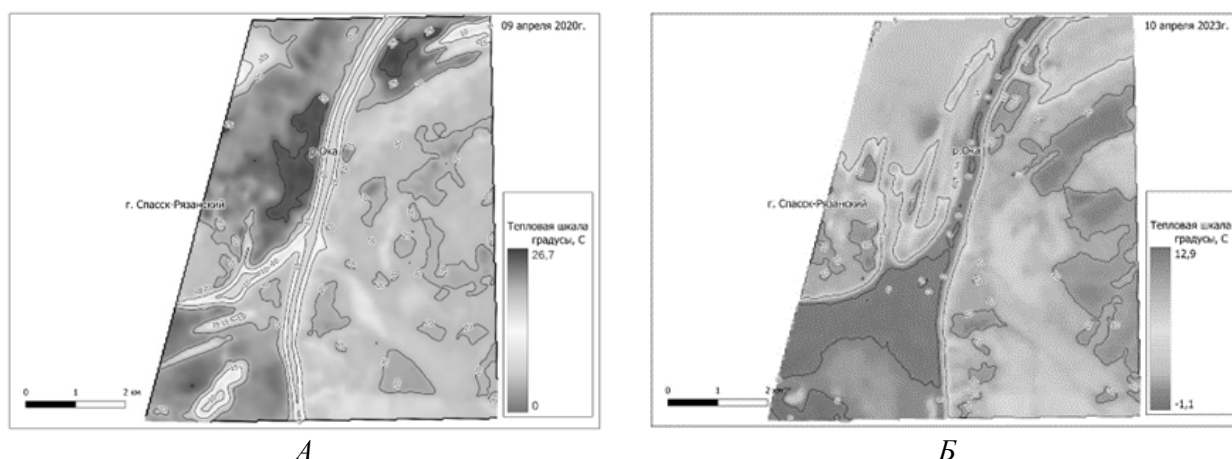


Рис. 2. Температура поверхности изучаемого района на основе спутниковой съемки. 09 апреля 2020 года (А) и 10 апреля 2023 года (Б). Изотермы проведены через 5 градусов. Основа – обработанные в ГИС снимки КА Landsat 8 (А) и Landsat 9 (Б), 10 спектральный канал

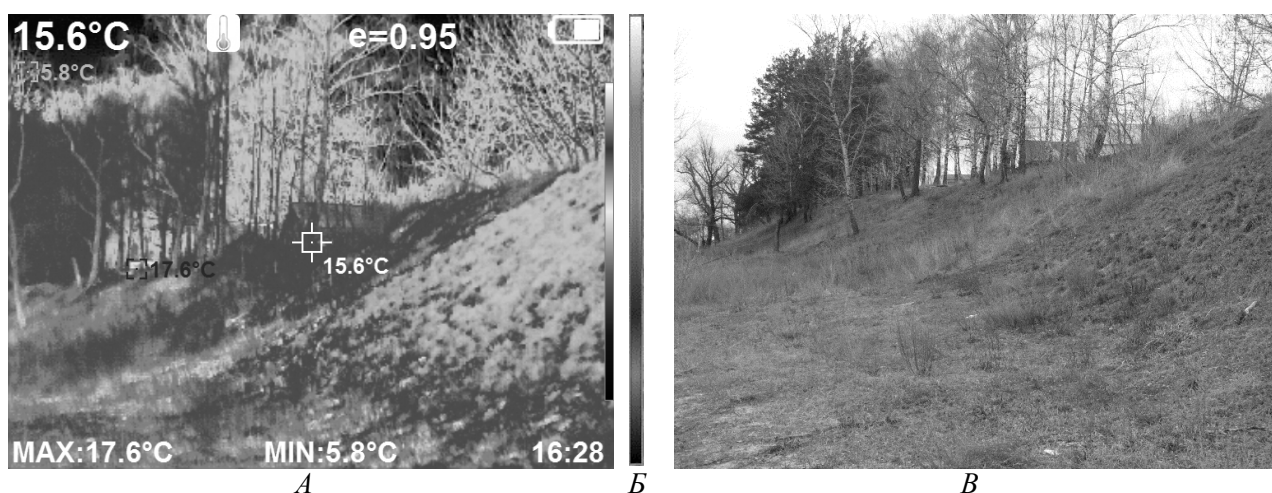


Рис. 3. Южный склон г. Спасск-Рязанский (участок 1, см. рис.1.). Наземные снимки: тепловизионный (А), тепловая шкала (градусы Цельсия (Б)), фотография территории (В). 04 апреля 2023 года

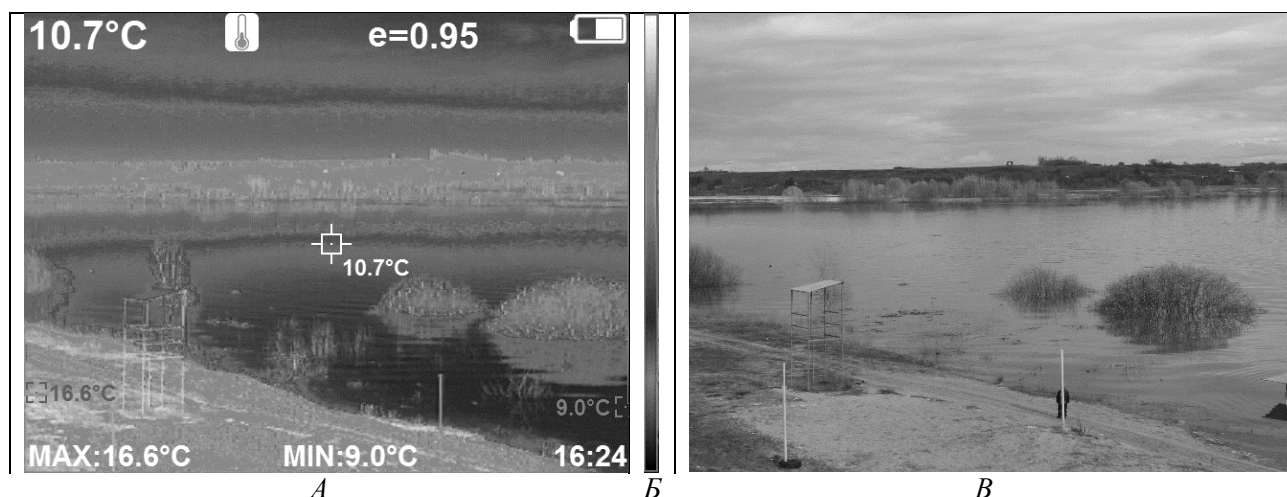


Рис. 4. Панорама на пойму р. Ока, пляж и правый берег реки, вид от г. Спасск-Рязанский (участок 2, см. рис.1.). Наземные снимки: тепловизионный (А), тепловая шкала (градусы Цельсия (Б)), фотография территории (В). 04 апреля 2023 года

Как видно из таблицы, параметры температуры, полученные по спутниковым снимкам, ниже на 5-8 градусов по сравнению с контактными измерениями, а в случае водных объектов разница может достигать 10 градусов. По мнению авторов, на точность результатов измерений оказывает влияние

большое количество факторов, среди которых, влияние атмосферы, рельефа, общая генерализация и усреднение температуры поверхности в силу пространственного разрешения снимков, погрешности измерений сенсоров спутника и несовершенство используемых методик перерасчета интенсивности теплового излучения Земли в градусы Цельсия. Помимо этого, отдельную сложность представляют измерения по спутниковым снимкам температуры склонов с высокой степенью крутизны.

Таблица. Сравнительные данные о температуре поверхности, по двум участкам на основе обработанных тепловых каналов спутниковых снимков Landsat и наземной тепловизионной съемки с верификацией контактными способами измерений

n/n	Изучаемые территории	Температура воздуха 10 апреля 2023 года, по данным двух ближайших метеостанций	Температура поверхности на основе ДЗЗ, градусов, С	Температура поверхности на основе наземной ИК съемки, °С	Контактные верификационные измерения поверхности почвы и воды, градусов, С
1	Южный склон г. Спасск-Рязанский (участок 1)	14,0-15,5 градусов	9,0-10,0 -ровные участки водоразделов; 8,0-9,5, склоны.	16,0-18,8 ровные участки водоразделов; 14,7 склон с зеленой травой; 15,3-17,7 склон с сухой травой	16-18,8 ровные участки водоразделов; 6,8-18,0 склон и бровка с зеленой травой; 19,2 склон и бровка с сухой травой.
2	Панорама на пойму р. Ока, пляж и правый берег реки, вид от г. Спасск-Рязанский (участок 2)		-0,3-(+1,8), водная поверхность; 5,0-9,0, пляж и склон правого берега; 9,0-12,0 – ровные участки водоразделов.	8,7-9,5 поверхность воды; 14,7-17,7 (пляж и склон правого берега Оки)	11,0 вода у берега; 14,9 пляж.

Наземные измерения позволяют значительно повысить детализацию тепловой дифференциации территорий так, по спутниковым снимкам территория участка 1 выглядит как однородная, однако наземные измерения показывают, что это не так (рис. 3, 4). Как показывает опыт, точность наземной инфракрасной съемки значительно выше и при соблюдении методик измерений, вплотную приближаются к точности контактных приборов.

Выводы.

1. В силу пространственного разрешения использование космических данных для тепловой дифференциации территорий без наземных измерений, эффективно до уровня урочищ и местности.

2. Наземные измерения с использованием тепловизоров и/или калиброванных ИК термометров позволяют повысить точность и детализацию тепловой дифференциации территории до уровня подурочищ и фаций. Дополнительную эффективность, повышение точности и качества измерений, дает включение воздушной тепловизионной съемки отдельных участков местности с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

3. Для наземной съемки, необходима калибровка приборов с учетом реальных метеорологических и иных условий изучаемой территории. Помимо этого, в отдельных точках (в первую очередь, со сложным природным разнообразием) необходима верификация данных на основе контактных измерений температуры.

4. Для повышения качества использования данных ДЗЗ, важно дальнейшее совершенствование методики обработки тепловых спутниковых снимков.

Литература

1. Esri CIS | Блоги «Космический термометр» <https://blogs.esri-cis.com/2014/08/15/remote-sensing-raster-calculator/>, дата обращения 15.03.2023г.
2. Сайт Геологической службы США <https://earthexplorer.usgs.gov>, дата обращения 12.04.2023г.
3. (ООО) "Расписание Погоды" метеоархив https://rp5.ru/Погода_в_мире, дата обращения 15.04.2023г.
4. Грищенко М.Ю., Михайлюкова П.Г., Сопоставление наземных и космических данных для исследования пространственной дифференциации теплового поля природной территории (на примере острова Кунашир, Большая Курильская гряда) // Геодезия и картография. – 2022. – № 3. – С. 35–43. DOI: 10.22389/0016-7126-2022-981-3-35-43