

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СПЕКТРАЛЬНОГО ИНДЕКСА EVI НА ОСНОВЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Сеитназаров Куанышбай Кенесбаевич – доктор технических наук, профессор

seytnazarov82tuitnf@gmail.com

Нукусский государственный технический университет

Мадиримова Саодатжон Мадиримовна – соискатель
Ташкентский университет информационных технологий

Туремуратова Бийбиназ Кенесбаевна – магистрант

Айтмуратов Бахтияр Бахбергенович – студент

baxty2007@gmail.com

Нукусский государственный технический университет

МУЛЬТИСПЕКТРАЛ МАЪЛУМОТЛАР АСОСИДА EVI СПЕКТРАЛ ИНДЕКСГА ДАСТЛАБКИ ИШЛОВ БЕРИШ МОДУЛИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

Сеитназаров Куанышбай Кенесбаевич – техника фанлари доктори, профессор

Нукус давлат техника университети

Мадиримова Саодатжон Мадиримовна – тадқиқотчи

Тошкент ахборот технологиялари университети

Туремуратова Бийбиназ Кенесбаевна – магистрант

Айтмуратов Бахтияр Бахбергенович – студент

Нукус давлат техника университети

DEVELOPMENT OF A PRELIMINARY PROCESSING MODULE FOR THE SPECTRAL INDEX EVI BASED ON MULTISPECTRAL DATA

Seitnazarov Kuanyshbay Kenesbaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor

Nukus State Technical University

Madirimova Saodatjon Madirimovna – applicant

Tashkent University of Information Technologies

Turemuratova Biybinaz Kenesbaevna – master's student

Aitmuratov Bakhtiyar Bakhbergenovich – student

Nukus State Technical University

Таянч сўзлар: ернинг масофадан зондланиши, мултиспектрал тасвирлар, маълумотларни дастлабки қайта ишлаш, вегетацион индекслар, EVI, атмосфера коррекцияси, эксперт тизимлари, геоинформацион технологиялар.

Резюме. Мақолада масофадан зондлаш маълумотларини таҳлил қилишга мўлжалланган эксперт тизими таркибида фойдаланиш учун ишлаб чиқилган мултиспектр сунъий иўлдаш тасвирларини дастлабки қайта ишлаш модулини яратиш ва амалга ошириш масалалари кўриб чиқилади. Ушбу модуль бошланғич маълумотларни тўлиқ қайта ишлаш циклини таъминлайди. Айниқса, ўсимлик қопламанинг ҳолатига, хусусан хлорофилл миқдорига юқори сезгирликка эга бўлган EVI вегетацион индекслари ҳисоблашга алоҳида эътибор қаратилган. Шунингдек, модуль архитектураси конвейер ёндошуви асосида қурилган бўлиб, бу катта ҳажимдаги сунъий иўлдаш тасвирларни қайта ишлашда модуллиқ, масштабланувчанлик ва барқарорлиқни таъминлайди. Амалга ошириш жараёнида ҳисоблашларни оптималаштириш, шунингдек PostgreSQL/PostGIS геофазовий маълумотлар базаси билан интеграция масалалари ҳам кўзда тутилган.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, мултиспектральные изображения, предварительная обработка данных, вегетационные индексы, EVI, атмосферная коррекция, экспертные системы, геоинформационные технологии.

Резюме. В статье рассматривается разработка и реализация модуля предварительной обработки мултиспектральных спутниковых изображений программного обеспечения, предназначенного для использования в составе экспертной системы анализа данных дистанционного зондирования земли. Данный модуль обеспечивает полный цикл преобразования исходных данных. Особое внимание уделено вычислению индексов EVI, которые обладают высокой чувствительностью к состоянию растительного покрова, в особенности содержанию хлорофилла. Также стоит отметить, что архитектура модуля построена на основе конвейерного подхода, которая обеспечивает модульность, масштабируемость и устойчивость обработки больших объёмов спутниковых изображений. Реализация включает оптимизацию вычислений, а также интеграцию с геопространственной базой данных PostgreSQL/PostGIS.

Key words: Earth remote sensing, multispectral imagery, data preprocessing, vegetation indices, EVI, atmospheric correction, expert systems, geoinformation technologies.

Summary. This article examines the development and implementation of a preprocessing module for multispectral satellite imagery as part of a software system intended for use within an expert system for Earth remote sensing data analysis. The proposed module provides a complete transformation pipeline for raw input data. Particular attention is paid to the calculation of the Enhanced Vegetation Index (EVI), which demonstrates high sensitivity to vegetation condition, especially chlorophyll content. It should also be noted that the module architecture is based on a pipeline approach, ensuring modularity, scalability, and robustness in the processing of large volumes of satellite imagery. The implementation includes computational optimization as well as integration with a geospatial PostgreSQL/PostGIS database.

Введение. Современные задачи мониторинга почвы требуют применения интеллектуальных методов обработки данных дистанционного зондирования земли. Мультиспектральные спутниковые изображения являются одним из наиболее информативных источников пространственно-временной информации о состоянии земной поверхности, однако их эффективное использование невозможно без качественной предварительной обработки. Радиометрические и атмосферные искажения, облачность, ошибки геопривязки и различия между сенсорами существенно снижают достоверность последующего анализа.

Целью данного исследования является разработка модуля предварительной обработки и расчёта вегетационных индексов, интегрированного в архитектуру экспертной системы анализа данных дистанционного зондирования земли на примере Нукусского района. В рамках исследования реализованы методы радиометрической и атмосферной коррекции, маскирования облачности, оптимизированные алгоритмы расчёта индексов и механизмы обработки больших сцен, что обеспечивает устойчивость и масштабируемость решения.

Методы. Модуль предварительной обработки и расчёта вегетационных индексов является критически важным компонентом программного комплекса, обеспечивающим трансформацию исходных мультиспектральных изображений в калиброванные данные, пригодные для применения механизма логического вывода экспертной системы. Качество работы этого модуля непосредственно влияет на достоверность результатов классификации, поскольку любые погрешности и артефакты, внесенные на этапе предварительной обработки, распространяются на все последующие стадии анализа.

Функциональность модуля охватывает полный цикл преобразования данных от загрузки исходных файлов спутниковых снимков до формирования нормализованных значений вегетационных индексов EVI, GNDVI и CVI. Модуль разработан с учетом специфики данных различных спутниковых платформ таких, как Landsat-8/9 и Sentinel-2, автоматически определяет характеристики сенсоров и применяет соответствующие параметры обработки.

Архитектура модуля предварительной обработки. Модуль построен на основе конвейерной архитектуры, где данные последовательно проходят через цепочку обработчиков, каждый из которых выполняет специфическую операцию трансформации. Центральным элементом архитектуры является класс *PreprocessingPipeline*, координирующий выполнение последовательности этапов обработки [1, 2].

Класс *SceneLoader* отвечает за загрузку исходных мультиспектральных данных из различных источников: локальной файловой системы, сетевых хранилищ или непосредственно из каталогов спутниковых данных. Загрузчик автоматически идентифицирует тип данных на основе структуры файлов и метаданных, извлекает необходимые спектральные каналы и создает единообразное внутреннее представление в виде многомерного массива NumPy с размерностью. Для эффективной работы с большими файлами

используется ленивая загрузка через библиотеку *Rasterio*, позволяющая считывать данные по мере необходимости блоками фиксированного размера.

Класс *AtmosphericCorrector* реализует коррекцию атмосферных эффектов, искажающих спектральные характеристики объектов на земной поверхности. Реализованы два метода атмосферной коррекции: упрощенный метод вычитания темного объекта и метод преобразования к отражательной способности на поверхности (с англ., *Surface Reflectance*, SR) с использованием модели 6S (с англ., *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) [3, 4].

Метод DOS основан на предположении, что в сцене существуют объекты с нулевой или близкой к нулю истинной отражательной способностью, а наблюдаемая ненулевая отражательная способность таких объектов обусловлена атмосферным рассеянием. Коррекция выполняется путем определения минимального значения отражательной способности в каждом канале и вычитания этого значения из всех пикселей канала:

$$p_{corrected} = p_{TOA} - p_{min}$$

где p_{min} – минимальное значение отражательной способности, интерпретируемое как вклад атмосферы. Несмотря на упрощенность, метод DOS обеспечивает приемлемые результаты для большинства типов ландшафтов и применяется по умолчанию при отсутствии детальной информации об атмосферных условиях.

Более точная коррекция с использованием модели 6S требует информации о содержании аэрозолей, водяного пара и других атмосферных параметров. Модуль интегрирован с библиотекой *Ry6S*, предоставляющей Python-интерфейс к модели 6S. При наличии данных о видимости атмосферы и аэрозольной оптической толщине выполняется полная атмосферная коррекция с учетом геометрии наблюдения, географического положения и времени съемки. Результатом является отражательная способность на уровне поверхности, свободная от атмосферных искажений и оптимальная для расчета вегетационных индексов [5, 6].

Класс *GeoreferencingValidator* проверяет корректность географической привязки данных и при необходимости выполняет их трансформацию в единую систему координат. Все растровые слои проверяются на согласованность пространственного разрешения, системы координат и границ покрытия. При обнаружении несоответствий выполняется репроекция с использованием метода ближайшего соседа для сохранения исходных значений пикселей или билинейной интерполяции для более гладких результатов. Валидатор также проверяет наличие корректной геотрансформации и целостность пространственных метаданных [9, 10].

Реализация расчёта вегетационных индексов. Модуль расчёта вегетационных индексов построен на принципах векторизованных вычислений, обеспечивающих высокую производительность обработки многомиллионных массивов данных. Центральным компонентом является класс *VegetationIndexCalculator*, предоставляющий единый интерфейс для вычисления различных индексов.

Расчёт индекса EVI (с англ., Enhanced Vegetation Index) реализован в классе EVICalculator согласно стандартной формуле MODIS:

$$EVI = G \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C_1 \times RED - C_2 \times BLUE + L)}$$

где стандартные коэффициенты составляют: $G = 2.5$, коэффициент усиления, $C_1 = 6.0$, $C_2 = 7.5$, коэффициенты коррекции аэрозолей, $L = 1.0$, коэффициент коррекции фона почвы. На рис.1. показан расчёт индекса EVI на примере мультиспектральных данных Нукусского района [6].

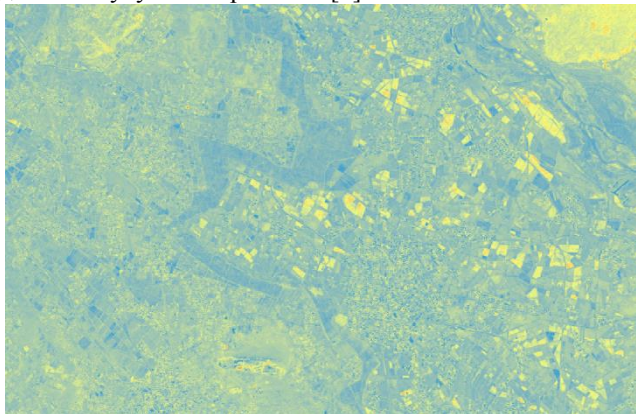


Рис.1. показан расчёт индекса EVI на примере мультиспектральных данных Нукусского района

Реализация использует NumPy для выполнения поэлементных операций над массивами:

```
def calculate_evi(nir, red, blue, G=2.5, C1=6.0, C2=7.5, L=1.0):
    numerator = nir - red
    denominator = nir + C1 * red - C2 * blue + L
```

```
# Обработка деления на ноль и недопустимых значений
```

```
with np.errstate(divide='ignore', invalid='ignore'):
```

```
    evi = G * np.where(denominator != 0, numerator / denominator, 0)
```

```
# Ограничение диапазона [-1, 1]
```

```
    evi = np.clip(evi, -1.0, 1.0)
```

```
    return evi
```

Заключение. В данной работе разработан модуль предварительной обработки и расчёта вегетационных индексов, предназначенный для использования в интеллектуальных системах анализа данных дистанционного зондирования Земли. Реализованный подход обеспечивает полный цикл преобразования мультиспектральных спутниковых изображений – от загрузки и калибровки до формирования информативных индексов растительности.

Модульная архитектура, использование оптимизированных вычислительных методов и поддержка обработки больших сцен гарантируют масштабируемость и устойчивость программного комплекса. Полученные результаты подтверждают, что рассчитанные индексы EVI, обладают высокой стабильностью и пригодны для последующего применения в механизмах логического вывода экспертных систем.

Разработанный модуль может быть использован для задач экологического мониторинга, анализа агроландшафтов и оценки состояния растительного покрова, а также служит основой для дальнейшего развития интеллектуальных геоинформационных систем и баз знаний в области дистанционного зондирования Земли.

Литература

1. Усманов Р. Н., Сеитназаров К. К. Программный комплекс нечетко-детерминированного моделирования гидрогеологических объектов. // Автоматика и программная инженерия, 2014, № 1 (7). – С. 29-34.
2. Тюменцев А. И. и др. Выявление геоморфологических особенностей рельефа по данным дзз как поискового признака месторождений. // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле, 2024, № 3. – С. 96-103.
3. Сеитназаров К.К., Туремуратова Б.К. Применение технологии искусственного интеллекта в системе дистанционного образования. // Новости образования: исследование в XXI веке, 2022. Т. 1, № 1. – С. 176-185.
4. Kuenzer C., Dech S. Remote Sensing Time Series – Revealing Land Surface Dynamics. – Springer, 2016.
5. Сеитназаров К.К., Турдышов Д.Х., Туремуратова Б.К., Мухиятдинов Н.С. Обзор методов получения космических изображений с высоким разрешением. // Наука и общество. – С. 28.
6. Султанов Б.К., Туремуратова Б.К., Айтмуратов Б.Б. Обзор исследований в области применения аэрокосмических снимков для мониторинга территориальных объектов на основе дистанционного зондирования Земли. // Innovative Achievements in Science 2024. 2024. Т. 3, № 35. – С. 73-78.
7. Сеитназаров К.К., Юсупова М.Т., Туремуратова Б.К. New remote sensing methods for detecting vegetation in adverse areas. // Железнодорожный транспорт: актуальные вопросы и инновации. 2024. Т. 3. – С. 15-21.
8. Чураков А.А. Методы классификации в дистанционном зондировании. – Москва: Изд-во МГУ, 2019.