

УДК 551.501: 629.195.1
AGRIS P31

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/116/02>

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЗАНГИЛАНСКОМ, ДЖЕБРАЙЛЬСКОМ И ФИЗУЛИНСКОМ РАЙОНАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

©*Нагиева Н. К.*, Бакинский государственный университет,
г. Баку, Азербайджан, numina_164@mail.ru

ASSESSMENT OF EARTH SURFACE TEMPERATURE IN ZANGILAN, JEBRAIL AND FIZULI DISTRICTS USING SPACE TECHNOLOGIES

©*Nagieva N.*, Baku State University, Baku, Azerbaijan, numina_164@mail.ru

Аннотация. Определена температура поверхности почвы Зангиланского, Джебрайльского и Физулинского районов по спутниковым снимкам разных лет. Исследование было выполнено в ArcGIS с использованием выражения LST. Полученные результаты были количественно оценены. В 1987 году 60% исследуемой территории имели температуру 35÷40⁰С, в 2004 году 38% составляли 35÷40⁰С, 39% составляли 30÷35⁰С, в 2013 году 37% составляли 35÷40⁰С и 40÷45⁰С, а в 2023 году 55% составляли 40÷45⁰С. При сравнении этих результатов, с учетом основной части исследуемой территории, наиболее теплый период был определен в 2023 году, а наиболее холодный – в 2004 году. Можно сделать вывод, что наиболее засушливым годом, скорее всего, станет 2023 год. На основе полученных описаний были проведены сравнения в различные годовые интервалы, а также выявлены и количественно оценены изменения. При рассмотрении динамики за 36 лет в ключевых районах наблюдался рост с 35-40⁰С до 40-45⁰С. В целом в ключевых регионах зафиксировано повышение температуры на 5⁰С, что указывает на рост температуры.

Abstract. The article determines the soil surface temperature of the Zangilan, Jabrayil and Fizuli districts based on satellite images of different years. The study was carried out in ArcGIS using the LST expression. The results obtained were quantitatively assessed. In 1987, 60% of the study area had a temperature of 35-40⁰С, in 2004 38% were 35-40⁰С, 39% were 30-35⁰С, in 2013 37% were 35-40⁰С and 40-45⁰С, and in 2023 55% were 40-45⁰С. When comparing these results, taking into account the main part of the study area, the warmest period was determined in 2023, and the coldest - in 2004. It can be concluded that the driest year is likely to be 2023. Based on the descriptions obtained, comparisons were made in various annual intervals, and changes were identified and quantified. When considering the dynamics over 36 years, an increase was observed in key areas from 35-40⁰С to 40-45⁰С. In general, an increase in temperature by 5⁰С was recorded in key regions, indicating an increase in temperature.

Ключевые слова: LST, индекс NDVI, спутниковые снимки, Landsat-5 и Landsat-8.

Keywords: LST, NDVI index, satellite images, Landsat-5 and Landsat-8.

Индекс температуры поверхности земли (LST) является важнейшим фактором для оценки глобального изменения климата и оценки величины радиации в исследованиях теплового баланса. Температура поверхности Земли является регулятором для создания климатических моделей.

Была обнаружена тесная связь между температурой поверхности и NDVI (нормализованный индекс разности растительного покрова) для различных видов землепользования, почвенно-растительного покрова и редкой растительности. Оценивая взаимосвязь между этими параметрами, оказалось возможным оценить температуру поверхности, когда известны значения NDVI. На основании полученных результатов исследования можно сказать, что это подходящая методология для оценки индекса NDVI, излучательной способности поверхности и температуры поверхности земли на неоднородных территориях с достаточной точностью [1-7].

Температуру земной поверхности можно оценить по тепловым спектральным каналам датчика, т.е. каналам, регистрирующим земную поверхность в диапазоне теплового инфракрасного излучения (10-15 мкм). Соответственно, эти каналы называются Thermal bands, TIRS Bands или Thermal Infrared bands. Только некоторые датчики имеют тепловые каналы. Поэтому данных дистанционного зондирования, позволяющих оценить температуру поверхности Земли в наше время и в прошлом, крайне мало (<https://clk.li/eijJ>).

Объект и методика исследований

В ходе исследования использовали программу ArcGIS для определения температуры поверхности земли с помощью спутников Landsat-5 и Landsat-8. На начальном этапе завершен этап получения космических снимков. Для этого были получены следующие изображения с помощью сайта USGS Earth Explore (<https://earthexplorer.usgs.gov>):

LT05_L1TP_168032_19870719_20201014_02_T1;
LT05_L1TP_168033_19870719_20201014_02_T1;
LT05_L1TP_168032_20040701_20200903_02_T1;
LT05_L1TP_168033_20040701_20200903_02_T1 ;
LC08_L1TP_168032_20130710_20200912_02_T1;
LC08_L1TP_168033_20130710_20200912_02_T1;
LC08_L1TP_168032_20230706_20230717_02_T1 ;
LC08_L1TP_168033_20230706_20230717_02_T1.

Основываясь на исходных данных Landsat, предполагается, что снимки Landsat подвергались корректировке в течение длительного времени. Данные Landsat-1, 4, 5, 7, 8 оснащены геометрической и радиометрической коррекцией.

В названии загруженного изображения присутствует L1TP. Например: LT05_L1TP_168032_19870719_20201014_02_T1.

Анализ и обсуждение

Температура яркости — это температура черного тела, испускающего одинаковое количество излучения на заданной длине волны, которую можно рассчитать путем обращения функции Планка. На основе спутниковых данных значения пикселей в тепловом инфракрасном диапазоне (TIR) сначала преобразуются из значений цифрового числа (DN) в яркость. Интенсивность излучения для диапазона полного ИК-излучения спутников Landsat 5 TM и 7 ETM+ рассчитывается с использованием уравнения (1). Значения яркости для Landsat 8 TIR можно получить из уравнения (2):

$$L_{\lambda} = \left[\frac{L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}}{Q_{CALMAX} - Q_{CALMIN}} \right] * [Q_{CAL} - Q_{CALMIN}] + L_{MIN\lambda} \quad (1)$$

где L_{λ} — спектральная яркость атмосферы (TOA) ($Вт/(м^2 \cdot срад \cdot мкм)$), Q_{CAL} — квантованное калиброванное значение пикселя в DN, $L_{MIN\lambda}$ ($Вт/(м^2 \cdot срад \cdot мкм)$) — спектральная яркость $Q_{CAL MIN}$, $L_{MAX\lambda}$ ($Вт/(м^2 \cdot срад \cdot мкм)$) — спектральная яркость,

масштабированная до QCAL MAX, QCAL MIN — минимальное квантованное калиброванное значение пикселя в DN, а QCAL MAX — максимальное квантованное калиброванное значение пикселя в DN. Значения данных L MIN λ , L MAX λ , QCAL MIN и QCAL MAX получены из файла метадата Landsat TM и ETM+. Для Landsat 8:

$$L\lambda = ML \cdot QCAL + AL \quad (2)$$

где L λ — спектральная яркость TOA (Ватт/(м²·срад·мкм)), ML — специфичный для ленты мультипликативный коэффициент масштабирования из метаданных, AL — специфичный для ленты дополнительный коэффициент масштабирования из метаданных, QCAL — квантованные и калиброванные стандартные значения пикселей продукта (DN).

Все эти переменные можно извлечь из файла метаданных данных Landsat 8. После преобразования яркости можно сгенерировать изображение яркостной температуры для всего спутника Landsat-8, используя уравнение.

$$T = K_2 / \ln[(K_1 / L\lambda) + 1] \quad (3)$$

где T — эффективная яркость спутника в градусах Кельвина, K₁ (Ватт/(м²·срад·мкм)) и K₂ (Кельвин) — калибровочные константы, а L λ — спектральная яркость. Значения констант (K₁ и K₂) представлены в Таблице 1, так как они меняются от датчика к датчику.

Таблица 1

Спутники	K ₁	K ₂
Landsat 5 (Band6)	607,76	1260,56
Landsat 7 (Band6)	666,09	1282,71
Landsat 8 (Band10)	774,89	1321,08
Landsat8 (Band11)	480,89	1201,14

Наконец, в отличие от спутника Landsat-5, определяем температуру поверхности Земли для Landsat-8 и определяем ее следующим выражением:

$$T = TB / [1 + (\lambda \cdot TB / c2) \cdot \ln(e)]$$

где: λ — длина волны испускаемого излучения, для 10 каналов $\lambda = 10,8$; c2 — вторая постоянная излучения, c2 = 1,4388 * 10⁻² м К = 14388 мкм К; e — коэффициент эмиссии, e = 0,004 * Pv + 0,986

$$Pv = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2$$

Полученный результат выражен в градусах Кельвина. Выполняется преобразование в градусы Цельсия, для чего из результата вычитается 273,15 единицы. С учетом вышеизложенного обработка выполняется так, как показано на Рисунке 1.

На основании результатов, приведенных на Рисунке 2, построена диаграмма, представленная на Рисунке 3. На основании диаграммы (Рисунок 3) можно сказать, что в 1987 г 60% исследуемой территории имели температуру 35÷40⁰С, в 2004 г 38% составляли 35÷40⁰С, 39% составляли 30÷35⁰С, в 2013 г 37% составляли 35÷40⁰С и 40÷45⁰С, а в 2023 г 55% составляли 40÷45⁰С. При сравнении этих результатов наиболее теплый период был определен в 2023 г, а наиболее холодный — в 2004 г, учитывая основную часть исследуемой территории. Можно заключить, что самым засушливым годом стал 2023 г.

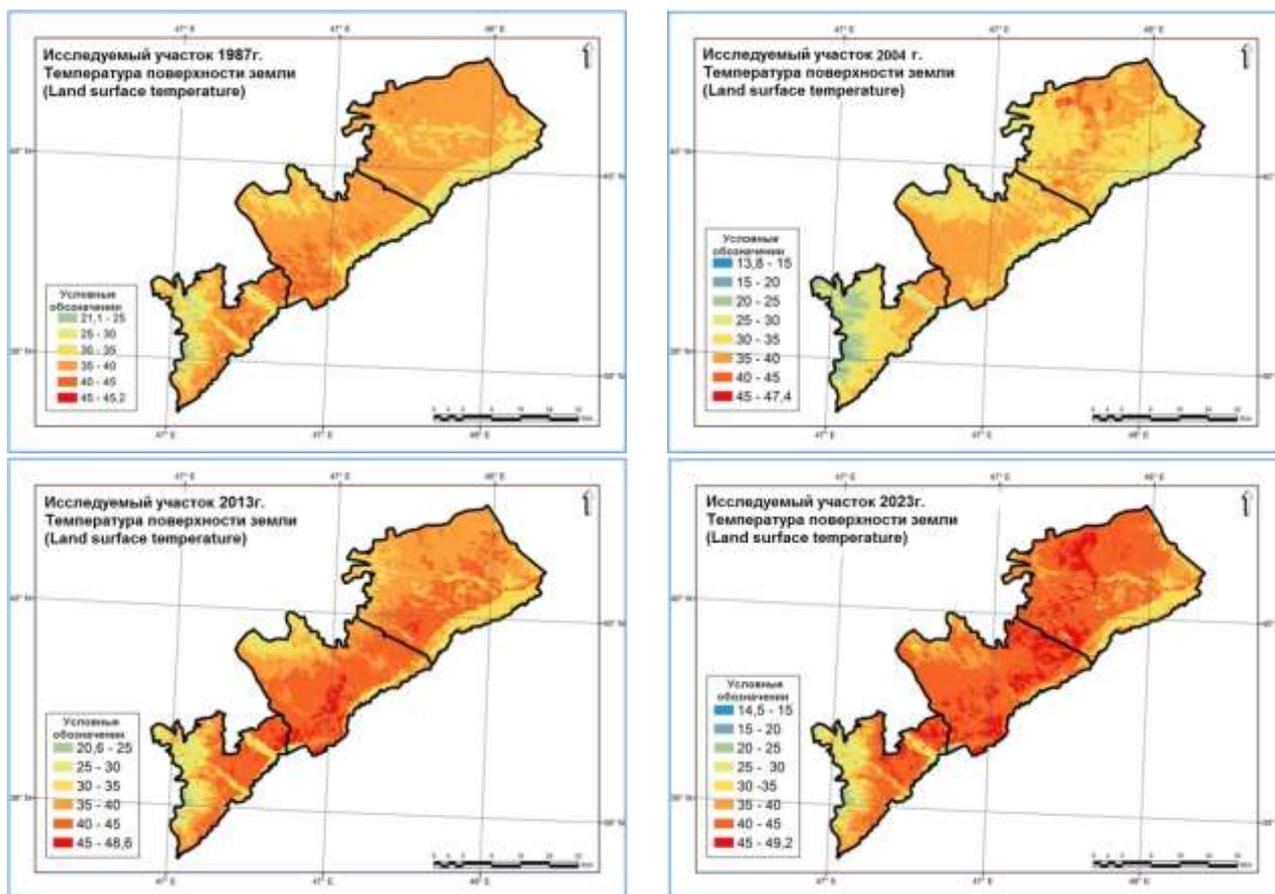


Рисунок 1. Температура поверхности земли (LST) в разные годы, °С

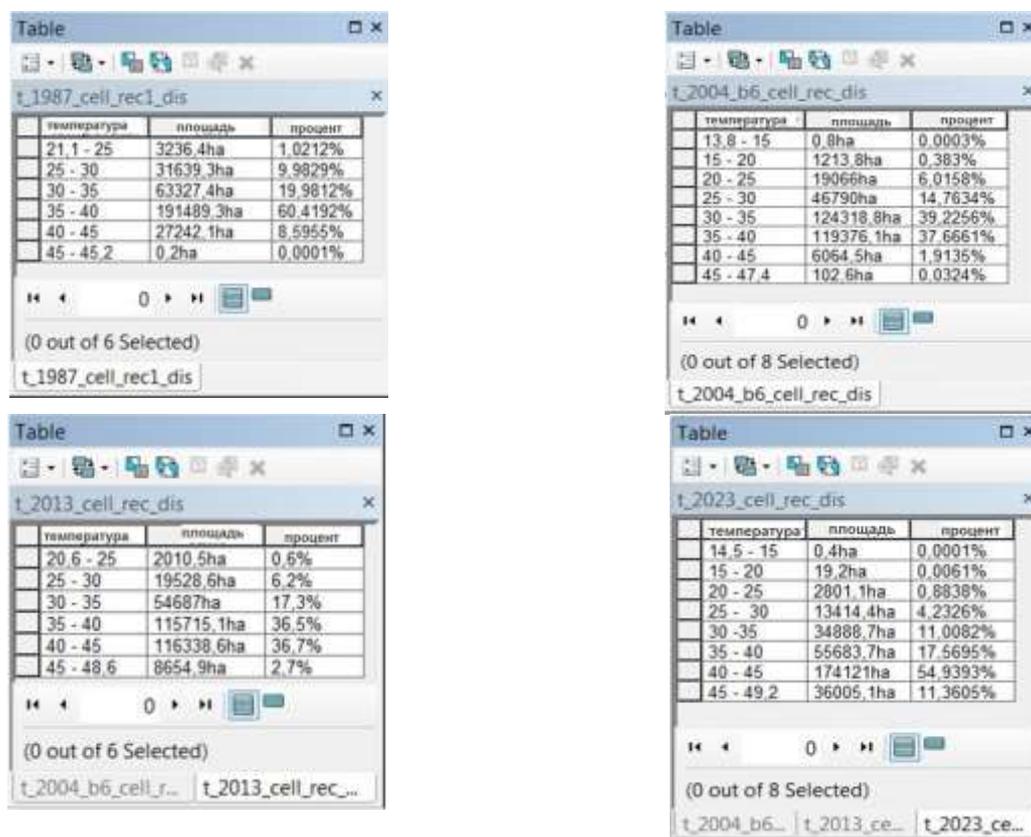


Рисунок 2. Индексы площади изображений, представляющих температуру поверхности земли (LST) в °С в разные годы

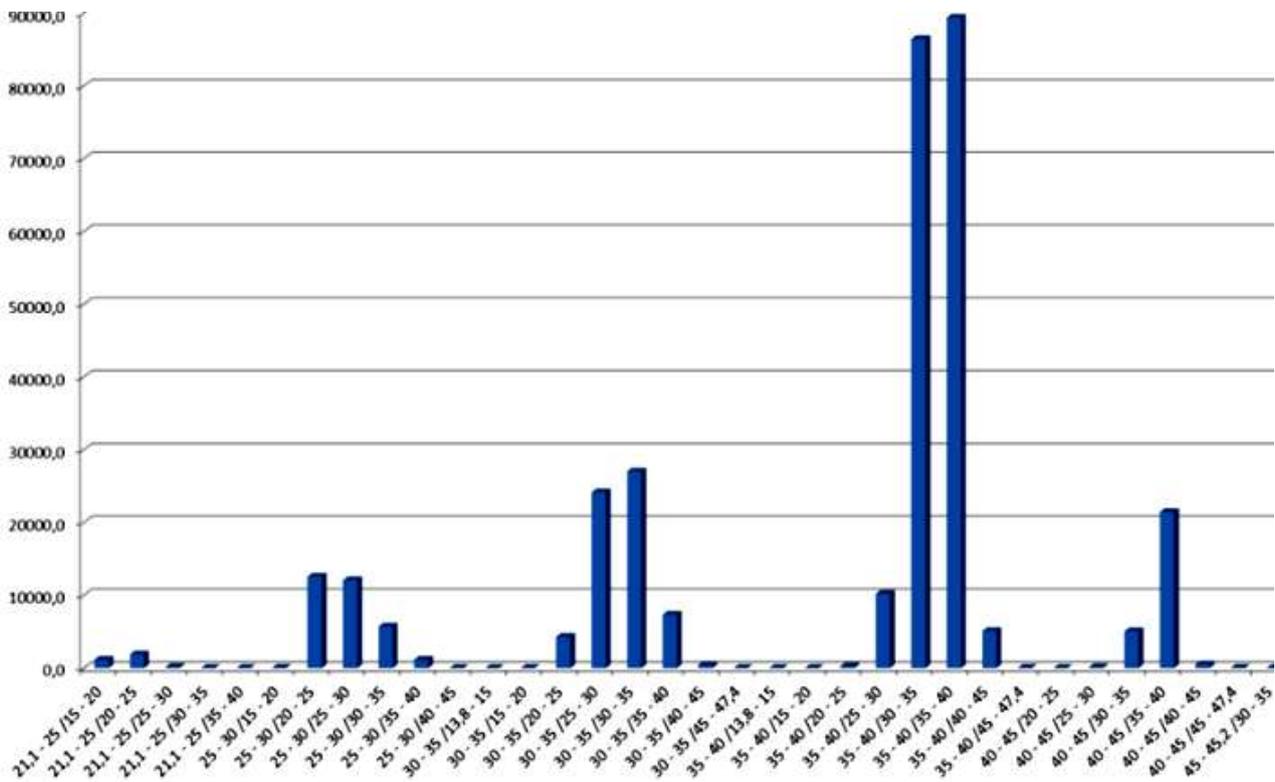
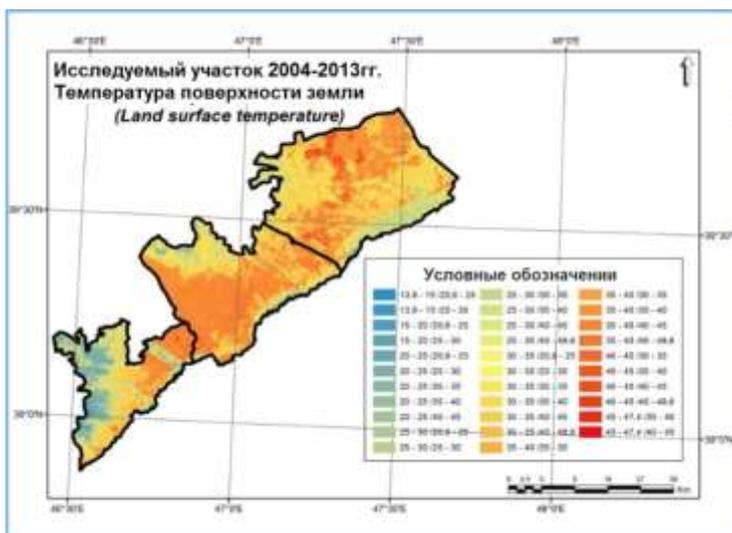


Рисунок 5. Динамика температуры земной поверхности в 1987-2004 гг.

Согласно гистограмме можно сказать, что в основных зонах наблюдалось снижение температуры с 35–40⁰С до 30–35⁰С, а температура на уровне 35–40⁰С осталась неизменной. То есть, сравнивая 1987-2004 годы, можно сделать вывод, что одна часть основной зоны осталась неизменной на уровне 35-40⁰С, а другая зона зафиксировала снижение на 5⁰С. Проведем сравнение между следующими годами: 2004-2013. На Рисунке 6 дано описание и количественная оценка динамики 2004-2013 гг.



температура 2004	тем. ср. 2013	динамика	площадь
13.8 - 15	20.6 - 25	13.8 - 15 / 20.6 - 25	0.129ha
13.8 - 15	25 - 30	13.8 - 15 / 25 - 30	0.669ha
15 - 20	20.6 - 25	15 - 20 / 20.6 - 25	1132.491ha
15 - 20	25 - 30	15 - 20 / 25 - 30	80.517ha
20 - 25	20.6 - 25	20 - 25 / 20.6 - 25	625.944ha
20 - 25	25 - 30	20 - 25 / 25 - 30	13041.137ha
20 - 25	30 - 35	20 - 25 / 30 - 35	4889.214ha
20 - 25	35 - 40	20 - 25 / 35 - 40	265.02ha
20 - 25	40 - 45	20 - 25 / 40 - 45	20.47ha
25 - 30	20.6 - 25	25 - 30 / 20.6 - 25	25.739ha
25 - 30	25 - 30	25 - 30 / 25 - 30	5421.822ha
25 - 30	30 - 35	25 - 30 / 30 - 35	2832.641ha
25 - 30	35 - 40	25 - 30 / 35 - 40	11354.357ha
25 - 30	40 - 45	25 - 30 / 40 - 45	1823.007ha
25 - 30	45 - 48.6	25 - 30 / 45 - 48.6	0.004ha
30 - 35	20.6 - 25	30 - 35 / 20.6 - 25	73.24ha
30 - 35	25 - 30	30 - 35 / 25 - 30	693.207ha
30 - 35	30 - 35	30 - 35 / 30 - 35	1988.362ha
30 - 35	35 - 40	30 - 35 / 35 - 40	62681.573ha
30 - 35	40 - 45	30 - 35 / 40 - 45	40417.494ha
30 - 35	45 - 48.6	30 - 35 / 45 - 48.6	346.057ha
35 - 40	25 - 30	35 - 40 / 25 - 30	103.253ha
35 - 40	30 - 35	35 - 40 / 30 - 35	1393.007ha
35 - 40	35 - 40	35 - 40 / 35 - 40	37597.446ha
35 - 40	40 - 45	35 - 40 / 40 - 45	72355.812ha
35 - 40	45 - 48.6	35 - 40 / 45 - 48.6	8124.818ha
40 - 45	30 - 35	40 - 45 / 30 - 35	50.303ha
40 - 45	35 - 40	40 - 45 / 35 - 40	3917.621ha
40 - 45	40 - 45	40 - 45 / 40 - 45	1911.347ha
40 - 45	45 - 48.6	40 - 45 / 45 - 48.6	184.972ha
45 - 47.4	35 - 40	45 - 47.4 / 35 - 40	98.358ha
45 - 47.4	40 - 45	45 - 47.4 / 40 - 45	4.249ha

Рисунок 6. Показатели динамика температуры и площади поверхности суши в 2004-2013 гг.

На основе результатов, показанных на Рисунке 6 можно построить гистограмму(Рисунок 7).

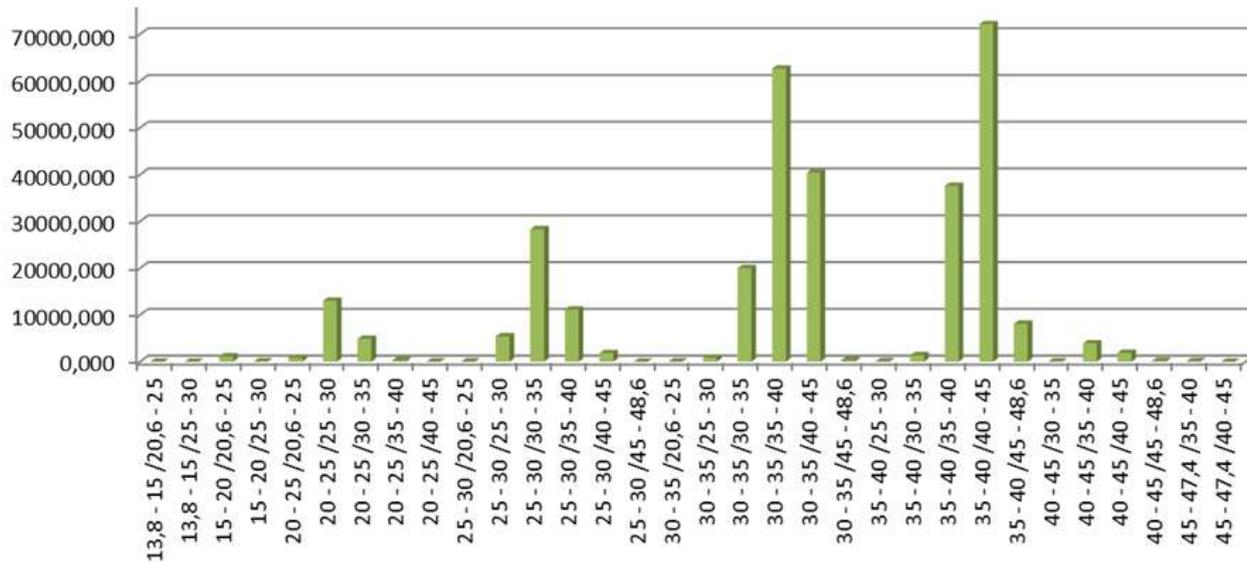


Рисунок 7. Динамика температуры поверхности земли в 2004-2013 гг.

Согласно гистограмме, представленной на Рисунке 7, можно сказать, что максимальная область изменилась с 30-35⁰С до 35-40⁰С и с 35-40⁰С до 40-45⁰С. В целом по области наблюдалось повышение температуры на 5⁰С. Рассмотрим динамику 2013-2023 гг. Как еще один исследуемый интервал. На Рисунке 8 представлено графическое представление динамики и площадных показателей за 2013-2023 гг. На основе показателей площади можно составить гистограмму (Рисунок 9).

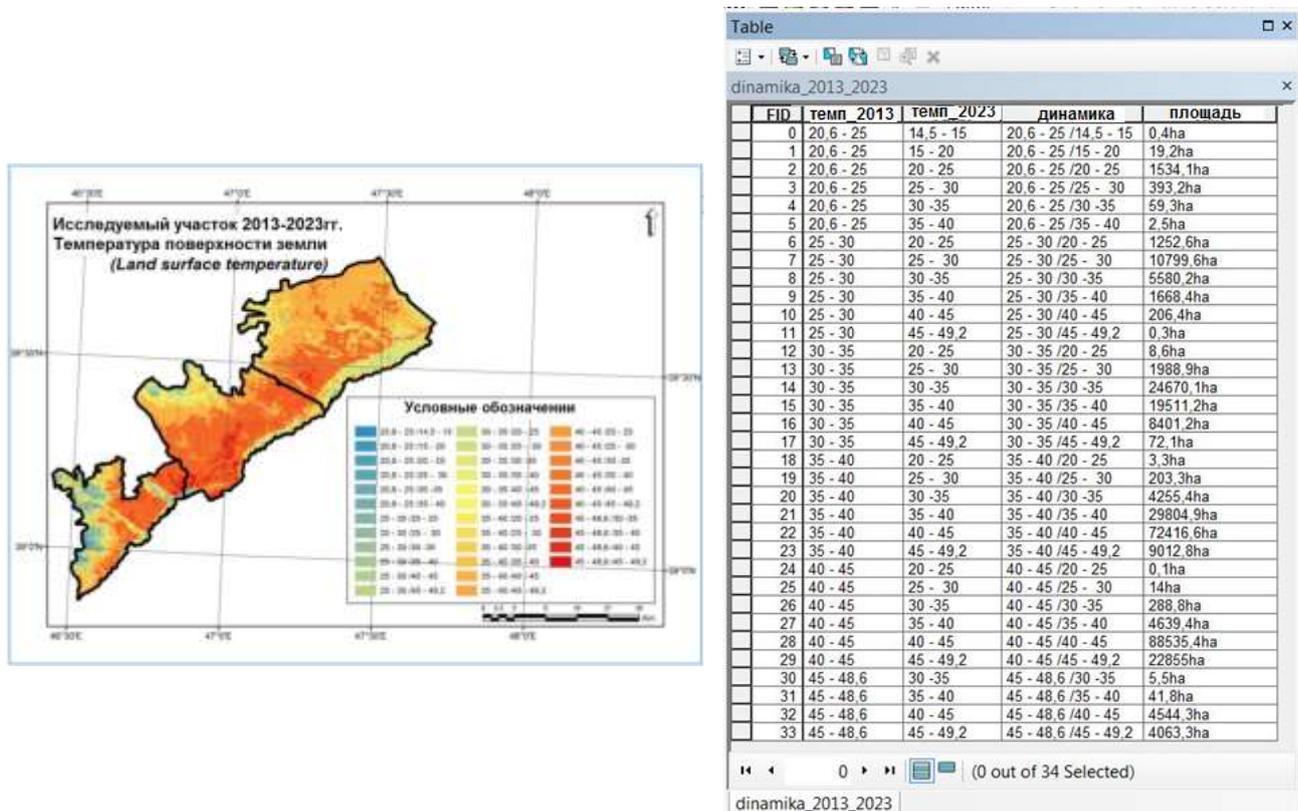


Рисунок 8. Динамика и площадные показатели температуры поверхности суши в 2013-2023 гг.

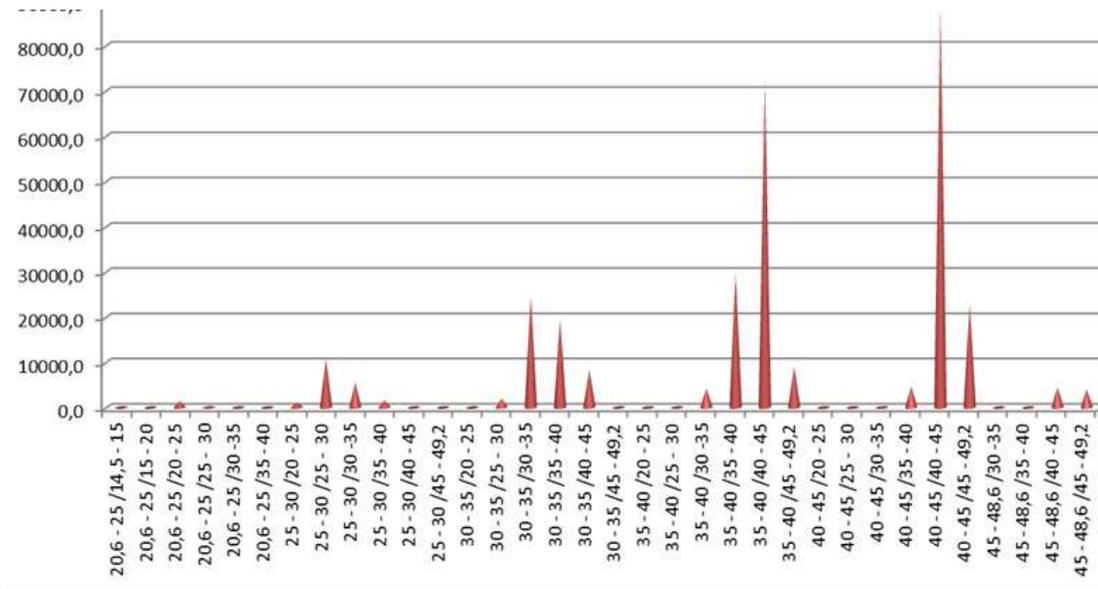


Рисунок 9. Динамика температуры поверхности земли в 2013-2023 гг., га

На основании гистограммы, представленной на Рисунке 9, можно сказать, что основная область — это увеличение от 35-40⁰С до 40-45⁰С, а также области, где 40-45⁰С не меняется. Таким образом, можно сделать общий вывод, что в большинстве районов наблюдалось повышение температуры на 5⁰С или стабильное повышение температуры. Последовательное сравнение этих лет позволяет сделать вывод, что первоначально наблюдалось снижение в 1987-2004 гг., рост в 2004-2013 гг. и рост в 2013-2023 гг., то есть, исходя из динамики лет, температура поверхности Земли имеет тенденцию к повышению (Рисунок 10). Полученный результат представлен в виде гистограммы и показан на Рисунке 11.

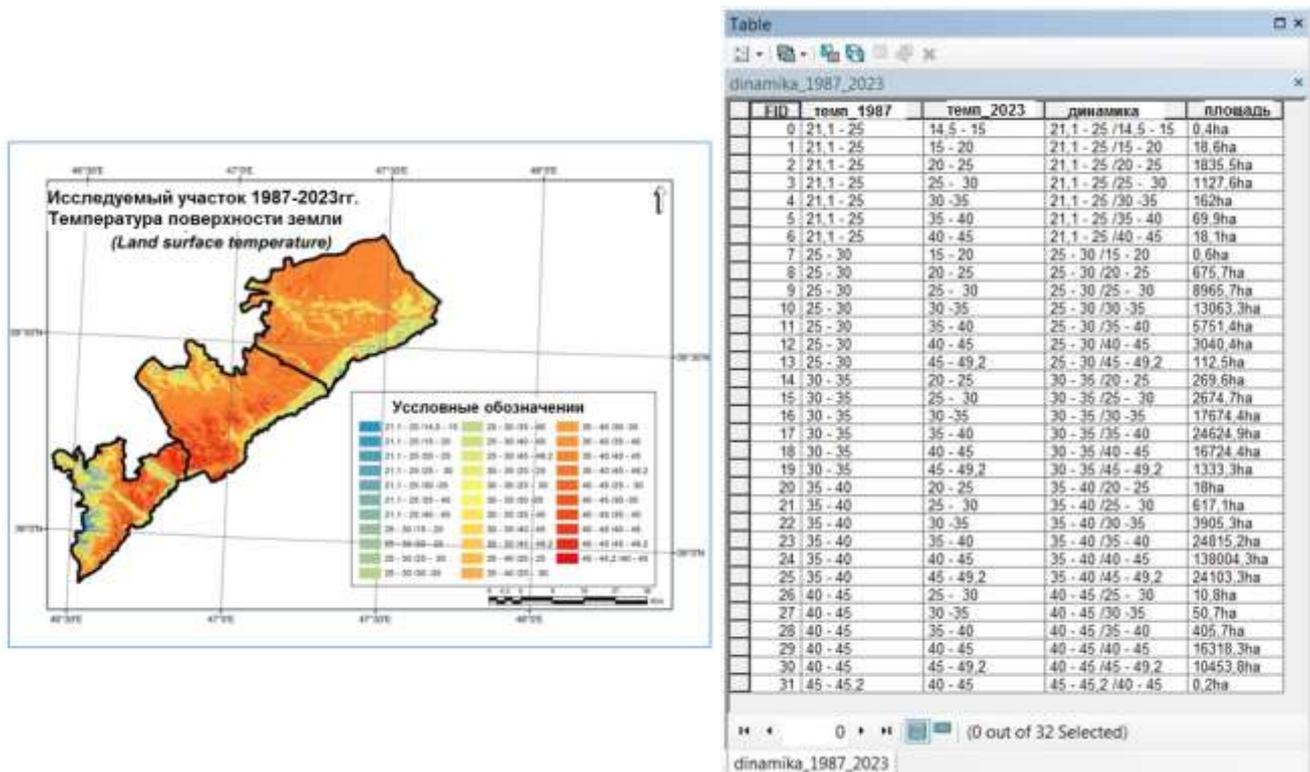


Рисунок 10. Динамика и площадные показатели температуры поверхности суши в 1987-2023 гг.

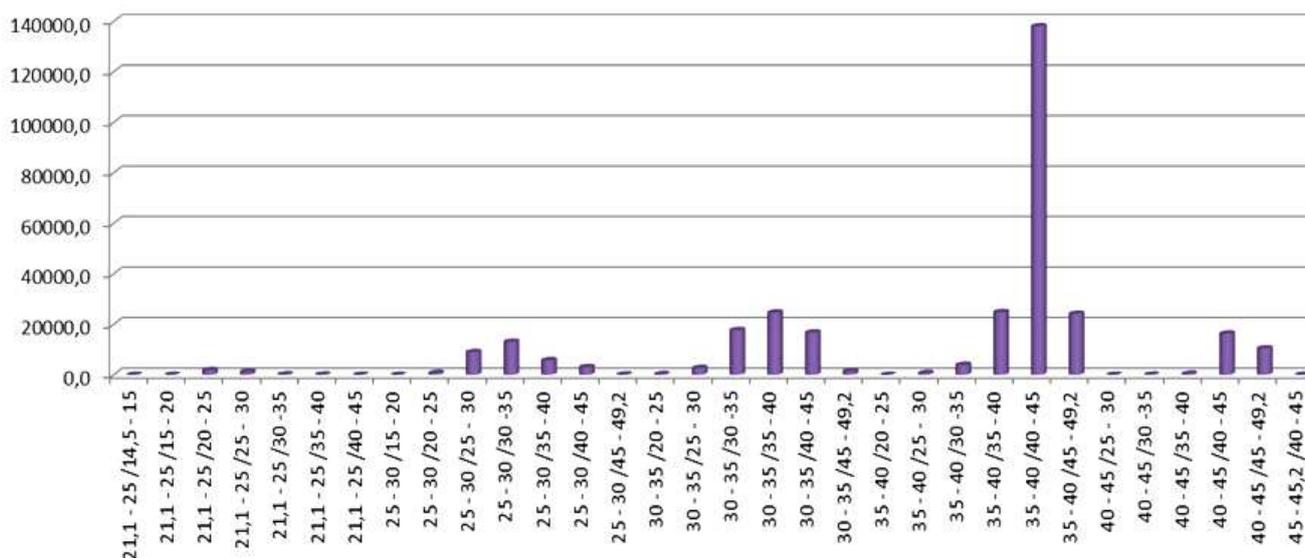


Рисунок 11. Динамика температуры поверхности земли в 1987-2023 гг.

Таким образом, при рассмотрении динамики, произошедшей за 36 лет, в основных районах наблюдался рост с $35-40^{\circ}\text{C}$ до $40-45^{\circ}\text{C}$. В целом в ключевых регионах зафиксировано повышение температуры на 5°C , что указывает на рост температуры.

Список литературы:

1. Meng X., Cheng J., Liang S. Estimating land surface temperature from Feng Yun-3C/MERSI data using a new land surface emissivity scheme // *Remote Sensing*. 2017. V. 9. №12. P. 1247. <https://doi.org/10.3390/rs9121247>
2. Dash P., Göttsche F. M., Olesen F. S., Fischer H. Retrieval of land surface temperature and emissivity from satellite data: physics, theoretical limitations and current methods // *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2001. V. 29. P. 23-30. <https://doi.org/10.1007/BF02989910>
3. Li Z. L., Becker F. Feasibility of land surface temperature and emissivity determination from AVHRR data // *Remote sensing of Environment*. 1993. V. 43. №1. P. 67-85. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90065-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90065-6)
4. Ghent D., Veal K., Trent T., Dodd E., Sembhi H., Remedios J. A new approach to defining uncertainties for MODIS land surface temperature // *Remote Sensing*. 2019. V. 11. №9. P. 1021. <https://doi.org/10.3390/rs11091021>
5. Becker F. Toward a local split window method over land surface // *Int. J. Remote Sensing*. 1990. V. 11. P. 19-34.
6. Dozier J., Warren S. G. Effect of viewing angle on the infrared brightness temperature of snow // *Water resources research*. 1982. V. 18. №5. P. 1424-1434. <https://doi.org/10.1029/WR018i005p01424>
7. Arvidson T., Goward S., Gasch J., Williams D. Landsat-7 long-term acquisition plan // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2006. V. 72. №10. P. 1137-1146. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.10.1137>

References:

1. Meng, X., Cheng, J., & Liang, S. (2017). Estimating land surface temperature from Feng Yun-3C/MERSI data using a new land surface emissivity scheme. *Remote Sensing*, 9(12), 1247. <https://doi.org/10.3390/rs9121247>

2. Dash, P., Göttsche, F. M., Olesen, F. S., & Fischer, H. (2001). Retrieval of land surface temperature and emissivity from satellite data: physics, theoretical limitations and current methods. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 29, 23-30. <https://doi.org/10.1007/BF02989910>
3. Li, Z. L., & Becker, F. (1993). Feasibility of land surface temperature and emissivity determination from AVHRR data. *Remote sensing of Environment*, 43(1), 67-85. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90065-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90065-6)
4. Ghent, D., Veal, K., Trent, T., Dodd, E., Sembhi, H., & Remedios, J. (2019). A new approach to defining uncertainties for MODIS land surface temperature. *Remote Sensing*, 11(9), 1021. <https://doi.org/10.3390/rs11091021>
5. Becker, F. (1990). Toward a local split window method over land surface. *Int. J. Remote Sensing*, 11, 19-34.
6. Dozier, J., & Warren, S. G. (1982). Effect of viewing angle on the infrared brightness temperature of snow. *Water resources research*, 18(5), 1424-1434. <https://doi.org/10.1029/WR018i005p01424>
7. Arvidson, T., Goward, S., Gasch, J., & Williams, D. (2006). Landsat-7 long-term acquisition plan. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(10), 1137-1146. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.10.1137>

Работа поступила
в редакцию 07.05.2025 г.

Принята к публикации
15.05.2025 г.

Ссылка для цитирования:

Нагиева Н. К. Оценка температуры земной поверхности в Зангилянском, Джебраильском и Физулинском районах с использованием космических технологий // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №7. С. 19-28. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/116/02>

Cite as (APA):

Nagieva, N. (2025). Assessment of Earth Surface Temperature in Zangilan, Jebrail and Fizuli Districts using Space Technologies. *Bulletin of Science and Practice*, 11(7), 19-28. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/116/02>