



Оценка изменения внутригодовой температуры земной поверхности Макажойской котловины (Чеченская Республика) по данным дистанционного зондирования Земли

Р.Х. Бекмурзаева¹✉, А.В. Комиссаров²

¹ Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, Грозный, Россия

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
Новосибирск, Россия

✉ raya.bek@mail.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Бекмурзаева Р.Х., Комиссаров А.В. Оценка изменения внутригодовой температуры земной поверхности Макажойской котловины (Чеченская Республика) по данным дистанционного зондирования Земли // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 78–86. DOI:10.30533/GiA-2025-055.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА температура воздуха, температура земной поверхности, дистанционное зондирование, тепловой канал, Макажойская котловина

АННОТАЦИЯ В статье приводится оценка изменения внутригодовой температуры земной поверхности (ТЗП) в пределах Макажойской котловины (Чеченская Республика) на основе данных тепловых каналов спутника Landsat. В Макажойской котловине располагается карбоновый полигон Чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова, где отрабатываются технологии регенеративного животноводства, что требует получения разной информации, в том числе об изменении теплового поля и термического режима территории. При отсутствии систематических данных, характеризующих традиционные климатические параметры (прежде всего температуру воздуха), представление о пространственно-временных изменениях теплового режима позволяют получить данные дистанционного зондирования Земли, в частности снимки Landsat. Обработка снимков осуществляется посредством геоинформационной системы, в результате чего создаются растровые изображения, отражающие ТЗП на момент съемки. Снимки на соответствующие даты дают возможность определить изменение ТЗП по исследуемой территории за разные промежутки времени. Безоблачные снимки за 2023–2025 годы позволили оценить изменения внутригодовой ТЗП в пределах Макажойской котловины. В условиях сложного горного рельефа на тепловое поле в холодное время года большее влияние оказывают экспозиционные факторы, тогда как в теплое — высотные.

1 Введение

Одним из важных физических параметров, влияющих как на природные ландшафты, так и на возможности их освоения и использования, является температура — характеристика теплового состояния тела, т. е. кинетическая энергия его молекулярных движений. Географические исследования опираются на температуру воздуха у земной поверхности, измеряемую на метеорологических станциях термометром на высоте 2 м над поверхностью почвы. Температура воздуха постоянно изменяется, для нее характерен суточный и годовой ход, а также непериодические изменения, связанные с адвекцией воздушных масс. Наряду с температурой воздуха в метеорологии измеряется температура поверхности почвы, для чего используется термометр, лежащий открыто на поверхности почвы или снега. При этом методической проблемой является невозможность затенить термометр от действия радиации. Результаты изменений температуры (прежде всего воздуха), полученные на метеостанциях, далее подвергаются статистической обработке и пространственной интерпретации и находят свое отражение на климатических картах. Температуры воздуха на них отображаются в виде изолиний.

В последние десятилетия в связи с развитием дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и активным внедрением его данных появились, в частности, новые источники информации о тепловом режиме земной поверхности и объектах на ней. Примером таких источников являются каналы диапазона Thermal Infrared Sensor (TIRS)¹ спутника Landsat, которые измеряют температуру земной поверхности (ТЗП) [1] (*англ.* Land Surface Temperature). Под ТЗП понимается кинетическая энергия тонкого слоя на границе раздела между растительностью, застроенными территориями, дорогами и другими элементами земной поверхности, а также атмосферой [2]. TIRS собирает данные в двух тепловых и инфракрасных спектральных диапазонах: канале / диапазоне 10 (10,6–11,2 мкм) и канале / диапазоне 11 (11,5–12,5 мкм). В настоящее время для этих каналов доступно разрешение 30 м в пикселе, что позволяет использовать их для региональных исследований.

Данные диапазона TIRS фиксируют ТЗП на момент съемки и представляют собой растровые изображения, которые можно анализировать в среде геоинформационной системы и отображать в традиционной форме — в виде изолиний. В рассматриваемом случае это материалы, показывающие не многолетние климатические параметры, а срочные метеорологические, поскольку они привязаны ко времени съемки. Данные о температуре, получаемые традиционными наземными методами на метеостанциях, находят отражение в виде карт метеорологических и климатических параметров (в нашем случае температуры воздуха). Такие карты являются итогом статистической обработки рядов наблюдений за какой-то промежуток времени (обычно 30 лет), составляются на довольно обширные территории для января и июля и дают представление о климатических условиях того или иного региона.

Совместное использование данных наземных наблюдений и ДЗЗ определяется наличием на изучаемой территории метеорологических площадок, на которых проводятся измерения температуры воздуха. В таком случае возможна верификация данных, которая теоретически позволит перейти от данных о ТЗП к традиционным данным о температуре воздуха или температуре поверхности почвы. Однако для этого необходимо, чтобы метеорологические площадки находились на разных типах поверхностей, что реализуемо при заложении профилей. Проведение таких исследований не всегда возможно, но знание общих особенностей распределения температуры воздуха в зависимости от абсолютной высоты, экспозиции и крутизны склонов позволяет дать широкую географическую интерпретацию растровым данным, отражающим ТЗП. Представление об этих особенностях территории можно получить, используя цифровые модели рельефа.

1 Thermal Infrared Sensor (TIRS). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://science.nasa.gov/mission/landsat/tirs/> (дата обращения: 02.11.2025).

2 Материалы и методы

Макажойская котловина располагается в юго-восточной части Чеченской Республики на границе с Республикой Дагестан. Природные условия котловины довольно хорошо изучены, а характеристики приведены, в частности, в работе [3]. Этот географический объект представляет интерес также в связи с тем, что здесь располагается карбоновый полигон Чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова, служащий плацдармом для отработки технологий регенеративного животноводства.

Макажойская котловина приурочена к тектонической депрессии и имеет по большей части хорошо выраженные границы, проходящие по хребтам: на севере — Кашкерлам, в пределах которого находится одноименная высшая точка котловины (2805 м); на востоке — отроги Гаготытлюры; на юго-востоке — безымянный хребет с вершиной Абдалзабизуль (2604 м). На юго-востоке выходом из котловины является каньон р. Ансалты. Юго-западной границей выступает хребет Хиндойлам, который на крайнем юго-западе резко уходит на север и далее от вершины Басхойлам (2594 м) поворачивает на запад-северо-запад до второго выхода из котловины, проходящего по ущелью р. Келой-Ахк — притока р. Шаро-Аргун. Далее водораздел выражен не столь отчетливо и уходит на северо-запад к хребту Кашкерлам. Отметки высот в пределах котловины изменяются от 1200 до 2800 м, а ее площадь составляет 144 км² (рис. 1).

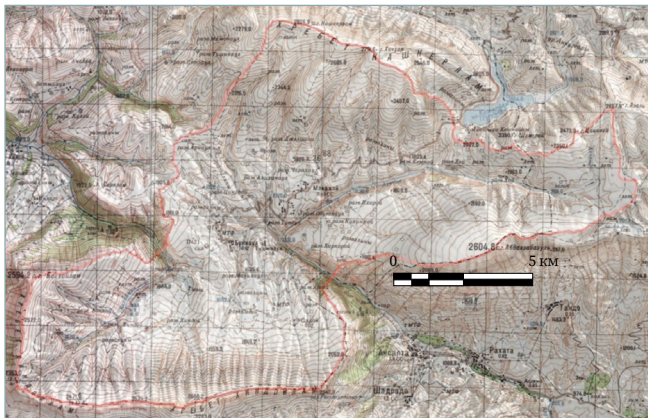
Рис. 1 

Географическое положение и границы Макажойской котловины

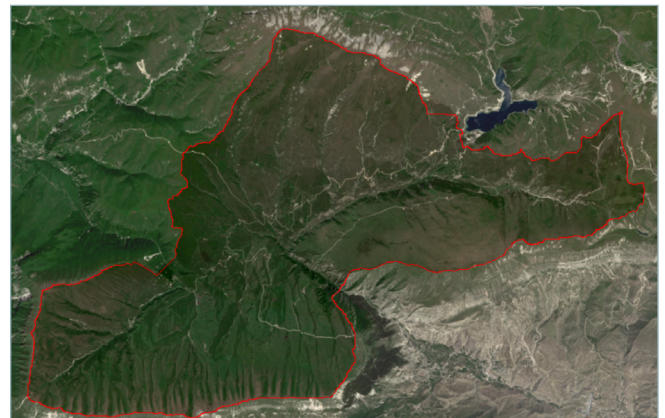
Fig. 1

Geographical location and boundaries of the Makazhoy basin

Топографическая карта (масштаб 1 : 200 000) /
Topographic map (scale 1 : 200 000)



Космический снимок в естественных цветах /
Satellite image in natural colors



В связи со столь значительным перепадом высот на изучаемой территории отмечается хорошо выраженная высотная поясность природных компонентов и комплексов. В целом здесь преобладают природные ландшафты, которые из-за особенностей рельефа и климата относятся к классу горных, а в его пределах здесь представлены три типа: высокогорные луговые (выше 1800–2000 м), горные холодно-умеренные (1600–2000 м) и горные умеренные семиаридные (1200–1800 м). В силу особенностей рельефа границы между ландшафтами представлены экотонами. Отличительным признаком котловины, связанным с ее высокой освоенностью до середины XX века, является террасированность.

Для оценки изменения внутригодовой ТЗП на территории Макажойской котловины использовались данные Landsat 9 за 2022–2025 годы со временем съемки в период 07:36–7:38 (GMT). Первичные данные в виде наборов отдельных спектральных каналов имеются в открытом доступе на сайте Геологической службы США². Для вычисления ТЗП необходимы данные в оптическом диапазоне, в связи с чем были отобраны снимки, на которых исследуемая территория не была покрыта облаками.

² EarthExplorer / United States Geological Survey. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 02.11.2025).

ТЗП определялась на основании канала 10, относящегося к категории SWIR и имеющего длину волны 10,6–11,2 мкм. Кроме него использовались также каналы 4 и 5, которые позволяют установить характер растительного покрова посредством спектрального / вегетационного индекса NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index). Методика обработки исходных данных в настоящее время отработана и широко апробирована [4–6], проводится по алгоритму с последовательным вычислением следующих параметров: а) первой спектральной светимости; б) преобразующейся из нее яркостной температуры; в) NDVI, вычисляемого для разделения поверхностей; г) определяемой по этому индексу доли растительности; д) излучательной способности поверхности Земли, а в итоге — ТЗП [7–10]. Данные вычисления осуществляются в среде геоинформационной системы (ArcGIS, QGIS) при помощи инструмента «Калькулятор растров». После обработки всей сцены посредством маски извлекается представляющий интерес регион. Для выявления особенностей пространственного распределения ТЗП в качестве подложки используется светотеневая отмывка рельефа.

3 Результаты

В результате обработки первичных материалов был создан набор растровых изображений, отражающий динамику изменения ТЗП Макажойской котловины в течение года (рис. 2). Как показала предварительная обработка, для выявления пространственных особенностей распределения ТЗП наиболее удобным при классификации является интервал 4° .

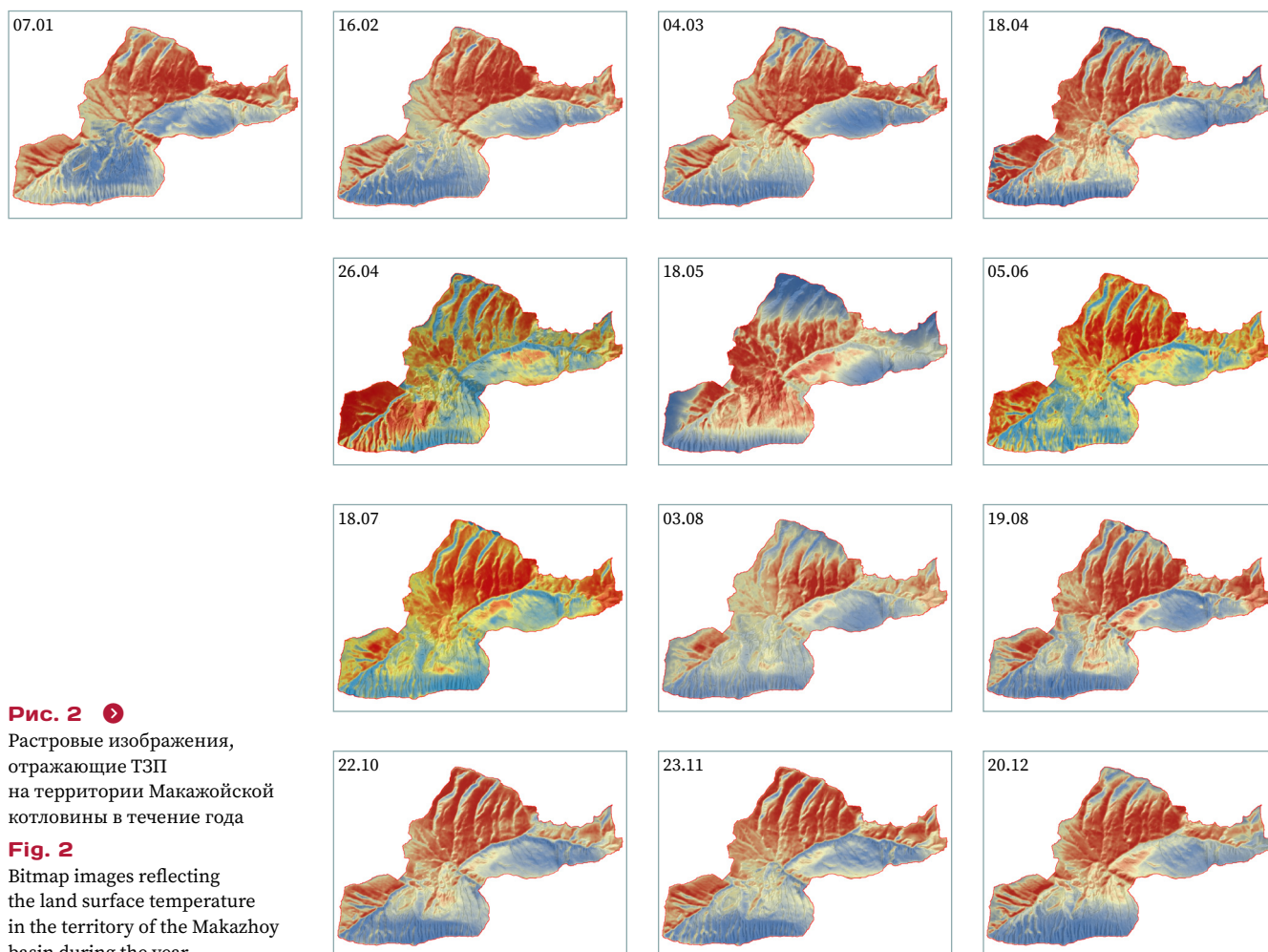


Рис. 2 ▶
Растровые изображения, отражающие ТЗП на территории Макажойской котловины в течение года

Fig. 2
Bitmap images reflecting the land surface temperature in the territory of the Makazhoy basin during the year

4 Обсуждение

В соответствии с общими климатическими условиями региона холодное время года на данной территории продолжается с ноября по апрель. В зависимости от атмосферной циркуляции погодные условия могут приводить к частичному или полному сходу снежного покрова, чему способствуют местные ветры (*фёны*). Переходные сезоны года характеризуются циклональными погодами, в результате чего на территории Макажойской котловины часто отмечаются туманы. В теплое время года общий температурный фон нарушается циклонической деятельностью, которая приносит осадки и снижает температуру воздуха. Такие вторжения наиболее характерны для первой половины лета, когда осадки выпадают в виде ливней. Вторая половина лета чаще бывает сухой.

Особенности рельефа, выражающиеся в амплитуде высот, экспозиции и частично крутизне склонов на территории Макажойской котловины, обусловили поляризацию склонов: хорошо прогретые и сухие склоны южной экспозиции на правом борту р. Ахкете и левом борту р. Келой-Ахк и холодные и влажные склоны на противоположных бортах этих рек. В результате на одной и той же абсолютной высоте температуры в случае безоблачной погоды существенно различаются. Наличие затененных участков, приуроченных к днищам ущелий, приводит к формированию температурных аномалий. Еще одной особенностью, которая влияет на распределение ТЗП, является значительный массив выходов коренных пород (известняков) на южном борту долины.

В январе указанная поляризация склонов выражена довольно отчетливо, при этом на северном макросклоне температура повсеместно отрицательная (до $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$), тогда как на южном отмечаются ее существенные различия. В верхнем и среднем течении р. Ахкете температуры положительные (до $+8\text{...}+12\text{ }^{\circ}\text{C}$), за исключением наиболее высоких частей с глубоко врезанными долинами, где ТЗП сопоставима с ТЗП на противоположных склонах даже на более низких высотных отметках. Отрицательные температуры на южных макросклонах приурочены к участкам с наименьшей крутизной.

В феврале общая картина распределения ТЗП принципиально не отличается от январской за исключением того, что ее минимальные значения на северных склонах в наиболее возвышенных частях достигают $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом ареал положительных значений на южном склоне расширяется по сравнению с январем и поднимается на более высокие гипсометрические уровни, а собственно температуры также составляют $+8\text{...}+12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В марте общий температурный фон снижается по сравнению с февралем: от -25 до $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а участки с положительными температурами отмечаются только в долине р. Ахкете, т. е. приурочены к наиболее низким отметкам рельефа.

В середине апреля отрицательные температуры (до $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$) свойственны лишь наиболее возвышенным частям, а вся остальная часть котловины характеризуется положительными значениями, которые достигают $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наиболее низкие положительные значения приурочены как к прилегающим высокогорным частям хребтов, так и к северному затененному борту долины р. Ахкете. Заметно также пространственное сглаживание температурного фона. В конце апреля, очевидно в связи с антициклональной погодой, температуры продолжают повышаться, в результате минимальные значения поднимаются до $+10\text{...}+12\text{ }^{\circ}\text{C}$, а максимальные — до $+32\text{...}+36\text{ }^{\circ}\text{C}$, но при этом пространственный максимум смещается с правого борта р. Ахкете на восточный склон хребта Хиндой.

В мае, очевидно после холодного вторжения, ТЗП падает: в наиболее возвышенных частях она становится отрицательной (до $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$), постепенно повышаясь к наиболее низким частям и южным экспозициям, где достигает $+16\text{...}+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Особенностью пространственного распределения ТЗП является типичный «котловинный» характер: он закономерно повышается снизу вверх с учетом небольших вариаций по склонам.

Начало лета связано с общим прогревом, в результате чего на всей территории отмечаются положительные ТЗП со слабо выраженной асимметрией между северным и южным макросклонами. В июле характер пространственного

распределения ТЗП существенно не меняется, но максимум температур достигает $+28... +32$ °С. В начале августа основной остров тепла располагается на южных склонах среднего течения р. Ахкете, где ТЗП достигает $+36... +40$ °С. Минимум температур связан с наиболее возвышенными частями хребтов на всей территории. В середине августа продолжается процесс прогрева территории, при этом максимальные температуры не повышаются, но увеличивается ареал, где ТЗП составляет $+24... +32$ °С.

В сентябре для данной территории характерна циклональная погода, поэтому сложно оценить, с какой скоростью происходит остывание земной поверхности. Во второй половине октября слабые отрицательные ТЗП характерны для наиболее возвышенных частей Макажойской котловины, а наиболее прогретые части (до $+20... +24$ °С) отмечаются в довольно возвышенных частях правого борта долины р. Ахкете. В ноябре, очевидно со значительным промежутком антициклональной погоды, наблюдается прогрев территории, в результате чего максимальные температуры достигают $+28... +32$ °С в средней части южного склона долины р. Ахкете, а минимальные температуры характерны для северного макросклона котловины. Декабрьское распределение ТЗП характеризуется снижением температуры до $-12... -16$ °С в наиболее возвышенных частях и на северном макросклоне и острове тепла в среднегорной части южного склона р. Ахкете.

5 Выводы

ТЗП, определяемая посредством данных ДЗЗ, является дополнительным важным источником информации, позволяющим установить тепловой режим территории и его динамику при отсутствии данных метеорологической сети, а при их наличии — существенно дополнить их, получить актуальную и достоверную модель температурного поля соответствующей территории. В отличие от данных метеорологической сети, ТЗП дает картину не среднего, а срочного распределения теплового поля, т. к. привязана ко времени съемки. Применение каналов в видимой части спектра позволяет оценить пространственное распределение теплового поля лишь при антициклональной погоде (безоблачное небо), когда отмечается существенное разнообразие температурных условий. При циклональной погоде, по данным наземных наблюдений за температурой воздуха, происходит сглаживание теплового поля, однако пространственные особенности сложно определить указанным методом.

Анализ пространственно-временного изменения внутrigодовой ТЗП на территории Макажойской котловины позволил выявить разные варианты распределения теплового поля. В холодное время года чаще отмечается поляризация ТЗП, обусловленная особенностями рельефа, прежде всего экспозицией. В теплое время года различия сохраняются, но сглаживаются. Полученные данные могут быть использованы для целей тематического картографирования, оптимизации природопользования и территориального планирования, для организации мероприятий, сводящих к минимуму ущерб от тех природных катаклизмов, которые наблюдаются в последнее время в связи с глобальными изменениями климата как в отдельных регионах, так и в целом на планете.

БЛАГОДАРНОСТИ


Работа выполнена в рамках государственного задания Чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова FECS-2023-0008.

БИБЛИОГРАФИЯ


1. Barsi J., Lee K., Kvaran G., et al. The Spectral Response of the Landsat-8 Operational Land Imager // *Remote Sensing*. 2014. Vol. 6. Iss. 10. P. 10232–10251. DOI:10.3390/rs61010232.
2. Li L., Wu H., Duan B., et al. Satellite Remote Sensing of Global Land Surface Temperature: Definition, Methods, Products, and Applications // *Reviews of Geophysics*. 2023. Vol. 61. Iss. 1. P. 1–77. DOI:10.1029/2022RG000777.

3. Бекмурзаева Р.Х., Скрыпицына Т.Н., Братков В.В. и др. Морфометрические характеристики рельефа Макажойской котловины (Чеченская Республика) // Мониторинг. Наука и технологии. 2024. № 1(59). С. 47–54. DOI:10.25714/MNT.2024.59.007.
4. Dissanayake D., Morimoto T., Murayama Y., et al. Impact of Landscape Structure on the Variation of Land Surface Temperature in Sub-Saharan Region: A Case Study of Addis Ababa Using Landsat Data (1986–2016) // Sustainability. 2019. Vol. 11. Iss. 8. P. 2257. DOI:10.3390/su11082257.
5. Anandababu D., Purushothaman B.M., Suresh Babu S. Estimation of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Data // International Journal of Advance Research in Technology. 2018. Vol. 4. Iss. 2. P. 177–186.
6. Opelele O., Yu Y., Fan W., et al. Analysis of the Impact of Land-Use / Land-Cover Change on Land-Surface Temperature in the Villages within the Luki Biosphere Reserve // Sustainability. 2012. Vol. 13. Iss. 20. P. 11242. DOI:10.3390/su132011242.
7. Sekertekin A., Bonafoni S. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation // Remote Sensing. 2020. Vol. 12. Iss. 2. P. 294. DOI:10.3390/rs12020294.
8. Сереке Т.Э., Тесфай Т., Братков В.В. и др. Мониторинг влияния на температуру поверхности суши динамики землепользования, изменения растительного покрова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2024. Т. 25, № 3. С. 308–318. DOI:10.22363/2312-8143-2024-25-3-308-318.
9. Сереке Т.Э., Братков В.В. Изменения в использовании земель в 2012–2022 годах и их влияние на температуру поверхности Земли по космическим снимкам (на примере г. Мендеферы, Государство Эритрея) // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2024. Т. 68, № 3. С. 26–41. DOI:10.30533/GiA-2024-020.
10. Сереке Т.Э., Братков В.В., Тесфай Т. Анализ землепользования и температуры поверхности Земли по спутниковым изображениям города Мендефера // Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 5. С. 69–79. DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-5-69-79.

АВТОРЫ **Бекмурзаева Рашия Хамзатовна**

ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова»,
Грозный, Россия
кафедра экологии и природопользования, факультет географии и геоэкологии
канд. экон. наук, доцент
 0000-0001-5936-7235

Комиссаров Александр Владимирович

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ), Новосибирск, Россия
кафедра фотограмметрии и дистанционного зондирования, Институт геодезии
и менеджмента
д-р техн. наук, доцент
 0000-0003-2625-2997

Поступила 08.11.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



Assessment of Changes in the Annual Temperature of the Earth's Surface in the Makazhoy Basin (Chechen Republic) Based on Remote Sensing Data

Rashiya Kh. Bekmurzaeva¹✉, Alexander V. Komissarov²

¹ Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russia

² Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

✉ raya.bek@mail.ru

CITATION Bekmurzaeva RKh, Komissarov AV. Assessment of Changes in the Annual Temperature of the Earth's Surface in the Makazhoy Basin (Chechen Republic) Based on Remote Sensing Data. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 78–86. DOI:10.30533/GiA-2025-055.


KEYWORDS air temperature, earth surface temperature, remote sensing, thermal channel, Makazhoy basin

ABSTRACT The purpose of the study is to estimate the change in the annual temperature of the Earth's surface within the Makazhoy basin (Chechen Republic) based on data from the thermal channels of the Landsat satellite. The carbon landfill of the Kadyrov CHSU is located in the Makazhoy basin, where regenerative animal husbandry technologies are being developed, which requires a variety of information, including changes in the thermal field and thermal regime of the territory. In the absence of systematic data characterizing traditional climatic parameters, primarily air temperature, an idea of spatiotemporal changes in the thermal regime makes it possible to obtain data from remote sensing of the Earth, in particular, Landsat images. Their processing is carried out using GIS, as a result of which bitmap images are created that reflect the temperature of the Earth's surface at the time of shooting. The images on the corresponding dates allow us to estimate the change in the TPP both over different time periods and over the studied area. Cloudless images from 2023–2025 made it possible to estimate changes in the annual temperature of the Earth's surface within the Makazhoy basin. In conditions of difficult mountainous terrain, the thermal field is more influenced by exposure factors in the cold season, while in the warm season it is influenced by altitude factors.


ACKNOWLEDGEMENTS The work was carried out within the framework of the state assignment of the Kadyrov Chechen State University FECS-2023-0008.

- REFERENCES**
1. Barsi J, Lee K, Kvaran G, et al. The Spectral Response of the Landsat-8 Operational Land Imager. *Remote Sensing*. 2014;6(10): 10232–10251. DOI:10.3390/rs61010232.
 2. Li L, Wu H, Duan B, et al. Satellite Remote Sensing of Global Land Surface Temperature: Definition, Methods, Products, and Applications. *Reviews of Geophysics*. 2023;61: 1–77. DOI:10.1029/2022RG000777.
 3. Bekmurzayeva RH, Skrypitsyna TN, Bratkov VV, et al. Morfometricheskie kharakteristiki rel'efa Makazhoiskoi kotloviny (Chechenskaya Respublika) [Morphometric Characteristics of the Relief of the Makazhoy Basin (Chechen Republic)]. *Monitoring. Science and Technology*. 2024;1(59): 47–54. (In Russian). DOI:10.25714/MNT.2024.59.007.
 4. Dissanayake D, Morimoto T, Murayama Y, et al. Impact of Landscape Structure on the Variation of Land Surface Temperature in Sub-Saharan Region: A Case Study of Addis Ababa Using Landsat Data (1986–2016). *Sustainability*. 2019;11(8): 2257. DOI:10.3390/su11082257.
 5. Anandababu D, Purushothaman BM, Suresh Babu S. Estimation of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Data. *International Journal of Advance Research in Technology*. 2018;4: 177–186.
 6. Opelele O, Yu Y, Fan W, et al. Analysis of the Impact of Land-Use / Land-Cover Change on Land-Surface Temperature in the Villages within the Luki Biosphere Reserve. *Sustainability*. 2012;13(20): 11242. DOI:10.3390/su132011242.
 7. Sekertekin A, Bonafoni S. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation. *Remote Sensing*. 2020;12(2): 294. DOI:10.3390/rs12020294.
 8. Sereke TE, Tesfay T, Bratkov VV, et al. Monitoring vliyaniya na temperaturu poverkhnosti sushi dinamiki zemlepol'zovaniya, izmeneniya rastitel'nogo pokrova [Dynamics of Land Use, Land Cover Changes and Their Impacts on Land Surface Temperature Using Satellite Imagery]. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2024;25(3): 308–318. (In Russian). DOI:10.22363/2312-8143-2024-25-3-308-318.
 9. Sereke TE, Bratkov VV. Izmeneniya v ispol'zovanii zemel' v 2012–2022 godakh i ikh vliyanie na temperaturu poverkhnosti Zemli po kosmicheskim snimkam (na primere g. Mendefery, Gosudarstvo Eritreya) [Land Use / Land Cover Changes and Their Effects on Land Surface Temperature Using Space Images (by the Example of Mendefera, Eritrea, 2012–2022)]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveyin*. 2024;68(3): 26–41. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2024-020.
 10. Sereke TE, Bratkov VV, Tesfay T. Analiz zemlepol'zovaniya i temperatury poverkhnosti Zemli po sputnikovym izobrazheniyam goroda Mendefera [Analysis of Land Use and Surface Temperature from Satellite Images of the City of Mendefera]. *Vestnik SSUGT*. 2024;29(5): 69–79. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-5-69-79.

AUTHORS **Rashiya K. Bekmurzaeva**

Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russia
 Department of Ecology and Nature Management, Faculty of Geography and Geoecology
 PhD in Economics, Associate Professor
 0000-0001-5936-7235

Aleksandr V. Komissarov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
 Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Institute of Geodesy and Management
 Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor
 0000-0003-2625-2997

Submitted: November 08, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.