

## ОБРАБОТКА РАЗНОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПК ENVI ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

В.М.Мамедалиева

*Институт Экологии, Национальное Аэрокосмическое Агентство,  
г. Баку, ул. С.С.Ахундов 1Е  
valide.mamedaliyeva@mail.ru*

### **История статьи:**

Дата поступления: 14 мая 2019  
Отправлена на доработку:  
25 сентября 2019  
Принята к публикации:  
13 декабря 2019

### **Ключевые слова:**

ПК ENVI  
FLAASH  
растительность  
мультиспектральные снимки  
спектральные кривые  
радиометрическая калибровка  
атмосферная коррекция

### **А н н о т а ц и я**

В статье показаны особенности применения методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для изучения состояния лесного покрова Исмаилинского района Азербайджана. Описываются этапы предварительной обработки данных мультиспектральных снимков, полученных спутником Landsat. Обработка данных включает проведение радиометрической и атмосферной коррекции и производится с помощью программного комплекса (ПК) ENVI. После проведения каждого очередного этапа обработки в статье приводятся откорректированные снимки, а также соответствующие им спектральные кривые. Для определения изменений состояния лесных массивов были изучены данные дистанционного зондирования лесных массивов 2001 и 2010 годов. Показанная методика обработки применялась во время проведения очередного мониторинга исследуемого района. По результатам мониторинга была построена карта-схема степени повреждения деревьев.

### **1. Введение.**

В настоящее время в большинстве развитых стран мира наблюдается явное изменение подхода к лесопользованию. Мир уходит от чисто экономического взгляда на леса и приходит к пониманию их экологической ценности [1].

Экологическая ценность лесного покрова зависит от его состояния. Пребывание в здоровом лесу повышает тонус, настроение. В то же время вид больного леса имеет отрицательное воздействие на человека. Получение своевременной информации о здоровье леса в том или ином районе повышает эффективность профилактических действий со стороны государства.

Несмотря на тот факт, что в Азербайджане лесной покров охватывает около миллиона га, что соответствует примерно 11% территории страны, на душу населения приходится всего 0,12 га площади лесов, что примерно в 4 раза меньше среднемирового уровня. С 2003 года действует Национальный план "По восстановлению и увеличению лесов". Согласно этому плану, важная роль отводится и применению современных компьютерных методов изучения состояния лесов, моделированию и прогнозированию процессов в этой сфере [2].

Подобный анализ позволяет планировать различные мероприятия по оздоровлению леса, оценивать степень успешности их, сравнивать,

как идут процессы в различных районах. В современное время такой анализ невозможен без применения спутниковых данных и географических информационных технологий (ГИС).

В декабре 2014 года национальный спутниковый оператор Азербайджана Азеркосмос принимает права на управление «Azersky», оптическим спутником наблюдения Земли с высоким разрешением. Кроме того, по договору с Airbus, Азеркосмос получает доступ к оптическим спутникам «Spot-6», «Pléiades-HR», а также радарным спутникам «TerraSAR-X» / «TanDEM-X».

Комбинированный потенциал приема изображений от «Azersky» и «Spot-6» составляет шесть миллионов квадратных километров в день [3]. Это означает лавинообразное увеличение геопространственных данных о лесном покрове, имеющих высокое разрешение. Таким образом, в ближайшем будущем доступных космических снимков будет еще больше, и потребуется определенная автоматизация их обработки. В этой связи усиливается роль всех этапов обработки, в том числе, и предварительной, и вместе с тем, возрастает актуальность разработки новых методов и инструментов обработки, в том числе программного обеспечения.

Цель статьи – изучить динамику изменений состояния лесного покрова и показать роль

предварительной обработки данных средствами ПК ENVI.

Объектом исследования в данной статье является состояние лесного покрова Исмаилинского района на основании данных 2001 и 2010 годов. Район привлекает внимание туристов своей богатой и уникальной флорой и фауной, а также наличием государственного заповедника. Оценка состояния лесной растительности, составления карты здорового и больного леса – показатель качества жизни в одном из центров отдыха Азербайджана.

Характерной особенностью спектрального отражения зеленой растительности является существенное его изменение с изменением длины волны. Основное влияние на спектральные характеристики отражения оказывают листовые пигменты, в том числе хлорофилл. Его спектр отражения в настоящее время хорошо изучен. В видимом диапазоне спектра, а именно в синей и красной областях спектра имеются две полосы поглощения на длинах волн, соответственно, 0,45 мкм и 0,65 мкм. Низкий уровень отражения растительности в видимом диапазоне определяется именно их наличием. Максимум отражательной способности приходится на зеленую часть спектра на длине волны приблизительно 0,54 мкм. В состоянии стресса образование хлорофилла в растениях уменьшается, что сопровождается снижением поглощения в соответствующих диапазонах спектра. Таким образом, ослабленные растения обладают более высокой отражательной способностью во всем видимом диапазоне спектра и, особенно, в красной его части, что внешне проявляется в дехромации листьев или хвои. В здоровых растениях влияние на их отражательную способность желтых (каротины и ксантофиллы) и красных (антоцианины) пигментов, также поглощающих свет в синей области спектра, маскируется влиянием хлорофилла. При стрессе же или естественном «старении» листьев, с уменьшением количества хлорофилла, они приобретают желто-красную окраску [4].

Коэффициент отражения зеленой растительности в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне заметно повышается и достигает 45-50%, что главным образом определяется внутренней структурой и количеством слоев листьев.

На определенных длинах волн среднего ИК диапазона, а именно 1,4, 1,9 и 2,7 мкм, вода сильно поглощает энергию, и, следовательно, содержание влаги в листьях оказывает существенное влияние на спектральный отклик растительности. При уменьшении влаги в листьях

их отражательная способность в среднем ИК диапазоне длин волн увеличивается. Кроме того, с потерей листьями влаги сильные изменения их внутренней структуры влияют и на отражательную способность в ближней ИК области спектра. [5].

Таким образом, учитывая хорошую корреляцию между значениями спектральных вегетационных индексов и степенью повреждения лесов, необходимо использование спектральных вегетационных индексов, полученных на основе данных дистанционного зондирования со спутников, для оценки состояния растительности. Также, наряду с одномоментными спутниковыми изображениями поврежденных лесов, их дистанционная оценка часто предполагает использование и данных съемки в моменты времени, предшествующие воздействию вредителей.

## 2. Метод исследования.

Исследование проводилось на основе мультиспектральных снимков спутников Landsat-5 и Landsat-7 за разные года с помощью ПК ENVI.

Программный комплекс ENVI, разработанный компанией Exelis VIS (США), предназначен для анализа мультиспектральных и гиперспектральных изображений и включает полный набор функций для обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) их интеграции с данными ГИС. Диапазон задач, решаемых с помощью ПК ENVI, достаточно широк: от ортотрансформирования пространственной привязки изображения до получения необходимой информации и ее интеграции с данными ГИС [6].

ENVI содержит спектральные библиотеки и инструментарий для выполнения спектрального и топографического анализов, анализа растительности и классификации изображений, используя следующие алгоритмы:

- K\_means, Isodata;
- Способ параллелепипедов (Parallelepiped decision rule);
- минимальное спектральное расстояние (Евклидова метрика, Minimum distance);
- расстояние Махаланобиса (Mahalanobis Distance);
- способ максимального правдоподобия (Maximum likelihood);
- классификация с помощью метода спектрального угла (Spectral Angle Mapper);
- двоичное кодирование (Binary Encoding);
- дерево принятия решений (Decision Tree);

- нейронная сеть (NeuralNetwork).

Достоинством программного комплекса является наличие удобных алгоритмов автоматической векторизации результатов классификации, что особенно важно при оперативном анализе результатов в современных ГИС.

Еще одна особенность ENVI – это наличие языка программирования IDL (Interactive Data Language), с помощью которого можно существенно расширить функциональные возможности программы для решения специализированных задач, создавать собственные и автоматизировать существующие алгоритмы обработки данных и выполнять пакетную обработку данных. Открытая архитектура ENVI обеспечивает удобство обработки и предоставляет пользователю возможность быстро и просто получать необходимую информацию [7].

С помощью модуля FLAASH (Fast Line\_of\_sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) можно получать более точную информацию из изображений, полученных с любого мультиспектрального или гиперспектрального сенсора, регистрирующего электромагнитное излучение в ближнем инфракрасном диапазоне, включая космические аппараты вертикального или наклонного визирования.

Для устранения влияния различных атмосферных явлений (водяного пара, кислорода, углекислого газа, метана, озона, молекулярного и аэрозольного рассеивания) используется программа переноса излучений MODTRAN, создающая уникальные решения для каждого изображения. FLAASH корректирует смещение сигналов от смежных пикселей, вызванных атмосферным рассеиванием, используя для этого настраиваемые спектральные фильтры нового типа. Учитывая вышеуказанную информацию,

с помощью ПК ENVI было исследовано состояние лесного покрова.

### 3. Анализ и обсуждение результатов.

В качестве входных данных были использованы полученные с геоинформационного портала United States Geological Survey (USGS) мультиспектральные снимки Landsat-5 2001 года и Landsat-7 2010 года [8]. Для анализа после каждого этапа обработки для обоих снимков создавались спектральные кривые. На рис. 1 и 2 представлены сами снимки, а также их спектральные кривые, полученные с помощью ПК ENVI. На снимках выделена территория Исмаиллинского района.

Использование разновременных спутниковых данных требует дополнительной обработки изображений для учета различий условий съемки, включая такие факторы, как фенологическое состояние растительности, геометрические условия наблюдений и освещения, прозрачность атмосферы и некоторые другие. Для компенсации влияния данных эффектов часто применяют относительную радиометрическую нормализацию разновременных спутниковых изображений.

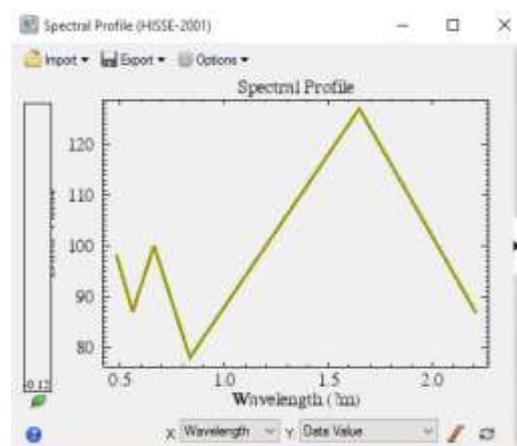
Перед основной обработкой полученный снимок необходимо провести через этап предварительной обработки, который заключается в проведении геометрической, радиометрической и атмосферной коррекций [9, 10].

*Радиометрическая коррекция* включает в себя два вида коррекций:

- радиометрическая коррекция искажений, возникающих по вине оптики сенсора;
- радиометрическая коррекция искажений, возникающих вследствие угла падения солнечных лучей и форм рельефа (устранения дефектов солнечных пятен и теней).



a)

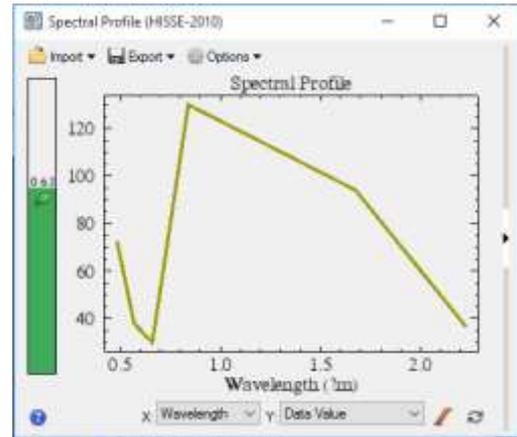


b)

Рис. 1– Снимок со спутника Landsat-5 2001 года (a) и его спектральная кривая(b)



a)

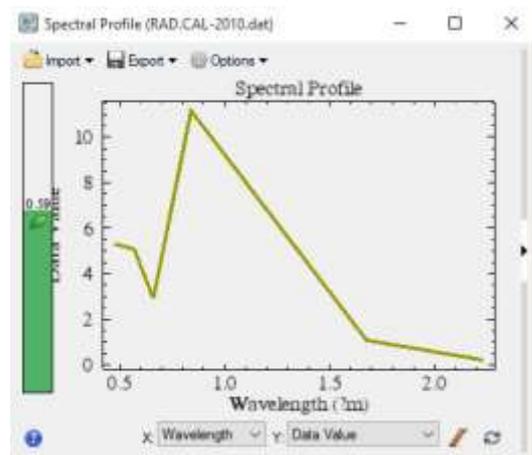


b)

Рис. 2. Снимок со спутника Landsat-7 2010 года (a) и его спектральная кривая (b)



a)

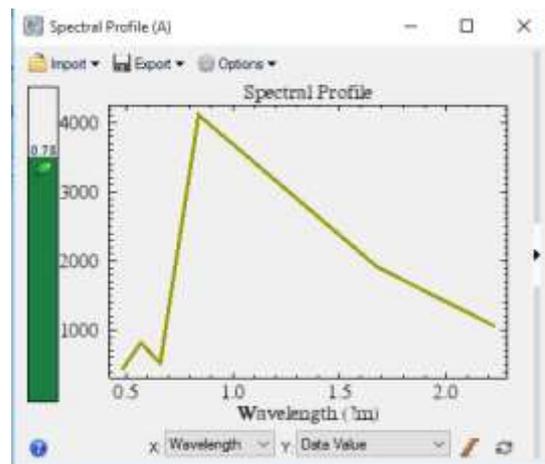


b)

Рис. 3. Результаты радиометрической калибровки снимка 2010 года: а) откалиброванный снимок; б) спектральная кривая после калибровки



a)



b)

Рис. 4. Результаты атмосферной коррекции снимка 2010 года: а) –откорректированный снимок; б) спектральная кривая после коррекции

Вначале проведем радиометрическую калибровку изображения. Радиометрическая калибровка – это калибровка значений выходного сигнала съемочного прибора и их перевод в абсолютные значения альbedo и радиационной

температуры. Калибровка производится с использованием данных телеметрии, поступающих со спутника вместе с изображением и калибровочных коэффициентов, рассчитываемых

для каждого съемочного прибора по результатам наземных и летных испытаний.

После проведения радиометрической калибровки результаты калибровки представлены на рис. 3.

Последующим этапом коррекции является атмосферная коррекция, которая устраняет различные искажения, внесенные наличием атмосферы.

Модуль атмосферной коррекции, устраняющий влияние различных атмосферных явлений (водяного пара, кислорода, углекислого газа, метана, озона, молекулярного и аэрозольного рассеивания), позволяет извлекать более точную информацию из данных ДЗЗ. Модуль включает два алгоритма, которые могут применяться при обработке как мультиспектральных, так и гиперспектральных снимков: Quick Atmospheric Correction (QUAC) и Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH).

Результаты атмосферной коррекции с использованием FLAASH представлены на рис. 4.

Данная методика обработки снимков была применена во время мониторинга повреждений лесных массивов Исмаиллинского района. Составлена карта распределения деревьев по категориям их состояния здоровья [12]. Карта приводится на рис. 5.

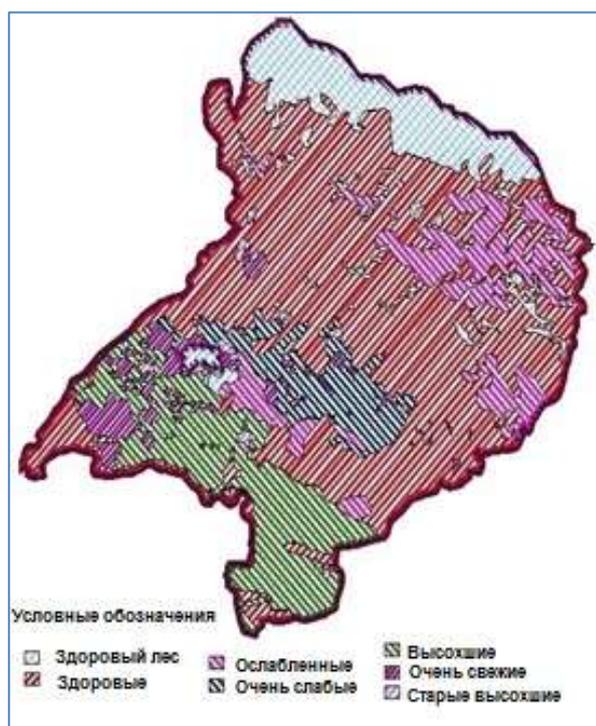


Рис. 5. Карта-схема степени повреждения деревьев Исмаиллинского района

#### 4. Выводы.

С помощью ПК ENVI было исследовано состояние лесного покрова. Показаны снимки до и после обработки, а также спектральные кривые.

Поскольку были использованы спутниковые данные, полученные в течение разных лет, потребовалась дополнительная обработка изображений для учета различий условий съемки, включая такие факторы, как фенологическое состояние растительности, геометрические условия наблюдений и освещения, прозрачность атмосферы и некоторые другие. Для компенсации влияния данных эффектов применялась относительная радиометрическая нормализация разновременных спутниковых изображений, радиометрическая коррекция искажений, возникающих по вине оптики сенсора, вследствие угла падения солнечных лучей и форм рельефа, а также атмосферная коррекция для устранения различных искажений, внесенных наличием атмосферы.

Показанная методика обработки применялась во время проведения очередного мониторинга исследуемого района. По результатам мониторинга была построена карта-схема степени повреждения деревьев.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка состояния лесов Европы. ЛесПром Информ, 2011, №5 (79). Источник: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=2376> (17.12.2019)
2. Информация о лесах. Источник: <https://azerbaijan.az/related-information/33> (17.12.2019)
3. Азербайджанский спутник «AzerSky» будет следить за газопроводами на земле, Источник: [https://moscow-baku.ru/news/society/azerbaydzhanskiy\\_sputnik\\_azersky\\_budet\\_sledit\\_za\\_gazoprovodom/](https://moscow-baku.ru/news/society/azerbaydzhanskiy_sputnik_azersky_budet_sledit_za_gazoprovodom/) (17.12.2019)
4. Барталев С.А., Егоров В.А., Крылов А.М. и др. Исследование возможностей оценки состояния поврежденных пожарами лесов по данным мультиспектральных спутниковых измерений. // [http://d33.infospace.ru/d33\\_conf/sb2010t3/215-225.pdf](http://d33.infospace.ru/d33_conf/sb2010t3/215-225.pdf) (17.12.2019)
5. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии: Пер. с нем.//М.: Мир, 1988. - 343 с.
6. Горбачева Е.Н. Программный комплекс ENVI — профессиональное решение для комплексной обработки мультиспектральных, гиперспектральных и радарных данных. Геоматика 2013, №2. С.50-52.
7. Болсуновский М.А. Возможности программного комплекса ENVI для обработки данных ДЗЗ. Геопрофи 2006, №3. С.18-19.

8. United States Geological Survey, Source: <https://earthexplorer.usgs.gov> (17.12.2019)

9. Центр дистанционного зондирования и ГИС, Источник: «Терра <http://gis-terra.kz/predvaritelnaya-obrabotka/> (17.12.2019)

10. Mendenhall J.A., Lencioni D.E., Evans J.B. Spectral and Radiometric Calibration of the Advanced Land Imager. // Lincoln Laboratory Journal. 2005, Vol. 15, № 2. P. 207-224.

11. Болсуновский М.А., Черепанов А.С. Атмосферная коррекция в ПО ENVI. Модуль FLAASH// Геопрофи, 2006 №5. с.22-54.

12. Джавадов Н.Г., Мамедалиева В.М. Метод определения дефолиации лесных массивов на основе обработки спутниковых изображений. Известия АНАКА. 2019, №2 (22). С. 3-8.

### IDENTIFICATION OF THE STATE OF VEGETATION BASED ON PROCESSING OF SATELLITE IMAGES OF THE DIFFERENT YEARS WITH USING ENVI PROGRAM

V.M.Mammadaliyeva

**Abstract.** The article shows the features of the state of the forest cover of the Ismaili region of Azerbaijan, through the application of methods of remote sensing of the Earth (ERS). The stages of preliminary processing of data through the images obtained by the Landsat satellite are described. Data processing includes radiometric and atmospheric correction and is performed with using the ENVI program complex. After each next processing step, the article shows the corrected images, and the corresponding spectral curves. To determine changes in the state of forests, the data of remote sensing of forests in 2001 and 2010 were studied. The processing technique is shown during the monitoring of the study area. Based on the monitoring results, a map-scheme showing the degree of damage posed to the trees was developed.

**Keywords:** Program complex ENVI, FLAASH, vegetation, multispectral images, spectral curves, radiometric calibration, atmospheric correction

### MÜXTƏLİF İLLƏRİN PEYK TƏSVİRLƏRİNİN ENVI PROQRAM TƏMİNATİ İLƏ EMALI NƏTİCƏSİNDƏ BİTKİ ÖRTÜYÜ VƏZİYYƏTİNİN MÜƏYYƏNLƏŞDİRİLMƏSİ

V.M.Məmmədaliyeva

**Xülasə.** Məqalədə məsafədən zondlama metodunun köməyi ilə Azərbaycanın İsmayılı rayonunun meşə örtüyünün vəziyyətinin əsas xüsusiyyətləri göstərilmişdir. Landsat verilənləri əsasında multispektral çəkilişlərin ilkin emalının mərhələləri qeyd edilmişdir. Verilənlərin emalı Proqram təminatı olan ENVI-nin köməyi ilə radiometrik və atmosfer korreksiyası aparılmışdır. Məqalədə hər bir növbəti emal mərhələsindən sonra korreksiya olunmuş təsvirlər, eləcə də müvafiq spektral əyriyə verilmişdir. Dəyişkənlikləri təyin etmək üçün məsafədən zondlamanın verilənlərinə görə meşə massivlərinin 2001 və 2010-cu illərinin vəziyyəti öyrənilmişdir. Tədqiq olunan ərazidə aparılan monitorinq zamanı emal metodikası göstərilmişdir. Monitorinqin nəticələrinə görə ağacların zədələnmə dərəcəsi xəritə-sxem əsasında qurulmuşdur.

**Açar sözlər:** PK ENVI, FLAASH, bitki örtüyü, multispektral təsvirlər, spektral əyriyə, radiometrik kalibrəmə, atmosfer korreksiya.