

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЦЕЛЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ПОЛЕЙ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ АЗЕРБАЙДЖАНА

Ч.С. Алиев, Д.А.Гусейнов, Ф.М. Гаджи-заде, Р.Дж. Багирли, А.Р. Алиева, Ю.М. Ахади, Н.Ю. Ахади

(Институт Геологии и Геофизики Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики)

[yehedi@gmail.com](mailto:yehedi@gmail.com), [aliyev.chingiz47@gmail.com](mailto:aliyev.chingiz47@gmail.com), [fuad77amaka@mail.ru](mailto:fuad77amaka@mail.ru)

**Аннотация.** В докладе рассматриваются вопросы возможности использования результатов дистанционного зондирования Земли по определению температуры поверхности и параметров растительности для получения информации об изменениях радиационного фона территорий. В том числе исследования радиационного фона горных территорий, покрытых густой растительностью. Таковыми являются исследования радиоактивных полей на территории трех районов Азербайджана - Джебраил, Зангелан и Губадлы, которые около 30 лет находились под оккупацией. Радиационный фон земной поверхности связан с параметрами окружающей среды, в том числе, температурой поверхности, показателями растительного покрова и др. Работы проводятся для выработки рекомендаций по обеспечению радиоэкологической безопасности населения. Были использованы материалы космических съемок и анализ рассчитанных на их основе параметров подстилающей поверхности и атмосферы. В настоящей работе использовались данные спутников "Azersky" и Landsat-8. Спутниковые материалы были обработаны в программном обеспечении ArcMap, ERDAS Imagine и ENVI. Спектральные полосы были объединены с помощью программного инструмента анализа изображений. Спутниковые изображения были обработаны для каждого района. Тепловые инфракрасные полосы использовались для расчета температуры поверхности земли. Наряду с этим проведены наземные замеры интегральной радиоактивности, лабораторные определения спектральной характеристики пород.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, радиоактивные территории, радиоактивное загрязнение, спектрометр, тепловая камера, лидар, детектор гамма-излучения, экологический баланс.

**Введение.** Радиационный фон земной поверхности связан с параметрами окружающей среды, в том числе, температурой поверхности, показателями растительного покрова и др. В свою очередь, температура поверхности земли также чувствительна к влажности почвы и растительности. Поэтому температура поверхности и параметры растительности могут быть использоваться для получения информации об изменениях радиационного фона территорий.

С начала 70-х годов прошлого столетия в проблемах изучения окружающей среды все активнее применяются методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в частности аэрокосмические методы. Летательные аппараты на разных высотах над поверхностью Земли, оснащенные специальными приборами для измерения электромагнитного излучения, проводят наблюдения за различными компонентами нашей планеты. Назначения этих наблюдений

имеют широкий спектр: начиная от экологических и аграрных исследований, до решения вопросов градостроительства, от военно-разведывательных до медицинских и др.

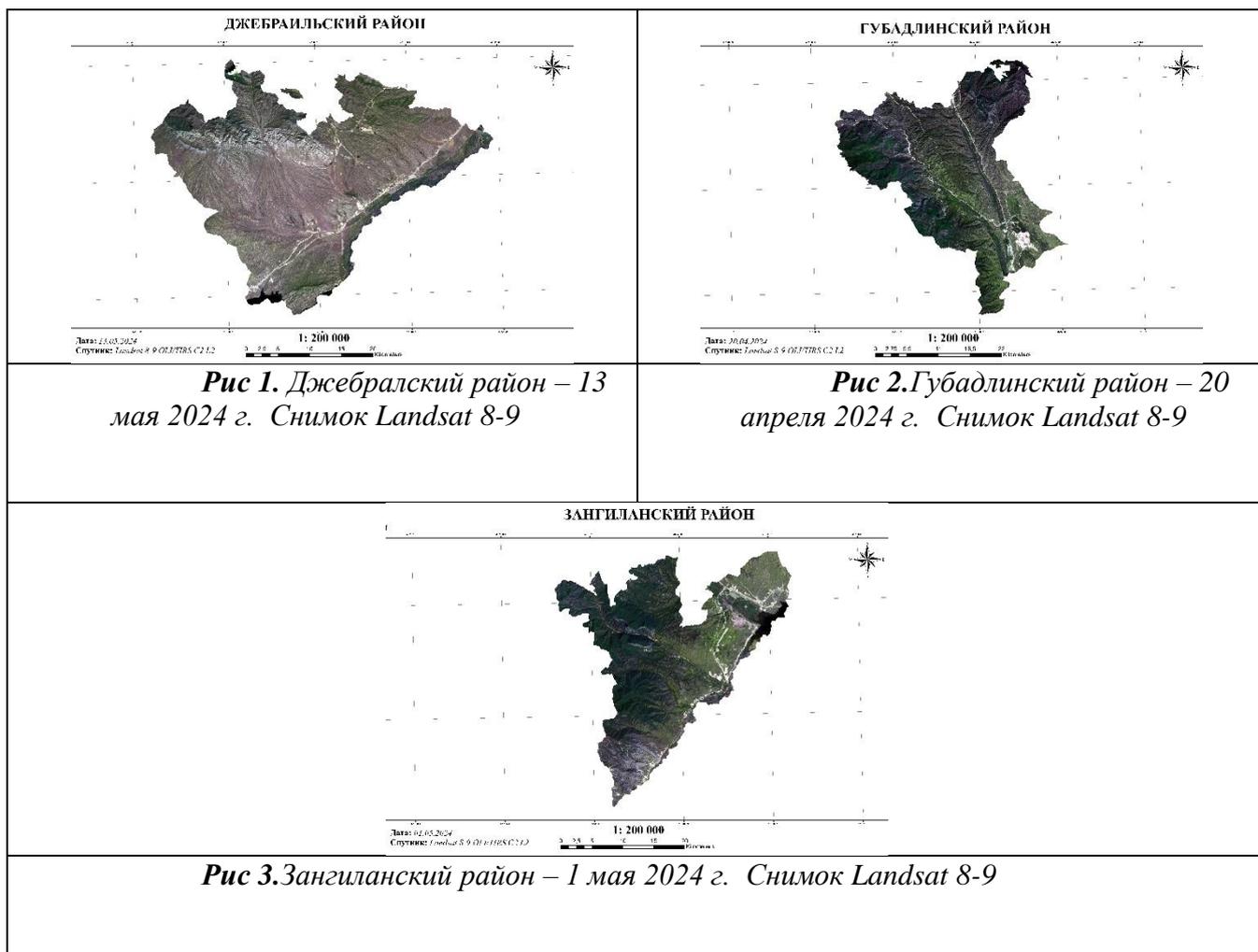
В числе не менее важных, с точки зрения экологии, проблем, стоят такие, как исследования радиационного состояния территорий. Для Азербайджана, 20% территории которого около 30 лет находились под оккупацией недружественной соседней страны, вопрос реабилитации этих земель после ее победы стоит очень остро. Большая часть этих земель, помимо разрушенных населенных пунктов, представляли собой минные поля, которые в послевоенный период, уже в течение четырех лет еще полностью не разминированы. Другой опасностью может быть радиационное заражение этих территорий. Рассмотрение этого вопроса и ответ на него также требует проведение на этих территориях соответствующих исследований ученых и специалистов.

Для прояснения ситуации в этом вопросе специалистами Института Геологии и Геофизики Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики, с начала 2024 – го года проводится работа, целью которой является исследование радиоактивных полей на территориях освобожденных от оккупации трех районов (Джебраил, Зангелан и Губадлы), для выработки рекомендаций обеспечения радиоэкологической безопасности населения. С целью обеспечения выполнения работы были проведены предварительные измерения радиационных параметров на территориях этих районов. Наряду с ними, также предусмотрено использование материалов космических съемок и проведение анализа рассчитанных на их основе параметров подстилающей поверхности и атмосферы.

**Спутниковые материалы.** Наиболее используемые спутниковые данные - это данные со спутников Landsat, MODIS, Sentinel-3 SLSTR [1,2]. В настоящей работе использовались данные спутника Landsat-8 над исследуемыми территориями (рис.1,2,3). Полученные спутниковые материалы были обработаны в программном обеспечении ArcMap. Спектральные полосы были объединены с помощью программного инструмента анализа изображений. Спутниковые изображения были обработаны для каждого района. Тепловые инфракрасные полосы используются для расчета температуры поверхности земли.

Для расчета температуры поверхности почвы были выполнены следующие процессы:

- получение спутниковых данных и выбор тепловых полос;
- анализ атмосферного излучения;
- анализ яркостной температуры;
- исследование индекса растительности NDVI;
- исследование соотношения растительности PV;
- анализ эмиссии поверхности почвы;
- исследование температуры поверхности почвы.



**Анализ атмосферного излучения.** Спутниковые данные в основном доступны в формате цифровых данных (DN). Для получения атмосферного излучения с использованием этих данных необходимы калибровочные коэффициенты, которые приводятся вместе со спутниковыми данными. В основном эти коэффициенты отражаются в файле спутниковых данных. Соответствующая формула для Landsat 8 выглядит следующим образом:

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (1),$$

где:

- $L_{\lambda}$ : спектральное излучение ( $\text{Watts/m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$ );
- $M_L$ : коэффициент умножения радиации;
- $A_L$ : аддитивный коэффициент радиации;
- $Q_{cal}$ : цифровое значение - диапазон 10 или 11.

Единица измерения атмосферного излучения обычно выражается в  $\text{Watts/m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$ .

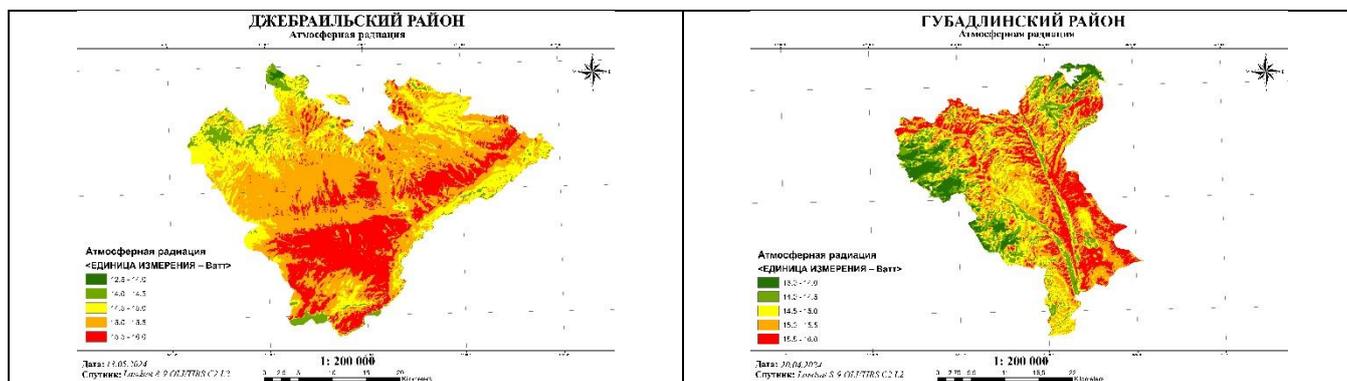
Атмосферное излучение представляет собой количество излучения, обнаруживаемого спутниковыми датчиками в заданном диапазоне длин волн, и эта единица точно описывает пространственные и спектральные характеристики этого измерения [3].

В программном обеспечении ArcMap использовалась вышеупомянутая формула атмосферного излучения с помощью инструмента "калькулятор раstra". В результате выполненных математических операций получены следующие результаты:

по Джебраильскому району (рис.4) минимум результат - 12,5 Watts, максимум результат - 16,0 Watts,

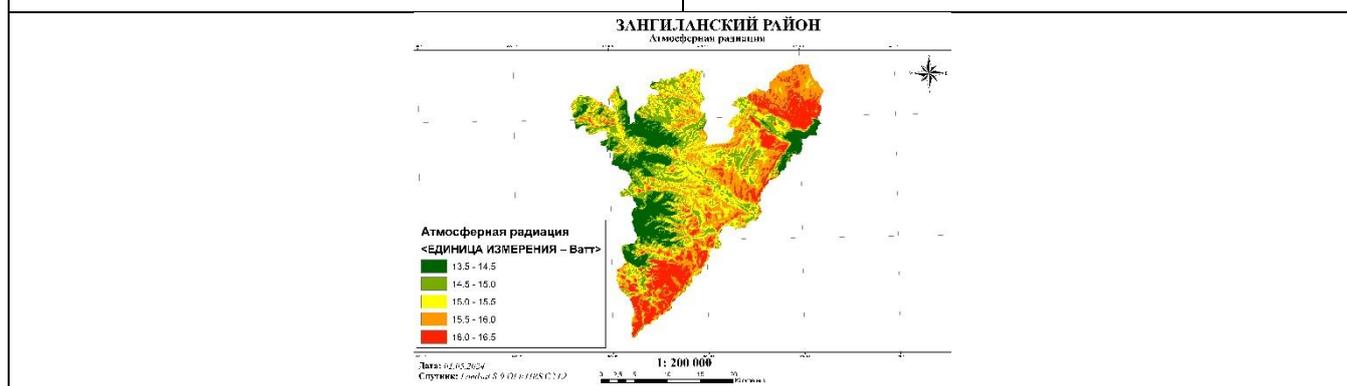
по Губадлинскому району (рис. 5) минимум результат - 13,0 Watts, максимум результат - 16,0 Watts,

а по Зангиланскому району (рис. 6) минимум результат - 13,5 Watts, максимум результат - 16,5 Watts.



*Рис. 4. Джебраильский район - Анализ атмосферной радиации*

*Рис. 5. Губадлинский район – Анализ атмосферной радиации*



*Рис.6. Зангиланский район - Анализ атмосферной радиации*

Таким образом, значения атмосферной радиации в безоблачной ситуации в апреле и мае, составляют 12,5 - 16,5 Watts, что представляется низким по сравнению с нормальными атмосферными условиями. По нашему мнению, это может быть связано с изменением

факторов окружающей среды, связанных с войной, и поверхности земли в этом районе. Кроме того, оккупация указанных территорий в течение 30 лет также, может быть, одной из наиболее важных причин. Присутствие большого количества металлических и радиоактивных материалов (мины и остатки оружия) в этом районе после 44-х дневной Отечественной войны 2020 –го года может быть фактором, влияющим на уровни радиации. Это состояние можно объяснить следующим образом:

**Последствия войны:** мины, взрывчатые вещества и металлические остатки, оставшиеся после войны, могут повлиять на измерение атмосферного излучения, изменяя характеристики отражения и поглощения солнечного света.

**Почва и растительность:** изменение почвы и растительности в результате войны может изменить поглощение и отражение солнечной радиации на уровне земли.

**Стойкие загрязнители:** химические вещества и взрывчатые вещества, используемые во время войны, могут смешиваться с почвой и водой, изменяя уровень радиации в этом районе. [4]

**Анализ яркостной температуры.** Яркостная температура — это значение температуры, которое рассчитывается путем сравнения излучательной способности поверхности или атмосферы определенной длины волны с излучением абсолютно черного тела. Единицей измерения яркостной температуры является Кельвин (К). Эта температура, измеренная с помощью спутниковых датчиков и датчиков дистанционного зондирования, имеет решающее значение для анализа распределения температуры атмосферы и поверхности. Связь между яркостной температурой и радиоактивностью основана на обнаружении тепловых эффектов радиоактивных материалов путем измерения испускаемого электромагнитного излучения. Радиоактивный распад вызывает повышение температуры окружающих материалов, и это тепло проявляется в виде яркостной температуры, измеряемой приборами дистанционного зондирования. Поскольку фотоны высоких энергий, особенно гамма-излучение, являются частью электромагнитного спектра, радиоактивные поля можно отображать и отслеживать с помощью измерений яркостной температуры [4,5].

Спутниковые данные, первоначально в основном, доступны в формате цифровых данных DN (Digital Number). Следующая формула используется для преобразования этих данных в яркостную температуру (Brightness temperature, BT).

$$L_{\lambda} = \frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{Q_{CALMAX} - Q_{CALMIN}} \times (Q_{CAL} - Q_{CALMIN}) + L_{MIN} \quad (2),$$

где:

- $L_{\lambda}$  - спектральное излучение;
- $L_{MAX}$  и  $L_{MIN}$  калибровочные константы;
- $Q_{CALMAX}$  и  $Q_{CALMIN}$  являются квантованными калиброванными значениями пикселей;
- $Q_{cal}$ : числовые данные (DN) – диапазон 10 или 11

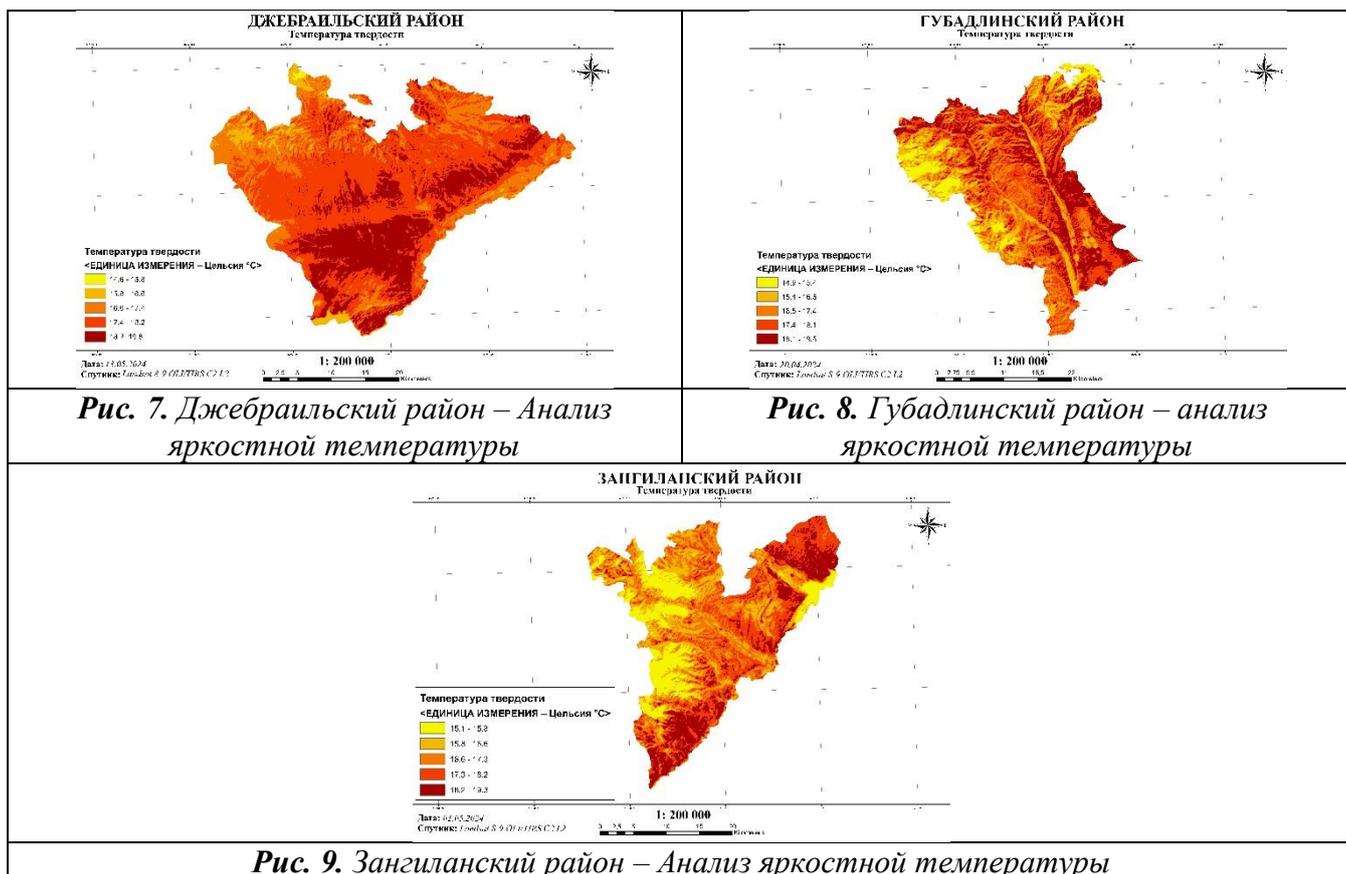
В программном обеспечении ArcMap использовалась вышеупомянутая формула атмосферного излучения с помощью инструмента "растровый калькулятор". В исследовании, проведенном с помощью спутниковых снимков, сделанных в мае и апреле в безоблачную погоду в Джебраильском районе (рис.7) было зафиксировано 15,6-16,2 °С, в Губадлинском районе (рис. 8) - 14,7 - 15,2 °С, а в Зангиланском районе (рис. 9) – 15,5 °С-16.1°С. Результаты, полученные в диапазоне 15,1 – 16,8°С в анализе яркостной температуры, выполненном в программном обеспечении ArcMap, показывают, что определенная поверхность или объект излучает излучение при очень низкой температуре. Поскольку эти результаты значительно ниже нормальных температур поверхности, крайне важно учитывать причины этого и особые условия в этом районе.

Полученные результаты были разделены на пять классов, каждый из которых представляет определенный диапазон яркостных температур. Диапазоны значений разделенных классов приведены в таблице 1.

**Таблица 2. Результаты, полученные после обработки космических изображений– яркостная температура (°С)**

Класс	Джебраил (°С)	Губадлы(°С)	Зангилан (°С)
I	15.6 - 16.2	14.7 - 15.2	15.5 – 16.4
II	16.2 - 16.9	15.2 – 15.7	16.4 – 17.1
III	16.9 - 17.5	15.7 – 16.2	17.1– 17.8
IV	17.5 – 17.9	16.2 – 16.9	17.8– 18.4
V	17.9 – 18.4	16.9 – 17.9	18.4– 19.1

Учитывая вышесказанное, можно предположить, что присутствие радиоактивных веществ на поверхности или вблизи нее может создать эффект нагрева окружающей среды. Такие случаи можно встретить и при проведении на территории различных видов военных действий. Оружие и мины, размещенные на исследуемых территориях в течение почти 30-летнего периода оккупации, могут привести к тому, что радиоактивные материалы окажутся на поверхности или рядом с ней. Вполне вероятно, что неразорвавшиеся боеприпасы и военные материалы могут влиять на температуру поверхности, излучая радиацию в окружающую среду. Считая, что высокие уровни яркостной температуры могут указывать на области, где сосредоточены радиоактивные материалы. Известно, что радиоактивное загрязнение может вызвать повышение температуры поверхности. Это также может привести к повышению температуры в растительности и гидрографии. Могут наблюдаться негативные последствия для растительности и плодородия почвы.



*Рис. 7. Джебрайльский район – Анализ яркостной температуры*

*Рис. 8. Губадлинский район – анализ яркостной температуры*

*Рис. 9. Зангиланский район – Анализ яркостной температуры*

**Расчет индекса растительности (NDVI).** Для расчета NDVI (Normalized difference vegetation Index) важно использовать красный и ближний инфракрасный диапазоны спутниковых снимков.

Например:

- На Landsat 8 полоса 4 (красный) и полоса 5 (NIR)
- В Sentinel-2, группа 4 (красный) и группа 8 (NIR)

NDVI рассчитывается для ближнего инфракрасного диапазона и красных полос по следующей формуле:

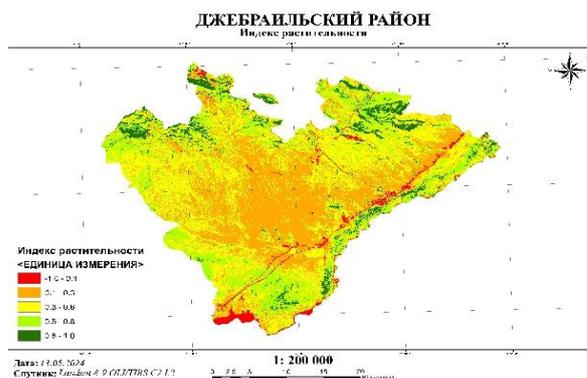
$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3)$$

NDVI принимает значение от -1 до +1, что указывает на плотность и здоровье растительности в этом районе.

- Значения, близкие к +1: густая и здоровая растительность.
- Значения, близкие к 0: области с небольшим количеством растительности или без нее.
- Значения, близкие к 1: области без растительности, такие как вода,

инфраструктура или голая почва.

В качестве примера результаты анализа индекса растительности для территории Джебраильского района приведены на рис.10. Аналогичный анализ был проведен и для двух других районов.



*Рис. 10. Джебраильский район – Анализ индекса растительности*

#### **Расчет пропорции растительности (пропорция растительности-PV)**

Для расчета коэффициента растительности используется следующая формула:

$$PV = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (4)$$

Здесь:

NDVI: расчетное значение NDVI

$NDVI_{min}$ : минимальное значение NDVI (в основном для голой земли)

$NDVI_{max}$ : максимальное значение NDVI (в основном для густой растительности)

Выражение "доля растительности" обычно относится к доле растительности на определенной площади [3,6,7]. Это соотношение обычно выражается в процентах. Например, если сказать, что территория на 50% покрыта растительностью, это означает, что половина этой территории покрыта растительностью.

В качестве примера результаты анализа индекса пропорции растительности для территории Губадлинского района приведены на рис.11. Аналогичный анализ был проведен и для двух других районов.



*Рис. 11. Губадлинский район – Анализ пропорции растительности*

**Расчет эмиссии поверхности Земли (поверхностная эмиссия-SE).** Эмиссия поверхности Земли ( $\epsilon$ ) является важным параметром при расчете LST. Эмиссия - это способность поверхности Земли излучать энергию и зависит от типа растительности, типа почвы и т. д.  $\epsilon$  рассчитывается с использованием NDVI.

$$\epsilon = 0.004 \times \text{NDVI} + 0.986 \quad (5)$$

Коэффициент излучения поверхности Земли — это мера излучения поверхности электромагнитным излучением. Оно меняется от 0 до 1, которое является безразмерным значением. Это значение показывает, сколько инфракрасного излучения излучает поверхность.

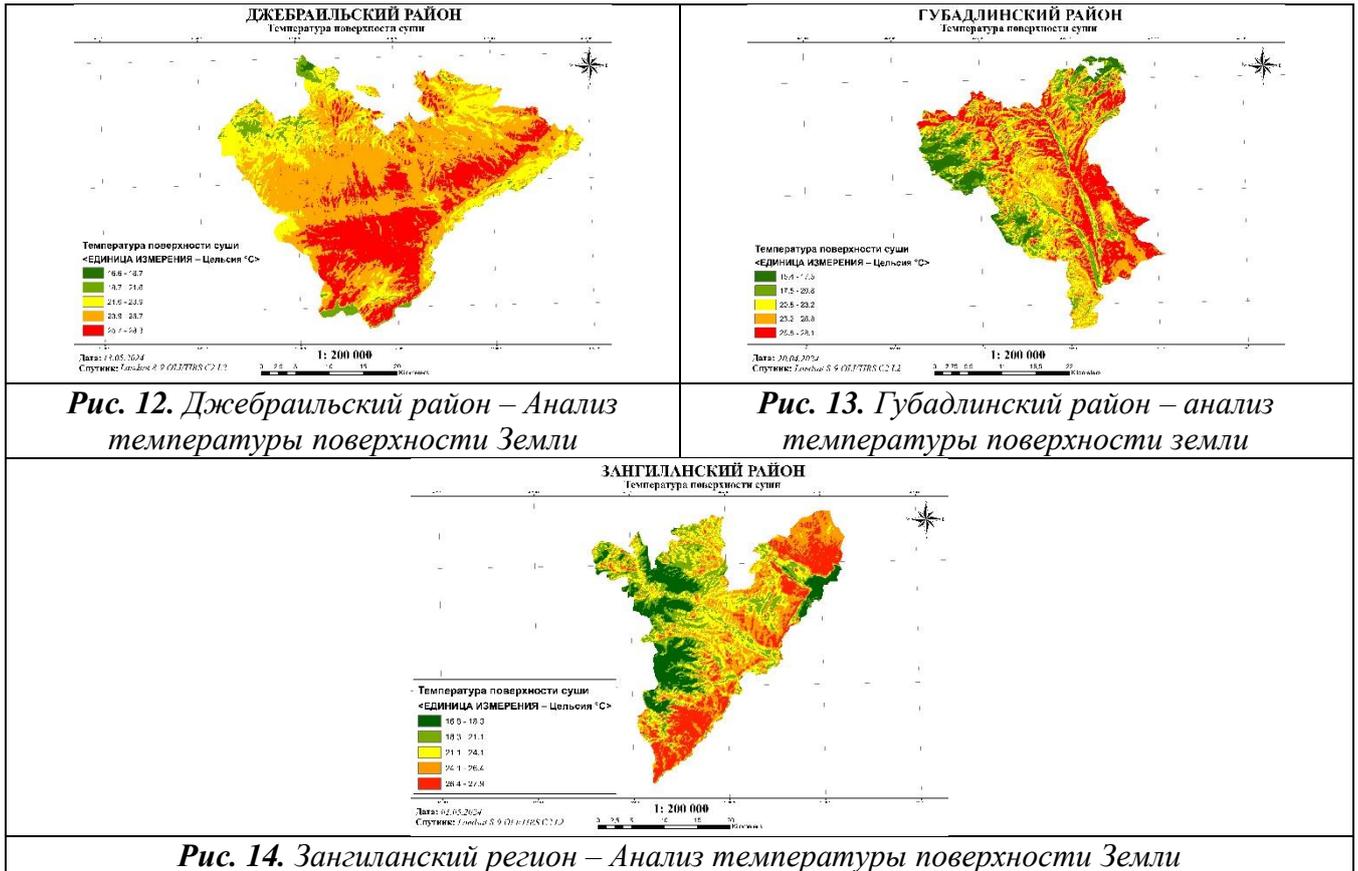
**Расчет температуры поверхности земли (Land Surface Temperature-LST)** (рис.12,13,14).

Для расчета LST используется следующая формула :

$$LST = \frac{L_{\lambda}}{1 + \left(\lambda \times \frac{L_{\lambda}}{\rho}\right) \ln(\epsilon)} \quad (6)$$

Здесь:

- $\lambda$  - длина волны спутникового датчика (Landsat 8 обычно 10,895 мкм)
- $\rho$ :- комбинация постоянной Планка, постоянной Больцмана и скорости света.
- $L_{\lambda}$  – спектральная радиация (яркостная температура – BT)
- $\epsilon$  - излучение поверхности Земли



## Заключение

- в ряде участков территорий исследуемых районов наблюдалось уменьшение растительности (индекс и соотношение растительности), аномалии данных о температуре поверхности и яркостной температуры. Можно предположить, что этот результат может быть связан с радиоактивным загрязнением;
- эмиссионные аномалии могут помочь найти источники радиоактивного загрязнения и обнаружить влияние радиоактивности на окружающую среду, а также изменения температуры;
- установив связь между данными об атмосферной радиации и индексом растительности NDVI и пропорцией растительности PV, можно более четко выявить влияние радиоактивного загрязнения на растительность в этом районе.

## Литература

1. <https://www.usgs.gov/landsat-missions>

2. Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), Səh. 893-903.
3. John R. Jensen, *Remote Sensing of Environment: An Earth Resource Perspective* (2007), p. 229-255
4. Elnaz Neinavaza, Andrew K. Skidmore<sup>a,b</sup>, Roshanak Darvishzadeh<sup>a</sup>. Effects of prediction accuracy of the proportion of vegetation cover on land surface emissivity and temperature using the NDVI threshold method. *Int. Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Volume 85, March 2020, 101984. P1-12.
5. ZhaoLiang Li<sup>a,b</sup>, BoHui Tang<sup>a</sup>, Hua Wu<sup>a</sup>, Huazhong Ren<sup>c</sup>, Guangjian Yan<sup>c</sup>, Zhengming Wan<sup>d</sup>, Isabel F. Trigo<sup>e,f</sup>, José A. Sobrino<sup>g</sup>. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*. Volume 131, 15 April 2013, Pages 14-37
6. A. Sobrino, J.C. Jiménez-Muñoz, L. Paolini. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5 *Remote Sens. Environ.*, 90 (2004), pp. 434-440
7. B.-H. Tang, K. Shao, Z.-L. Li, H. Wu, R. Tang. An improved NDVI-based threshold method for estimating land surface emissivity using MODIS satellite data. *Int. J. Remote Sens.*, 36 (2015), pp. 4864-4878

## **THE USE OF SATELLITE MATERIALS TO STUDY THE RADIOACTIVE FIELDS OF SOME REGIONS OF AZERBAIJAN**

**Ch.S.Aliyev, D.A.Huseynov, F.M.Hajizadeh, R.J.Bagirli, A.R.Aliyeva, Y.M.Ahadi, N.Y.Ahadi**

(Institute of Geology and Geophysics of the Ministry of Science and Education  
of the Republic of Azerbaijan)

[yehedi@gmail.com](mailto:yehedi@gmail.com), [aliyev.chingiz47@gmail.com](mailto:aliyev.chingiz47@gmail.com), [fuad77amaka@mail.ru](mailto:fuad77amaka@mail.ru)

**Summary.** The report discusses the possibility of using the results of remote sensing of the Earth to determine surface temperature and vegetation parameters to obtain information about changes in the radiation background of territories. This includes studies of the radiation background of mountainous areas covered with dense vegetation. Such are the studies of radioactive fields on the territory of three districts of Azerbaijan - Jabrail, Zangelan and Gubadli, which have been under occupation for about 30 years. The radiation background of the earth's surface is associated with environmental parameters, including surface temperature, vegetation indicators, etc. The work is being carried out to develop recommendations on ensuring the radioecological safety of the population. The materials of space surveys and the analysis of the parameters of the underlying surface and atmosphere calculated on their basis were used. In this work, data from the Azersky and Landsat-8 satellites were used. Satellite materials were processed in ArcMap, ERDAS Imagine and ENVI software. The spectral bands were combined using an image analysis software tool. Satellite images were processed for each area. Thermal infrared bands were used to calculate the temperature of the earth's surface. Along with this, ground-based measurements of integral radioactivity and laboratory determinations of the spectral characteristics of rocks were carried out.

**Keywords:** *remote sensing, radioactive territories, radioactive contamination, spectrometer, thermal camera, lidar, gamma radiation detector, ecological balance.*

### **References**

4. <https://www.usgs.gov/landsat-missions>
5. Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893-903.
6. John R. Jensen, *Remote Sensing of Environment: An Earth Resource Perspective* (2007), p. 229-255
4. Elnaz Neinavaza, Andrew K. Skidmore<sup>a,b</sup>, Roshanak Darvishzadeh<sup>a</sup>. Effects of prediction accuracy of the proportion of vegetation cover on land surface emissivity and temperature using the NDVI threshold method. *Int. Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Volume 85, March 2020, 101984. P1-12.
5. ZhaoLiang Li<sup>a,b</sup>, BoHui Tang<sup>a</sup>, Hua Wu<sup>a</sup>, Huazhong Ren<sup>c</sup>, Guangjian Yan<sup>c</sup>, Zhengming Wan<sup>d</sup>, Isabel F. Trigo<sup>e,f</sup>, José A. Sobrino<sup>g</sup> Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*. Volume 131, 15 April 2013, Pages 14-37
6. A. Sobrino, J.C. Jiménez-Muñoz, L. Paolini. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5 *Remote Sens. Environ.*, 90 (2004), pp. 434-440
7. B.-H. Tang, K. Shao, Z.-L. Li, H. Wu, R. Tang. An improved NDVI-based threshold method for estimating land surface emissivity using MODIS satellite data. *Int. J. Remote Sens.*, 36 (2015), pp. 4864-4878