

УДК 504; 062, 911.2; 912

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ЛЕСО-РАСТИТЕЛЬНОГО  
ПОКРОВА НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКИХ  
СНИМКОВ (НА ПРИМЕРЕ ДАШКЕСАНСКОГО  
И КЕДАБЕКСКОГО РАЙОНОВ)****В.М.МАМЕДАЛИЕВА, А.С.АГБАБАЛЫ, В.Р.НАСИРОВА**  
*Национальное Аэрокосмическое Агентство, Институт Экологии\*,  
Бакинский Государственный Университет\*\***valide.mamedaliyeva@mail.ru, akbabali@bsu.edu.az*

*Статья посвящена исследованию количественных коэффициентов деградации лесо-растительного покрова в регионе Малого Кавказа. Приводятся сведения о растительности указанного региона. Подробно показан процесс обработки космических снимков, включающий проведение радиометрической и атмосферной коррекции, а также определение состояния растительности на основе расчета индекса NDVI.*

**Ключевые слова:** лесо-растительный покров, космические снимки, радиометрическая и атмосферная коррекция, индекс растительности

**Введение.**

В настоящее время одной из важнейших экологических проблем признается проблема сохранения и приумножения лесного покрова. Всего 150-200 лет тому назад 35% территории Азербайджана было покрыто лесами. В настоящее время – только 12%, что гораздо меньше, чем в соседних Грузии и России. Большая часть лесных массивов располагается в северной и восточной частях Азербайджана. Так, 49% и 34% лесных ресурсов страны приходится на долю регионов Большого и Малого Кавказа соответственно. Объектами данного исследования стали леса соседних Дашкесанского и Кедабекского районов, входящих в регион Малого Кавказа.

Дашкесанский район расположен на северо-востоке Малого Кавказа, на высоте 1600-1800 метров над уровнем моря. Из полезных ископаемых есть железная руда, кобальт, аунит, мрамор, барит, золото и прочие; есть минеральные источники. На территории Дашкесанского района распространены бурые горно-луговые дерновые, бурые горнолесные почвы.

Растительный покров состоит из альпийских и субальпийских лугов, широколиственных горных лесов (произрастают дубы, грабы, буки), кустарниковых и редколесных лугов [1].

Кедабекский район находится в зоне средней и большой возвышенности Малого Кавказа. Максимальная высота составляет 3500 м. На территории района расположены месторождения черного и белого мрамора, меди, золота и бирюзы. Распространены бурые горнолесные, дерновые горно-луговые почвы. Растительный покров на среднегорье преимущественно состоит из кустарниковых и редколесных лугов, широколиственных лесов (дубы, буки, грабы), на высокогорных территориях распространены субальпийские и альпийские луга [2].

Из-за высокого уровня землепользования на исследуемой территории естественная растительность сохранилась в ограниченной степени. Однако климат, топография и разнообразие почвообразующих пород в этом районе привели к появлению здесь разнообразной лесной растительности.

Растительность на северо-восточном склоне Малого Кавказа сформирована по закону вертикальной зональности. С уменьшением высот наблюдаются изменения в растительных формациях. [3]

На северо-восточном склоне Малого Кавказа до высот 400-500 м распространена полупустынная и сухая степная растительность. Недостаток влаги в почве в этой зоне, высокие температуры летом, испарение влаги и засоление почвы – основные факторы, влияющие на изменение растительности. Быстрое разрастание ранней весной, затем исчезновение в конце апреля - начале мая, и вторичное появление осенью – таковы сезонные колебания.

Леса начинаются на высоте 600-700 м над уровнем моря. В некоторых частях Малого Кавказа среди основных лесных деревьев преобладают бук, клен, дуб и граб. На большинстве территорий высотой до 800-1000 м леса были полностью вырублены, а на их месте образовались производные растительные образования.

Высокогорная часть хребтов Шагдаг и Муровдаг покрыта субальпийскими лугами. Субальпийские луга образуют широкую полосу на высотах 1800-2300 м. Из-за вырубки леса местами эти луга опускаются до высоты 1800-1900 м.

В соответствии с проектом Национальной программы по восстановлению и увеличению лесов особая роль в исследованиях состояния лесного покрова отводится использованию ГИС-технологий и анализу спутниковых снимков. В данной статье будет подробно, по шагам показан процесс обработки спутниковых данных с целью определить параметры деградации лесо-растительного покрова на исследуемой территории.

#### **Материалы и методы**

Существует достаточное количество веб-серверов, распространяющих геопространственные данные, а именно, многоспектральные спутни-

ковые снимки. Спутниковые снимки представляют собой изображение местности, полученное на основе съемки со спутника. Сейчас разрешение некоторых космических снимков доходит до 0,5 метра, что позволяет рассмотреть детали, которых не увидеть на картах. Снимки делаются в различных диапазонах электромагнитных волн. Наиболее распространены изображения в видимом спектре, приведенные к так называемым натуральным цветам. Такие изображения используются на веб-сервисах, например, на Google Earth.

Основные операции, которые производятся над геоданными – это буферизация, кластеризация, пересечения. Основные элементы геопроектирования данных встроены в программы ГИС и пакеты обработки данных.

Тематическая обработка и дешифрирование – это процесс распознавания и описания объектов и явлений на космических снимках, которые производятся автоматически или с помощью специалиста. Помимо оптического диапазона, при дешифрировании объектов часто используются другие участки спектра.

Спутниковый снимок охватывает определенную территорию. Площадь территории зависит от типа сенсора спутника, а также от его орбиты, и конечно, высоты. Выше всех расположены геостационарные спутники. Высота их орбиты строго 35 786 км над уровнем моря, и вращаются они вдоль экватора. В связи с этим для описания положения спутника достаточно указать, над каким меридианом он находится. Например, геостационарный спутник «AzerSpace 1 / Africasat 1a», принадлежащий Азербайджану, занимает геостационарную орбиту 46,0°Е, то есть находится над экватором на 46° восточной долготы [4]. Скорость вращения геостационарных спутников вокруг Земли совпадает со скоростью вращения Земли. Поэтому для неподвижного наземного наблюдателя геостационарный спутник кажется также неподвижным. Он как бы висит в одной и той же точке неба, не меняя своего положения в зависимости от времени суток и времени года. На геостационарной орбите находятся в основном телекоммуникационные спутники. Спутники дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) расположены на более низких орбитах. В результате этого они постоянно перемещаются по небу относительно определенной точки на земной поверхности. Низкая орбита позволяет получать снимки с более высоким разрешением.

Стремительное развитие интернета, увеличение международной кооперации, в том числе, в научной сфере, привело к необходимости обмена геопространственными данными. С этим связано увеличение количества веб-серверов – поставщиков геоданных. Несомненный лидер среди таких сайтов – сайт Геологической службы США – [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov). На рис. 1 показана страница данного сайта после запуска при выборе территории Азербайджана.

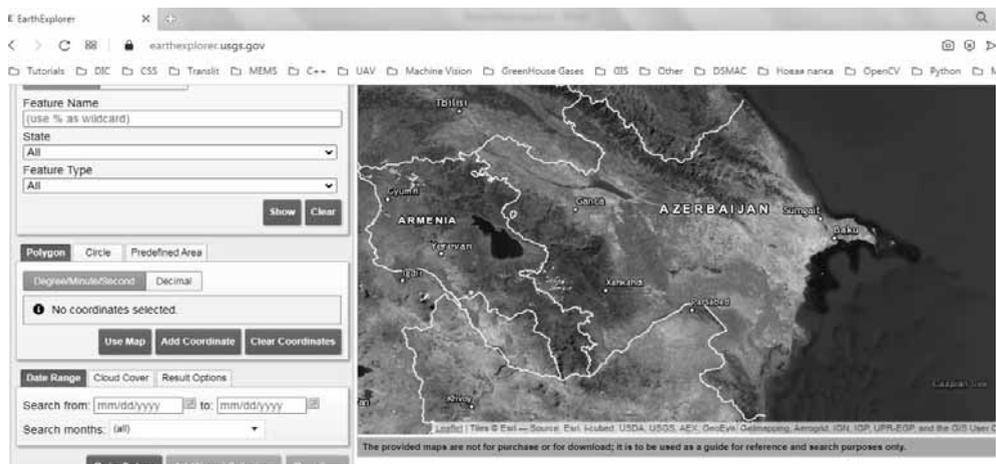


Рис. 1. Вид сайта earthexplorer.usgs.gov

Этот ресурс сочетает в себе средство просмотра космических снимков земной поверхности и средство поиска данных ДЗЗ с самых разных спутников по наиболее полному в мире каталогу. С его помощью пользователь может не только оформить заявку на найденные им по каталогу архивные данные, но и заказать новую съёмку, задав требуемые параметры.

На сайте USGS предлагается широкий ассортимент снимков земной поверхности, сделанных в различное время, от архивных, до современных, которые в большом количестве поставляются ныне функционирующими спутниками.

Особо следует сказать про снимки спутников серии Landsat. Ныне функционирующий спутник Landsat-8, как и его предшественники, производит снимки земной поверхности в различных диапазонах электромагнитного спектра. В таблице 1 приведены частоты диапазонов и пояснения спутника Landsat-8 [5].

Таблица 1

### Характеристики диапазонов частот, используемые Landsat 8

Номер диапазона	Диапазон частот, мкм	Разрешение, м	Примечание
1	0.433–0.453	30	Deep Blue and Violet
2	0.450–0.515	30	Blue
3	0.525–0.600	30	Green
4	0.630–0.680	30	Red
5	0.845–0.885	30	Near Infra Red (NIR)
6	1.560–1.660	30	Short Wave Infra Red (SWIR) 1
7	2.100–2.300	30	Short Wave Infra Red (SWIR) 2
8	0.500–0.680	15	Panchromatic (Pan)
9	1.360–1.390	30	Clouds
10	10.6–11.2	100	Thermal Infra Red (TIR) 1
11	11.5–12.5	100	Thermal Infra Red (TIR) 2

1-й диапазон чувствителен к глубокому синему и фиолетовому. Синий цвет трудно выделить, поскольку он легко рассеивается частичками пыли и воды и даже молекулами воздуха. Это одна из причин, по которым очень дальние объекты, например, горы на горизонте, а также небо, кажутся голубыми. Этот диапазон также называют прибрежным и аэрозольным, поскольку он в основном используется для отображения мелких вод и для слежения за частицами пыли и дыма. Разность 1-го и 2-го диапазонов, к примеру, отражает океан и живые растения.

Диапазоны 2 – 4 – видимые синий, зеленый и красный. Диапазон 5 – ближний инфра красный. Сравнивая разность красного и ближнего инфракрасного, можно определить индекс вегетации NDVI. Диапазоны 6 и 7 – коротковолновые инфракрасные.

8-й диапазон – панхроматический или черно-белый. Вместо отображения видимых цветов по раздельности, он сводит их в один канал. Поскольку этот сенсор принимает больше света за раз, он имеет повышенное разрешение (15 м), в отличие от цветного изображения (30 м). Однако, если объединить цветное изображение с панхроматическим, то получится цветное изображение повышенной четкости. Такая операция называется *pan sharpening*.

9-й диапазон самый узкий из всех (всего 10 нм) и предназначен для показа облаков. Используется тот факт, что этот диапазон почти полностью поглощается атмосферой. Перистые облака хорошо оттеняются в этом диапазоне. На рис. показано изображение в этом диапазоне. Диапазоны 10 и 11 – термо инфракрасные – они видят теплоту. Вместо измерений температуры воздуха, они показывают температуру на поверхности земли.

Для работы с геопространственными данными в последнее время создано большое количество разнообразных программ. Общеупотребительное название для таких программ – географические информационные системы (ГИС). Широко известны такие ГИС, как ArcGIS, ENVI, Erdas Imagine, MapInfo, QGIS.

Для выполнения исследования нами была использована программа ENVI, а также входящий в ее комплектацию модуль FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes). Главное назначение модуля – проведение радиометрической и атмосферной коррекции спутниковых снимков, то есть, приведение значений сенсора спутника к реальным значениям отражательной способности объектов на Земле, охватываемых сканером спутника [6].

Далее в статье показываются результаты применения к спутниковым снимкам различных видов обработки. Снимки после обработки сопровождаются спектральными профилями снимков. Спектральный профиль создается программой ENVI и показывает отражательную способность пикселя спутникового изображения (или массива пикселей, характеризующих некоторый объект) в различных спектральных диапазонах.

Для многих объектов покрытия земной поверхности созданы спектральные профили. Таким образом, по спектральным профилям можно сделать определенные выводы о характере данных объектов. Подобный принцип используется при расчете нормализованного дифференциального индекса растительности Normalized Differential Vegetation Index (NDVI). Поэтому на основании спектральных профилей снимков после каждого этапа обработки рассчитываются значения NDVI. Эти значения, полученные для разных лет, позволяют сделать выводы об изменениях площади лесных массивов, и соответственно, об уровне деградации.

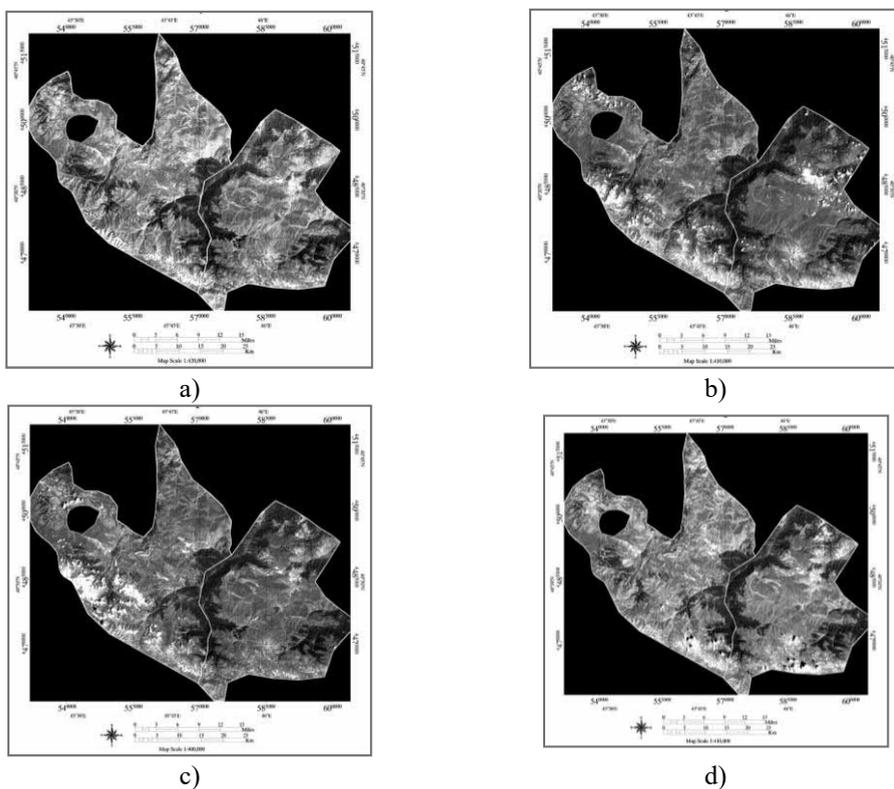
### **Результаты**

Изображение цифрового космического снимка, полученного оптико-электронной съемочной системой, представляет собой матрицу цифровых кодов яркостей. Каждый элемент матрицы (пиксель) определяется интенсивностью (мощностью) сигнала, отраженного от элемента земной поверхности. Регистрируемые сенсором характеристики поля излученных или отраженных электромагнитных колебаний зависят как от параметров, определяемых условиями съемки и характеристиками аппаратуры, так и от параметров, зависящих от физических и геометрических характеристик природных образований и других объектов, а также от характеристик атмосферы.

Каждое космическое изображение сопровождается метаданными, в которых отражаются дата и время съемки, тип датчика, угол отклонения луча сканирования от надира, высота и азимут солнца в момент съемки и др. Сами данные на выходе сенсора спутника называют необработанными, или «сырыми», а по английски – Digital Numbers (DN). Для получения требуемого информационного продукта эти данные проходят несколько этапов обработки. В зависимости от производителя снимков число этапов обработки может быть различным. Так для изображений Landsat необходимо произвести радиометрическую и атмосферную коррекцию. Параметры коррекции определяются метаданными.

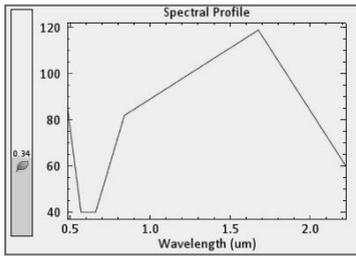
Таким образом, в программу ENVI передаются изображения вместе с метаданными. С помощью инструмента Radiometric Calibration значения пикселей (DN) преобразуются в яркость датчика (Radiance), и выражаются в микроватт/(см<sup>2</sup>×стерад×нм). После использования инструмента радиометрической калибровки применяется модуль FLAASH. Для обработки необходимы следующие параметры: тип сенсора, дата съемки, координаты изображения, качество видимости, модель аэрозолей, модель атмосферы. Для устранения воздействия аэрозолей использовался метод Кауфмана. Этот метод предполагает, что влияние аэрозолей на значение яркости в среднем инфракрасном диапазоне минимально (отражение менее 0,1), но существенно в видимом диапазоне. После ввода необходимых параметров в модуль FLAASH и выполнения этого модуля получается атмосферно скорректированное изображение [7, 8].

Учитывая вышесказанное, рассмотрим основные этапы обработки. Исходные мультиспектральные снимки приведены на рис. 2 а-d. Соответствующие спектральные кривые показаны на рис. 3 а-d. Даны также значения NDVI. Так, NDVI = 0,34 (1987 г.), NDVI = 0,64 (1998 г.), NDVI = 0,43 (2015 г.) и NDVI = 0,43 (2019 г.) Значения индексов получены для одной и той же области. Отметим предварительно, что самый низкий NDVI наблюдался в 1987 году, а самый высокий – в 1998 году. Однако на эти оценки могут повлиять радиометрические и атмосферные поправки после проведения соответствующих коррекций.

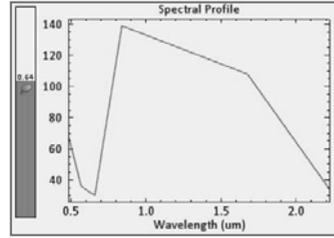


**Рис. 2.** Исходные спутниковые изображения Дашкесанско-Геранбойского района: а) 1987 г.; б) 1998 г.; в) 2015 г.; д) 2019 г.

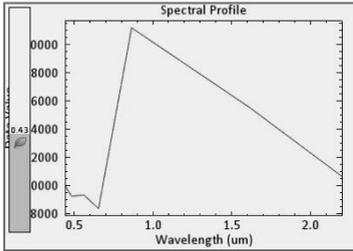
Изображения, полученные после проведения радиометрической коррекции, показаны на рис. 4 а-d, а соответствующие спектральные профили – на рис. 5 а-d. Сравнивая эти результаты со значениями NDVI исходных изображений, становится видно, что после радиометрической калибровки данный индекс уменьшился на 0,07 и 0,03 соответственно в 1987 и 1998 годах, но увеличился на 0,06 в 2015 и 2019 годах.



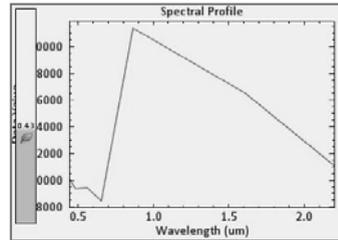
a)



b)



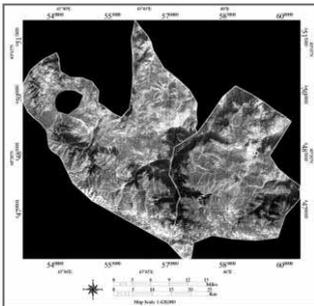
c)



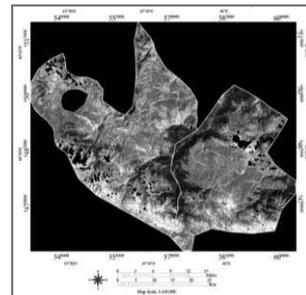
d)

**Рис. 3.** Спектральные профили изображений из рис. 2:  
а) 1987 г.; б) 1998 г.; в) 2015 г.; д) 2019 г.

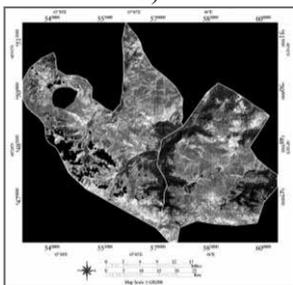
Полученные после проведения заключительной атмосферной коррекции изображения показаны на рис. 6 а-d, а соответствующие спектральные профили – на рис. 7 а-d соответственно. По сравнению с данными предыдущего этапа наблюдается прирост значений NDVI: в 1987 году на 0,24, в 1998 году – на 0,17, в 2015 и 2019 годах – на 0,2.



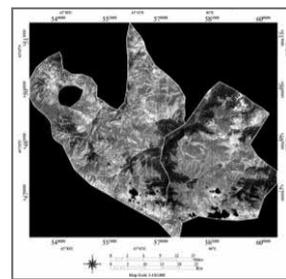
a)



b)

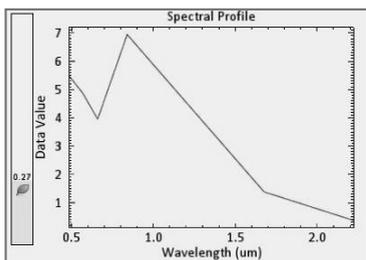


c)

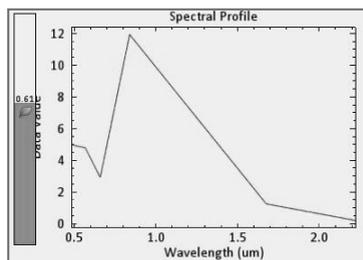


d)

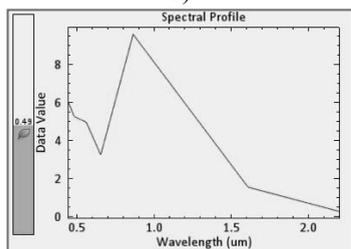
**Рис. 4.** Изображения Дашкесанско-Геранбойского района после проведения радиометрической коррекции: а) 1987 г.; б) 1998 г.; в) 2015 г.; д) 2019 г.



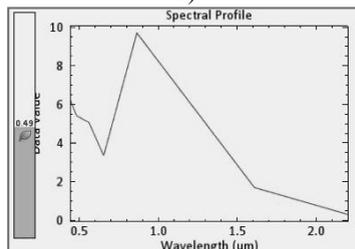
a)



b)

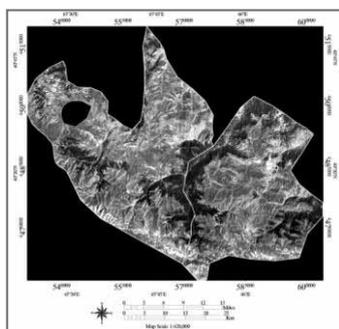


c)

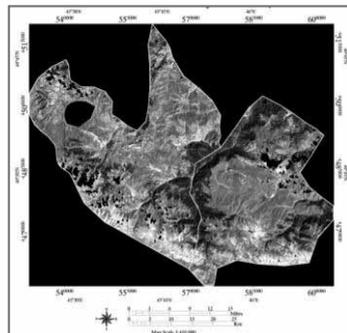


d)

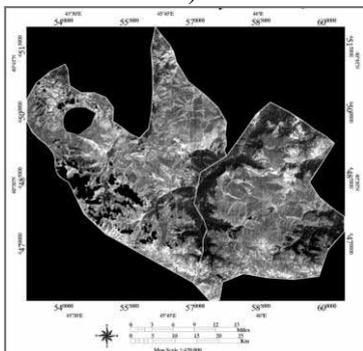
**Рис. 5.** Спектральные профили изображений на рис. 4:  
а) 1987 г.; б) 1998 г.; в) 2015 г.; д) 2019 г.



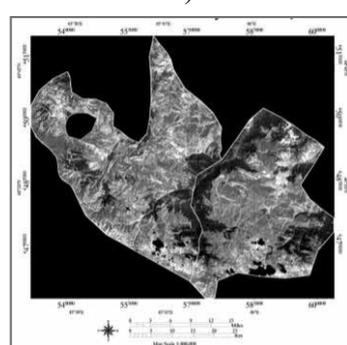
a)



b)



c)



d)

**Рис. 6.** Изображения Дашкесанско-Геранбойского района после проведения атмосферной коррекции: а) 1987 г.; б) 1998 г.; в) 2015 г.; д) 2019 г.

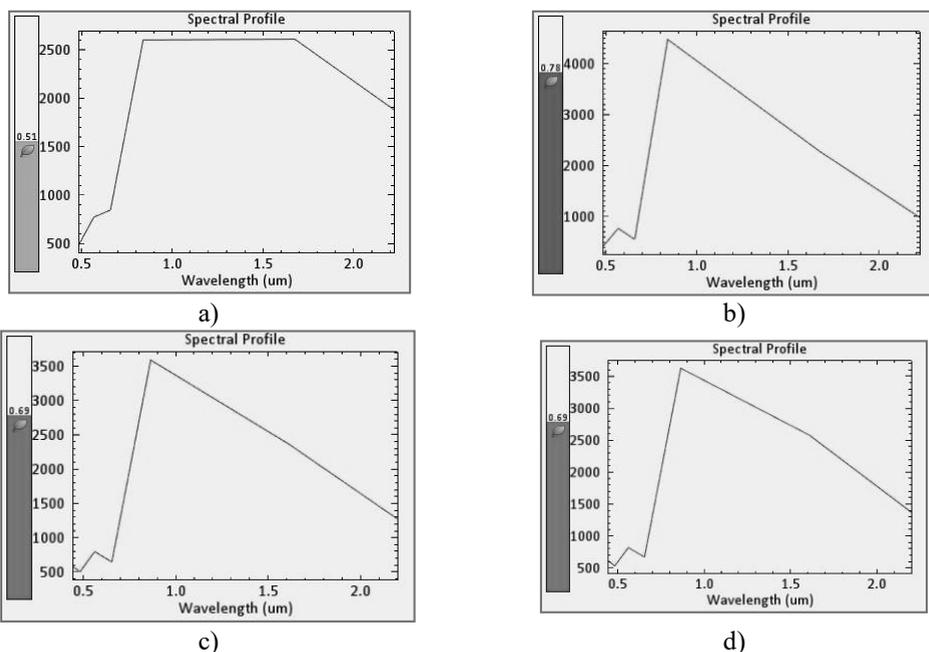


Рис. 7. Спектральные профили изображений на рис. 6:  
 а) 1987 г.; б) 1998 г.; в) 2015 г.; д) 2019 г.

## Выводы

Указанные значения индекса NDVI были сведены в таблицу 2.

Таблица 2

**Значения индекса NDVI, рассчитанные для одной и той же области изображений Дашкесанско-Кедабекского района после различных этапов предварительной обработки для разных лет**

Этапы предварительной обработки	Значения NDVI по годам			
	1987	1998	2015	2019
Исходные снимки	0,34	0,64	0,43	0,43
После радиометрической коррекции	0,27	0,61	0,49	0,49
После атмосферной коррекции	0,51	0,78	0,69	0,69

Анализ данных таблицы позволяет сделать следующие выводы:

1. Проведение как радиометрической, так и атмосферной коррекций влияет на расчет NDVI. В целом реализация различных видов коррекции влияла на значения NDVI примерно на  $0,14 \div 0,26$ .

2. Если обратить внимание на показатели NDVI, то результаты за 2015 и 2019 годы в определенной выбранной области были равны, а значит, в 2015-2019 годах эти показатели не изменялись. Однако в 1987 и 1998 годах были получены разные результаты, и между этими годами был достигнут определенный положительный прогресс, поскольку индекс NDVI, отражающий количество растительного покрова, увеличился.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Daşkəsan rayonu // Azərbaycan Sovet Ensiklopediyası / Bakı: Qızıl Şərq, 1979, t. 3, s.352-353.
2. Gədəbəy rayonu // Azərbaycan Sovet Ensiklopediyası / Bakı: Qızıl Şərq, 1982, t. 6, s.77
3. Гроссгейм А.А. Растительный покров Кавказа // М., 1948. Ф-ка дет. книги Детгиза. 267 с.
4. Список геостационарных спутников URL:  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_геостационарных\\_спутников](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_геостационарных_спутников). Дата доступа – 20.04.2021.
5. Landsat 8 Overview. URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview>. Дата доступа – 25.04.2021
6. Using ENVI. Atmospheric Correction. URL:  
<https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/flaash.html>. Дата доступа – 10.06.2021
7. Колесникова О.Н., Черепанов А.С.. Возможности ПК ENVI для обработки мультиспектральных и гиперспектральных данных // Геоинформатика. 2009, №3, с.24-27.
8. Толстохатко В.А., Пеньков В.А. Конспект лекций по курсу «Фотограмметрия и дистанционное зондирование». Модуль 2: «Дистанционное зондирование». Х.: ХНАГХ, 2013, 113 с.
9. Болсуновский М.А., Черепанов А.С. Атмосферная коррекция в ПО ENVI. Модуль FLAASH // ГеоПространственные технологии. 2006, №5.

## KOSMIK TƏSVİRLƏR ƏSASINDA MEŞƏ-BİTKİ ÖRTÜYÜNÜN DEQRADASIYA OLUNMUŞ ƏRAZİLƏRİNİN TƏYİNİ (DAŞKƏSƏN-GƏDƏBƏY TİMSALI)

V.M.MƏMMƏDƏLİYEVƏ, A.S.AĞBƏBALI, V.R.NƏSİROVA

### XÜLASƏ

Məqələdə Kiçik Qafqaz bölgəsində istifadə olunan peyk təsvirlərinin radiometrik kalibr-lənməsi və atmosfer korreksiyası yerinə yetirilmişdir.

NDVI hesablamalarına radiometrik və atmosferik korreksiyası emalının nəticələri müəyyən təsir göstərir. Bu səbəbdən təsvirlər müəyyən emal növləri üçün, məsələn, mineralların aşkarlan-masında, ilkin olaraq bu korreksiya növləri tətbiq edilməlidir ki, nəticələr müəyyən qədər düzgün alınsın.

**Açar sözlər:** meşə-bitki örtüyü, peyk görüntüləri, radiometrik və atmosfer korreksiyası, bitki indeksi.

## DETERMINATION OF FORESTRY AND VEGETATION COVER DEGRADATION ON THE BASIS OF SATELLITE IMAGES CORRECTION (DASHKASAN-GADABAY EXAMPLE)

V. M.MAMEDALIYEVA, A.S.AGHBABALI, V.R.NASIROVA

### SUMMARY

The article is devoted to the study of the quantitative coefficients of degradation of forest and vegetation cover in the region of the Lesser Caucasus. The information about the vegetation of the specified region is provided. The main stages of satellite images processing are shown in detail, including the performing of radiometric and atmospheric correction, as well as determining the state of vegetation based on the calculation of the NDVI index.

**Keywords:** forest and vegetation cover, degradation, satellite images, atmospheric cropping