

<https://doi.org/10.25686/foreco.2024.44.53.006>

## ОЦЕНКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НАХИЧЕВАНСКОЙ АВТОНОМНОЙ РЕСПУБЛИКИ ПО ДАННЫМ NDVI

Г.Х. Гурбанов

Национальная Академия Наук Азербайджана, Азербайджан

*Важным показателем состояния растительного покрова территорий являются вегетационные индексы. В данной работе анализируется пространственное распределение растительного покрова Нахичеванской Автономной Республики Азербайджана на основе данных изображения вегетационного индекса NDVI, полученных с использованием регионального космического снимка Landsat 8 и программы QGIS. В результате тематического картографирования выделены и визуализированы области с различным пространственным распределением растительности, что продемонстрировано на картографических материалах NDVI. Установлено, что наиболее высокая плотность растительности наблюдается в среднегорных и высокогорных районах, тогда как на равнинных участках она низкая, что вызывает необходимость в проведении соответствующих мероприятий. Полученная карта NDVI имеет важное значение для планирования природоохранных мероприятий, включая рекультивацию и мелиорацию.*

**Ключевые слова:** Landsat, карта NDVI, QGIS растительный покров, атмосферная коррекция, Нахичевань

## ASSESSMENT OF VEGETATION COVER OF THE NAKHCHIVAN AUTONOMOUS REPUBLIC BASED ON NDVI DATA

G.H. Gurbanov

National Academy of Sciences of Azerbaijan, Azerbaijan

*Vegetation indices are an important indicator of the state of vegetation cover of territories. This paper analyzes the spatial distribution of vegetation cover of the Nakhchivan Autonomous Republic of Azerbaijan based on the NDVI vegetation index image data obtained using the regional Landsat 8 space image and the QGIS program. As a result of thematic mapping, areas with different spatial distribution of vegetation were identified and visualized, which is demonstrated in the NDVI cartographic materials. It was found that the highest vegetation density is observed in mid-mountain and high-mountain areas, while in flat areas it is low, which necessitates the implementation of appropriate measures. The resulting NDVI map is important for planning environmental measures, including reclamation and melioration.*

**Keywords:** Landsat, NDVI map, QGIS vegetation cover, atmospheric correction, Nakhchivan

### Введение

Исследование состояния природной среды на основе цифровой обработки спектрально-зональных спутниковых снимков является актуальной научной задачей для горных районов, отличающихся сложными эко-географическими условиями. Многие научные исследования посвящены этому направлению, рассматривая состояние отдельных компонентов окружающей среды (Козодеров, Егоров, 2010; Агаев и др., 2016; Марданов, 2006).

Нахичеванская Автономная Республика (НАР) Азербайджана расположена на юго-востоке плоскогорья Южного Кавказа. Климат НАР в основном характеризуется сухими и резко-континентальными условиями. В республике выделяются контрастные ландшафты: низкогорные, среднегорные и высокогорные районы (в северной части), а также равнинные территории, преимущественно вдоль реки Араз (Аракс) — главной водной артерии региона. Эти резкие контрасты природно-климатических условий, естественно, отражаются и на

растительном покрове. В регионе наблюдаются полупустыни, степная растительность, горные луга и степи, а также субальпийские и альпийские луга, интразональные ландшафты и небольшие леса вдоль рек (Талыбов и др., 2017).

Для оперативного сравнительного анализа и изучения разнообразия растительного покрова земной поверхности со сложным рельефом на практике часто применяются региональные спутниковые снимки, обработанные и представленные в виде растровых изображений. Физической основой идентификации различий в растительности является её спектральная отражательная способность, которая характеризуется значительными различиями в отражении излучения разных длин волн. Это позволяет использовать спутниковые снимки для определения типов растительности и оценки их состояния (Курбанов, Воробьев, 2020).

Важным показателем состояния растительного покрова являются вегетационные индексы, расчеты которых основываются на двух наиболее стабильных участках кривой спектральной отражательной способности растений: красной зоне спектра (0,62–0,75 мкм), где происходит максимальное поглощение солнечной радиации хлорофиллом, и инфракрасной зоне (0,75–1,3 мкм), в которой зафиксировано максимальное отражение зелёного листового покрова (<https://gis-lab.info/ndvi>) (Исмаилов, 2023).

В современных исследованиях наиболее распространённым вегетационным индексом является NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index), который принимает положительные значения для растительного покрова. В данной работе рассматривается методический подход к созданию карты значений вегетационного индекса NDVI, характеризующего плотность распределения растительности на территории Нахичеванской Автономной Республики.

### Методика работы

Исходные спутниковые снимки обычно представляют собой необработанные гео-данные, которые требуют поэтапной предварительной и тематической обработки. Предварительная обработка включает коррекцию спутниковых изображений с целью улучшения их качества для решения конкретных задач. Одной из самых сложных задач в процессе коррекции спутниковых снимков является радиометрическая коррекция атмосферного влияния, которая зависит от региональных условий, определяющих формирование отражённого излучения, воспринимаемого на борту спутника (Чандра, Гош, 2008).

Атмосферная коррекция в данной работе проводилась путём преобразования значений пикселей спутникового снимка из энергетических единиц в значения яркости отражённого солнечного излучения  $L(0; \mu, \phi)$  [ $Bm/(m^2 \cdot мкм \cdot ср)$ ] на верхней границе атмосферы, принимая во внимание оптическую глубину  $\tau$ :

$$L(0; \mu, \phi) = \rho(\tau; \mu_0, \mu) \cdot S_0 \cdot \mu_0 \quad (1)$$

где предполагается, что отражение происходит изотропно по закону Ламберта (Исмаилов, 2023),  $\rho(\tau; \mu_0, \mu)$  - спектральный коэффициент яркости (СКЯ) атмосферы до оптической глубины  $\tau$ , при косинусах угла наклона  $\mu_0$  солнечных лучей и угла наблюдения земной поверхности  $\mu$ ,  $S_0$  - яркость солнечного излучения на верхней границе атмосферы при  $\tau=0$  (спектральная солнечная постоянная; ниже для простоты индекс  $\lambda$  опускается).

В формуле (1) атмосфера представляет оптическую неоднородность для приходящего излучения света. Для различных атмосферных слоёв безразмерную величину  $\rho(\tau; \mu_0, \mu)$  можно представить следующим образом:

$$\rho(\tau; \mu_0, \mu) = \rho_{at}(\tau; \mu_0, \mu) + T^\downarrow(\tau, \mu_0)T^\uparrow(\tau, \mu)\rho_0(\tau^*; \mu_0, \mu), \quad (2)$$

где  $\rho_{at}(\tau; \mu_0, \mu)$  - СКЯ атмосферы до оптической глубины  $\tau$ ,  $T^\downarrow(\tau, \mu_0)$  и  $T^\uparrow(\tau, \mu)$  прозрачности атмосферы, соответственно, в направлениях  $\mu_0$  и  $\mu$ ,  $\rho_0(\tau^*; \mu_0, \mu)$  - СКЯ системы атмосфера – подстилающая поверхность;  $\tau^* = \tau(0) - \tau(h_0)$ .

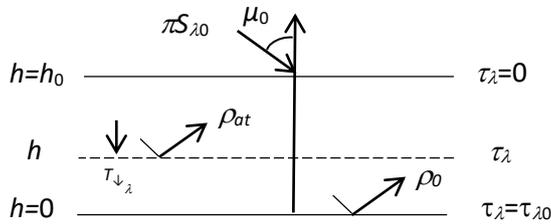


Рис. 1. Схема рассеяния света в атмосфере

На рис. 1 представлена упрощённая схема формирования отражённого излучения солнечного излучения в атмосфере. Предполагается, что реальные вертикальные профили оптической плотности атмосферы испытывают случайные отклонения  $\Delta\tau(h)$  от средних профилей  $\bar{\tau}(h)$ , описываемые уравнением:

$$\tau(h) = \bar{\tau}(h) + \Delta\tau(h) \quad (3)$$

Оценка значения  $\Delta\tau(h)$  проводится путём решения уравнения переноса излучения:

$$\rho_{at}[\bar{\tau}(h) + \Delta\tau(h); \mu_0, \mu] = \rho(\tau(h); \mu_0, \mu) \quad (4)$$

где  $\rho(\tau(h); \mu_0, \mu)$  - спутниковые данные СКЯ на оптической глубине  $\tau(h) = \tau(h) + \Delta\tau(h)$ .

На рис. 2 представлены результаты определения вертикальных профилей оптической толщины с использованием прикладной программы MATLAB и оптической модели атмосферы для красных и инфракрасных каналов спутника Landsat 8 за 2022 год (Курбанов и др., 2014; Гонсалес и др., 2006). Эти данные были использованы в работе для преобразования значений яркости исходного GeoTIFF в СКЯ земной поверхности при расчёте вегетационного индекса NDVI.

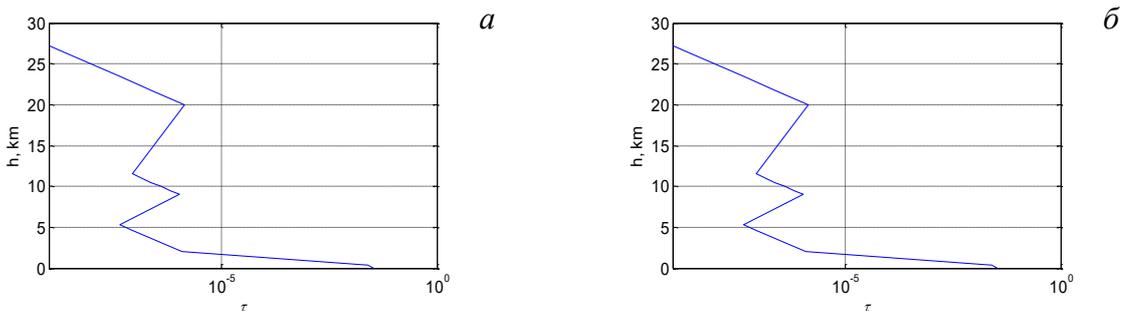


Рис. 2. Вертикальные профили оптической толщины атмосферы  $\tau(h)$ : а-по данным снимка LC08\_L1TP\_169033\_20240715\_20240715\_02\_RT\_B4, б-по данным снимка LC08\_L1TP\_169033\_20240715\_20240715\_02\_RT\_B5.

Принимая во внимание, что СКЯ наиболее полно определяет свойства отражающих поверхностей, целесообразно вычислять индекс NDVI, используя сумму и разность СКЯ в красном и ближнем инфракрасном диапазонах следующим образом:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}, \quad (5)$$

где  $\rho_{NIR}$  – коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра,  $\rho_{RED}$  – коэффициент отражения в красной области спектра.

## Результаты

Результаты поэтапных вычислений, выполненных в рамках указанной тематической обработки региональных космических снимков, представлены на рисунке 3. Для получения изображений 3а и 3д было использовано программное обеспечение QGIS (<https://www.osgeo.org/projects/qgis/>), в то время как изображения на рис. 3а и рис. 3б, а также расчёты на рис. 3д были выполнены с применением MATLAB (Исмаилов, 2021).

Сначала проведена атмосферная коррекция спутникового снимка Landsat по формулам (1-4), после чего было получено цветное изображение НАР (рис. 3а). Затем были созданы изображения в красной (рис. 3б) и инфракрасной зонах (рис. 3в) снимка. Для этих зон было определено двумерное пространство спектральных признаков территории НАР (рис. 3г), что указывает на значительную разреженность и бедность её растительного покрова. На рис. 3д представлено окончательное изображение (карта) распределения вегетационного индекса NDVI для всей территории Нахичеванской Автономной Республики.

Полученная карта ясно демонстрирует характерные особенности пространственного распределения значений индекса NDVI, а также растительного покрова НАР за 2022 год. Максимальная фотосинтетическая активность, что свидетельствует о богатом растительном покрове, наблюдается в горных районах, особенно в среднем и верхнем течении притоков реки Араз (Аракс). В то же время в центральной части, на территории Аразской низменности, выявлены участки с бедной растительностью, выделенные красным цветом.

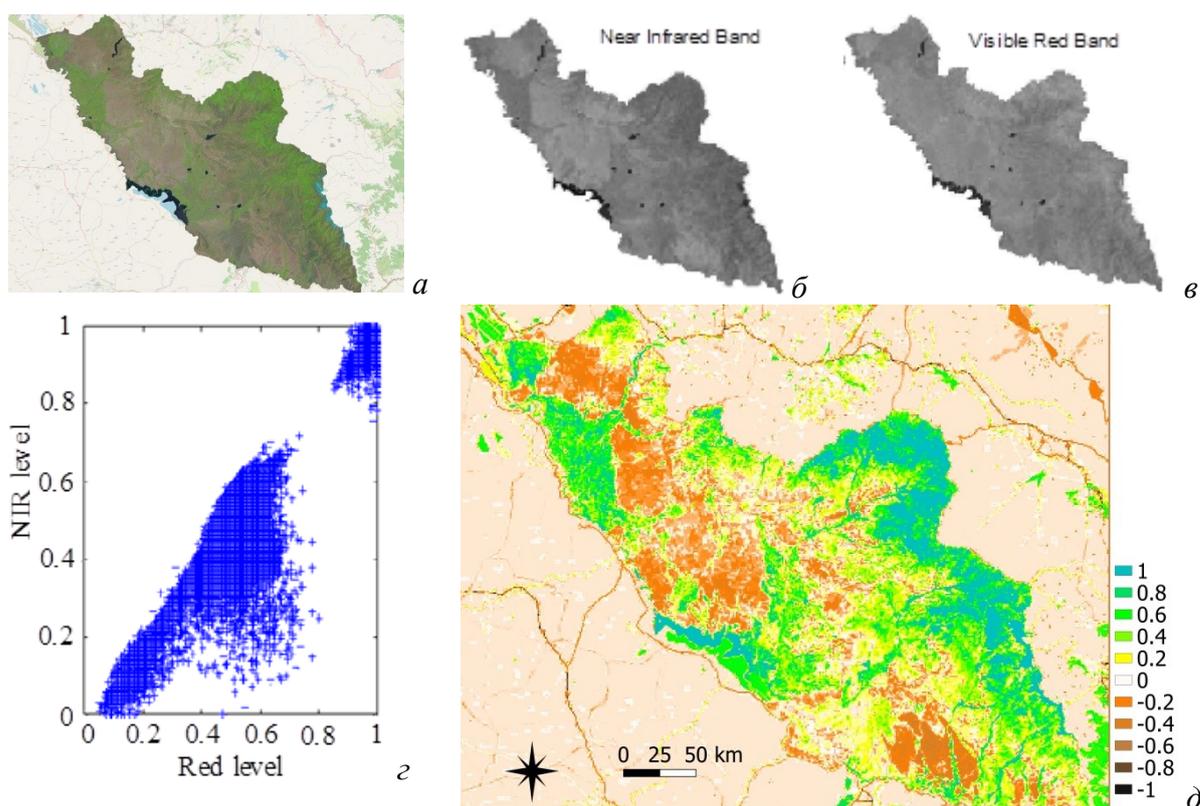


Рис. 3. Поэтапное построение тематической карты вегетационного индекса: а - цветовые преобразования; б, в - выделение NIR и RED изображений; г - анализ двумерного пространства спектральных признаков; д - карта распределения вегетационного индекса NDVI.

**Заключение.** Состояние растительности представляет собой ключевой показатель эко-географических условий аридных и семиаридных территорий, к которым относится территория Нахичеванской Автономной Республики. Для этой территории проведена

тематическая обработка космического снимка Landsat с целью получения пространственного изображения вегетационного NDVI. Для подготовки снимка была использована методика атмосферной коррекции регионального космического снимка.

В ходе исследования на основе полученной карты NDVI за 2022 год было проанализировано пространственное распределение растительного покрова рассматриваемой территории. Выявлено, что за исключением высокогорных районов и верховий притоков реки Араз, данная территория характеризуется низким уровнем растительности. В средней части Автономной Республики в основном преобладает скудная растительность. Это обстоятельство имеет важное значение для планирования природоохранных мероприятий, включая рекультивацию и мелиорацию.

Высокогорные и среднегорные районы данной территории характеризуются меньшим уровнем антропогенным воздействием и более высокой относительной влажностью. Напротив, предгорья и участки вдоль русла реки Араз, где наблюдается скудная природная растительность, наиболее нуждаются в реализации фитомелиоративных мероприятий. Эти мероприятия способны значительно улучшить почвенно-экологическую и в целом эко-географическую обстановку в регионе.

#### **Библиографический список**

1. Агаев А.Т., Исмаилов А.И., Сулейманов Т.И. 3Д (ТИН) моделирование территории наводнения на основе данных дистанционного зондирования и географических информационных технологий // Известия НАНА, Науки о Земле, 2016. №1-2. С. 80-84.
2. ГИС-ЛАБ: Геоинформационные системы и Дистанционное зондирование Земли. URL: <http://gis-lab.info/>.
3. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера, 2006. 616 с.
4. Исмаилов Ф.И. Способ определения оптических характеристик атмосферы и земной поверхности по региональным многоканальным космическим снимкам: св-во о регистрации № a20210039. – 2023.
5. Исмаилов Ф.И. Космический мониторинг по региональным космическим снимкам. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2023. 130с.
6. Козодеров В.В., Егоров В.В. Региональные аэрокосмические исследования почвенно-растительного покрова и подспутниковые эксперименты // Исследование Земли из космоса, 2010. №6. С. 30-42.
7. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н. Дистанционные методы в лесном хозяйстве: учебное пособие. Йошкар-Ола, 2020. 266 с.
8. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Губаев А.В., Лежнин С.А., Полевщикова Ю.А., Демишева Е.Н. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2014. № 1(21). С. 18-32.
9. Марданов И.И. Связь особенностей эрозионных процессов на южном склоне Главного Кавказского хребта со спектральными отражательными свойствами горно-луговых почв // Труды Географического Общества Азербайджана, 2006. Т. 10. С. 194-199.
10. Талыбов Т. Г., Маммадов Т. Ш., Ибрагимов А. Ш., Флора Нахчыванской Автономной Республики – Plumbaginaceae Juss. Баку: Элм, 2017. 176 с.
11. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Техносфера, 2008. 288 с.
12. NDVI - теория и практика. URL: <https://gis-lab.info/ndvi>.
13. QGIS Desktop. URL: <https://www.osgeo.org/projects/qgis/>.

#### **References**

1. Agaev A.T., Ismailov A.I., Suleimanov T.I. 3D (TIN) modelirovaniye territorii navodneniya na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya i geograficheskikh informatsionnykh tekhnologii (3D (TIN) modeling of flood area based on remote sensing data and geographic information technologies). *Izvestiya NANA, Nauki o Zemle*, 2016. №1-2. pp. 80-84.
2. GIS-LAB: Geoinformatsionnyye sistemy i Distantsionnoe zondirovaniye Zemli (GIS-LAB: Geographic Information Systems and Remote Sensing of the Earth). URL: <http://gis-lab.info/>.
3. Gonsales R., Vuds R., Eddins S. Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii v srede MATLAB (Digital Image Processing in MATLAB). *Tekhnosfera*, 2006. 616 p.

4. Ismailov F.I. Sposob opredeleniya opticheskikh kharakteristik atmosfery i zemnoi poverkhnosti po regional'nym mnogokanal'nym kosmicheskim snimkam: sv-vo o registratsii № a20210039 (Method for determining optical characteristics of the atmosphere and the earth's surface using regional multichannel space images: registration certificate No. a20210039). – 2023.
5. Ismailov F.I. Kosmicheskii monitoring po regional'nym kosmicheskim snimkam (Space monitoring using regional space images). *LAP LAMBERT Academic Publishing*, 2023. 130 p.
6. Kozoderov V.V., Egorov V.V. Regional'nye aerokosmicheskie issledovaniya pochvenno-rastitel'nogo pokrova i podsputnikovyie eksperimenty (Regional aerospace studies of soil and vegetation cover and sub-satellite experiments). *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2010. №6. pp. 30-42.
7. Kurbanov E.A., Vorobev O.N. Distantionnye metody v lesnom khozyaistve: uchebnoe posobie (Remote Sensing in Forestry: A Tutorial). Yoshkar-Ola, 2020. 266 p.
8. Kurbanov E.A., Vorobev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Polevshchikova Yu.A., Demisheva E.N. Chetyre desyatiletia issledovaniy lesov po snimkam Landsat (Four Decades of Forest Research Using Landsat Images). *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2014. № 1(21). pp. 18-32.
9. Mardanov I.I. Svyaz' osobennostei erozionnykh protsessov na yuzhnom sklone Glavnogo Kavkazskogo khrebta so spektral'nymi otrazhatel'nymi svoystvami gorno-lugovykh pochv (Relationship between the features of erosion processes on the southern slope of the Main Caucasian Range and the spectral reflective properties of mountain meadow soils). *Trudy Geograficheskogo Obshchestva Azerbaidzhana*, 2006. Vol. 10. pp. 194-199.
10. Talybov T. G., Mammadov T. Sh., Ibragimov A. Sh., Flora Nakhchivanskoi Avtonomnoi Respubliki – Plumbaginaceae Juss (Flora of the Nakhchivan Autonomous Republic – Plumbaginaceae Juss). Baku: Elm, 2017. 176 p.
11. Chandra A.M., Gosh S.K. Distantionnoe zondirovanie i geograficheskie informatsionnye sistemy (Remote Sensing and Geographic Information Systems). *Tekhnosfera*, 2008. 288 p.
12. NDVI - teoriya i praktika (NDVI - theory and practice). URL: <https://gis-lab.info/ndvi>.
13. QGIS Desktop. URL: <https://www.osgeo.org/projects/qgis/>.