



УДК 528.8  
ББК 22.19

## ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРИБОРА MODIS ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ<sup>1</sup>

*Д.В. Бурнос, И.И. Клиточенко, Н.М. Кузьмин*

Рассмотрена динамика нормализованного относительного индекса растительности и характеристик аэрозоля в атмосфере для Волго-Ахтубинской поймы за последние пять лет. Проведена цифровая и первичная статистическая обработка данных спутникового зондирования, полученных при помощи прибора MODIS.

**Ключевые слова:** цифровая обработка данных, дистанционное зондирование Земли, Волго-Ахтубинская пойма, вегетативные индексы, атмосферный аэрозоль.

### Введение

В настоящее время достаточно широко обсуждается экологическая обстановка в Волго-Ахтубинской пойме (ВАП). Существует ряд факторов, в том числе климатических, которые определяют состояние ВАП. Периодически повторяющийся влагодефицит в засушливые и маловодные годы является одним из наиболее опасных явлений, приводящих к негативным экологическим последствиям для ВАП. Натурные наблюдения на местности не могут обеспечить комплексную, интегральную оценку экологического состояния ВАП. Поэтому использование данных спутникового дистанционного зондирования Земли, позволяющее обеспечить практически непрерывный мониторинг атмосферы, земной и водной поверхностей, является актуальной задачей.

Для отслеживания динамики растительного покрова широко используется нормализованный относительный индекс растительности (Normalized Difference Vegetation Index, далее — NDVI) — показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Этот параметр может непосредственно характеризовать состояние поймы.

Другим параметром, который может быть использован для анализа состояния ВАП, может являться состав и характеристики аэрозолей над поверхностью суши. С одной стороны, наличие аэрозоля в атмосфере влияет на потоки солнечного излучения при его прохождении через атмосферу и может являться причиной климатических изменений. Так, например, согласно современным данным, неопределенность наших знаний об аэрозоле приводит к значительному разбросу оценок приземной температуры при прогнозировании климатических изменений. А с другой стороны — оптические характеристики

аэрозоля зависят как от синоптической ситуации, так и от состояния и характеристик подстилающей поверхности [1; 2].

Для анализа ситуации в ВАП были выбраны свободно доступные данные наблюдений электронно-оптического спектрорадиометра MODIS, установленного на спутниках NASA серии EOS (Terra и Aqua). Этот прибор обеспечивает дистанционное зондирование Земли в 36 различных полосах спектра, что позволяет получать информацию о различных свойствах облаков, атмосферы, земной и водной поверхностей.

Данные MODIS/Terra и MODIS/Aqua доступны как в необработанном виде, так и в виде разнообразных продуктов MODIS (на сегодняшний день — 34 наименования), сгруппированных в несколько уровней. Продукты MODIS содержат данные о вегетативных индексах, атмосферных аэрозолях, водяных парах, термических аномалиях и др. [3; 4]. Необработанные данные MODIS доступны практически за каждые сутки с момента запуска спутников, обработанные данные в виде продуктов MODIS — около одного раза в неделю; пространственное разрешение варьируется от 250 до 10 000 м, в зависимости от разрешения соответствующего спектрального канала прибора.

Для построения тематических карт и первичной статистической обработки данных по аэрозолям и NDVI были использованы следующие продукты MODIS: MOD04\_L2 и MYD04\_L2 — Aerosol Product (разрешение  $10 \times 10$  км, доступны через интерактивный интерфейс на веб-сайте NASA <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>), а также MOD13Q1.005 и MYD13Q1.005 — Gridded Vegetation Indices (разрешение  $250 \times 250$  м, доступны через интерактивный интерфейс на веб-сайте NASA [https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get\\_data/data\\_pool](https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get_data/data_pool)). Префиксы MOD и MYD относятся к данным, полученным со спутников Terra и Aqua, соответственно.

В нашей работе рассмотрены данные за промежуток времени с 2005 г. по 2009 г. в период наиболее активной вегетации — с мая по июль каждого года.

## 1. Географическая привязка данных MODIS

Продукты MODIS доступны в виде файлов формата HDF-EOS, являющегося расширением формата HDF (hierarchical data format — иерархический формат данных), широко используемого для обмена научными данными [5]. В файлах продуктов MOD04\_L2 и MYD04\_L2 хранятся двумерные массивы данных о характеристиках атмосферного аэрозоля (распределения аэрозольной оптической толщи, параметра Ангстрема и др. для наблюдаемого участка поверхности Земли) и соответствующие каждому элементу этих массивов географические координаты.

В файлах продукта MOD13Q1, содержащих сведения о распределении вегетативных индексов, географическая привязка организована иначе: в них хранятся только координаты вершин четырехугольника, соответствующего территории наблюдений (более обширной, чем территория ВАП). На рисунке 1 схематично изображена структура файла MOD13Q1 с указанием диапазона значений индексов и географических координат [6].

Для географической привязки нужно установить соответствие между индексами каждого элемента массива и координатами. Опишем алгоритм поиска индексов  $i, j$  элемента массива для точки с заданными координатами (обозначена на рисунке 1 черной точкой).

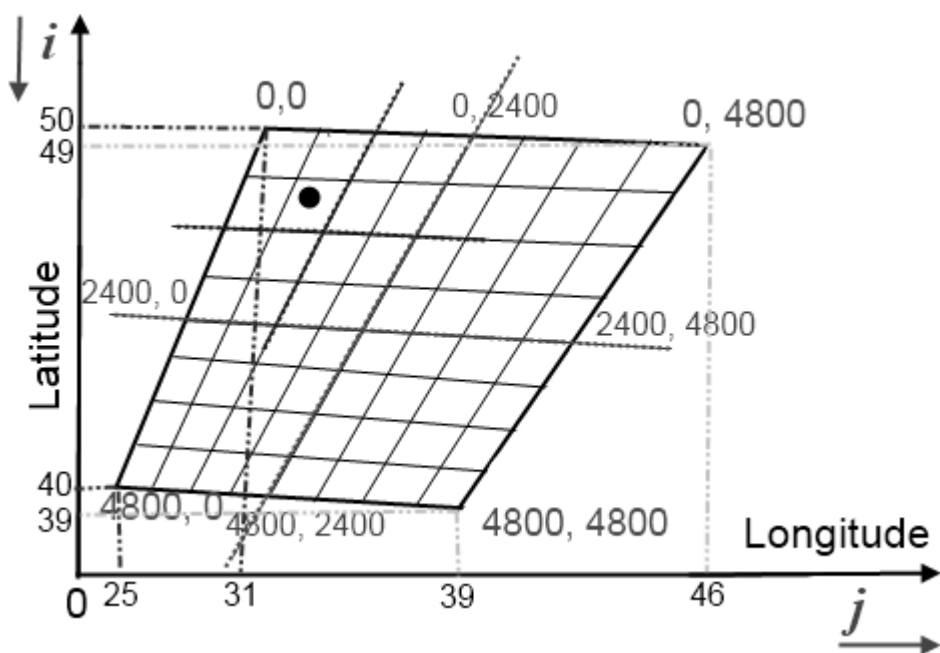


Рис. 1. Схема поиска соответствия значений координат и индексов элементов массива данных

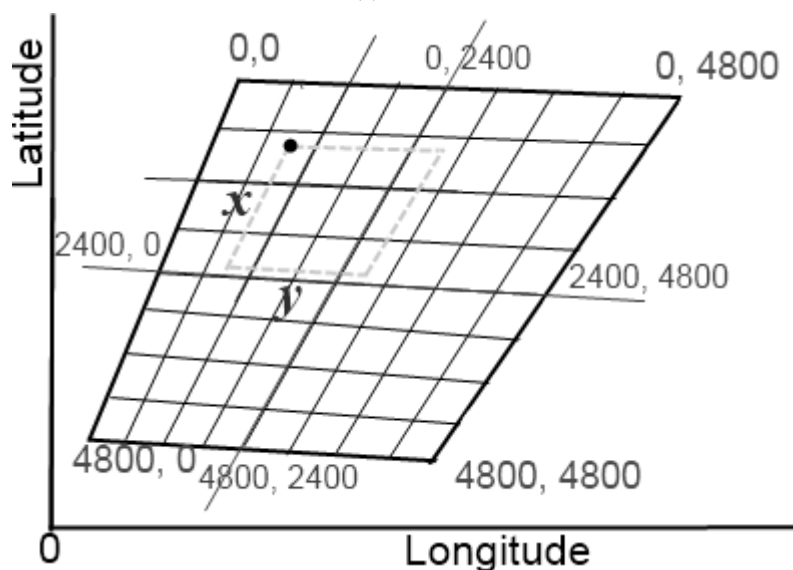


Рис. 2. Область поиска значений индексов в массиве данных

1. Поскольку нас интересуют не все данные, хранящиеся в массиве, а только те, которые соответствуют ВАП, то поиск будем осуществлять только в области, соответствующей ВАП (рис. 2).
2. Как показано на рисунке 1, делим данную область на четыре части и выясняем, в какую из них попала заданная точка.
3. Повторяем шаг 2 до тех пор, пока не найдем соответствующие заданной точке индексы  $i$ ,  $j$ .

Особенностью наборов данных в продуктах MODIS является наличие «значений заполнения»: в массивах данных есть элементы, для которых значения наблюдаемой ве-

личины по каким-то причинам не удалось получить (например, для индекса NDVI — это те элементы, которые соответствуют водоемам). Значения таких элементов приравниваются некоторому заранее заданному значению заполнения, не попадающему в диапазон значений наблюдаемой величины. Для расчета статистических характеристик такие элементы мы не учитывали.

Кроме того, данные в продуктах MODIS хранятся в целочисленном виде, вследствие чего необходима их нормировка для получения числовых значений в принятых для них единицах измерения. Такая нормировка осуществляется следующим образом:

$$value = scalefactor(storedvalue - addoffset),$$

где  $value$  — отнормированное значение элемента набора данных;  $scalefactor$ ,  $addoffset$  — переменные масштабирования и сдвига, определенные в hdf-файле для каждого набора данных;  $storedvalue$  — значение, непосредственно хранящееся в hdf-файле.

## 2. Первичная статистическая обработка данных

Полученные нами значения NDVI и аэрозольной оптической толщи для ВАП были усреднены по пространству и по времени: для всей территории поймы и за каждый выбранный месяц.

По результатам первичной статистической обработки данных самые высокие максимальные значения NDVI наблюдались в 2008 г., самые низкие — в 2007 году. Самые высокие средние значения NDVI наблюдались в 2008 г., самые низкие — в 2007 году (см. рис. 3). Самые большие стандартные отклонения значений NDVI наблюдались в 2008 году, самые маленькие — в 2007 году (см. рис. 4).

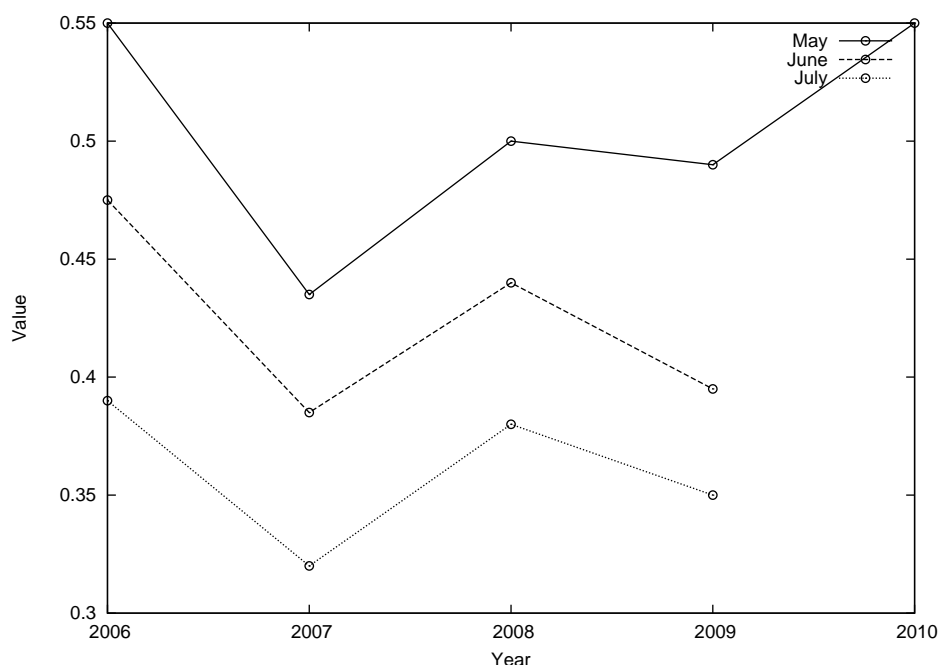


Рис. 3. Средние значения вегетативного индекса NDVI для Волго-Ахтубинской поймы для разных лет.

Самые высокие максимальные значения АОТ наблюдались в 2008 г., самые низкие — в 2007 году. Самые высокие средние значения АОТ наблюдались в 2007 г., самые

низкие — в 2005 г. и 2008 году (см. рис. 5). Стандартные отклонения значений АОТ за последние пять лет в период наиболее активной вегетации существенно не менялись (см. рис. 6).

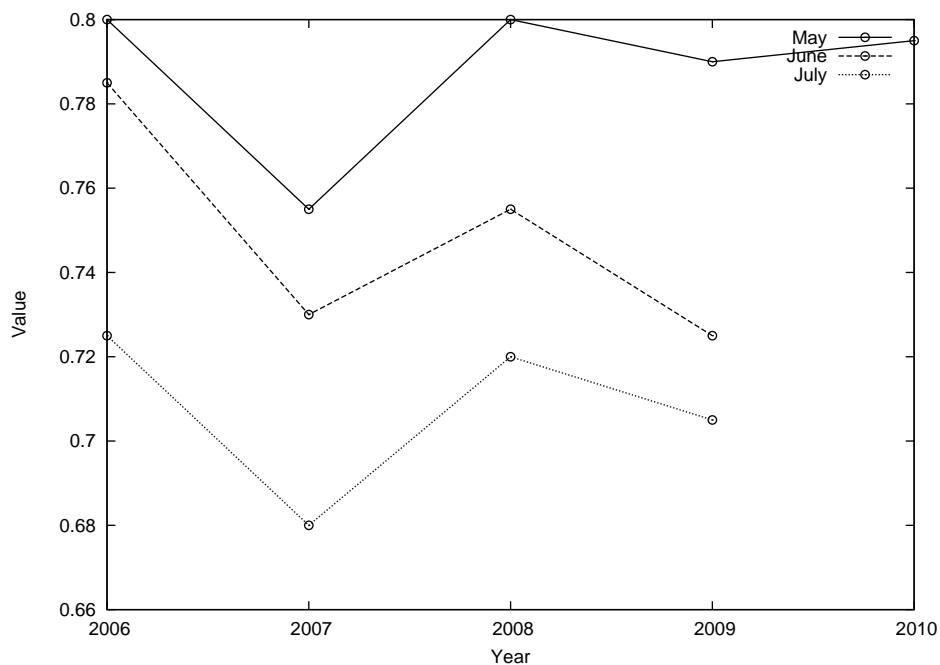


Рис. 4. Стандартные отклонения значений вегетативного индекса NDVI для Волго-Ахтубинской поймы для разных лет

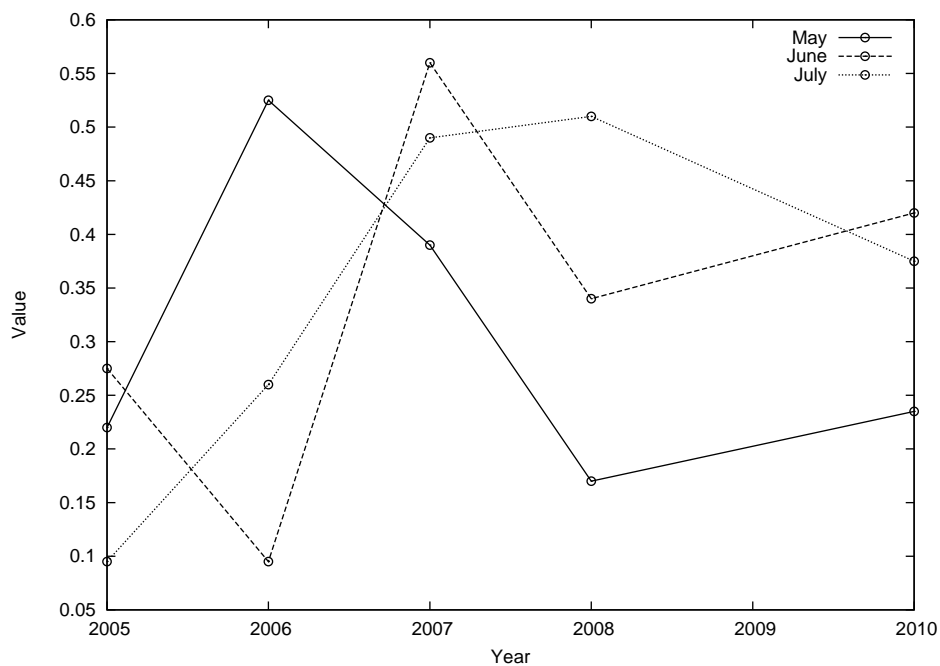


Рис. 5. Средние значения аэрозольной оптической толщины для Волго-Ахтубинской поймы для разных лет

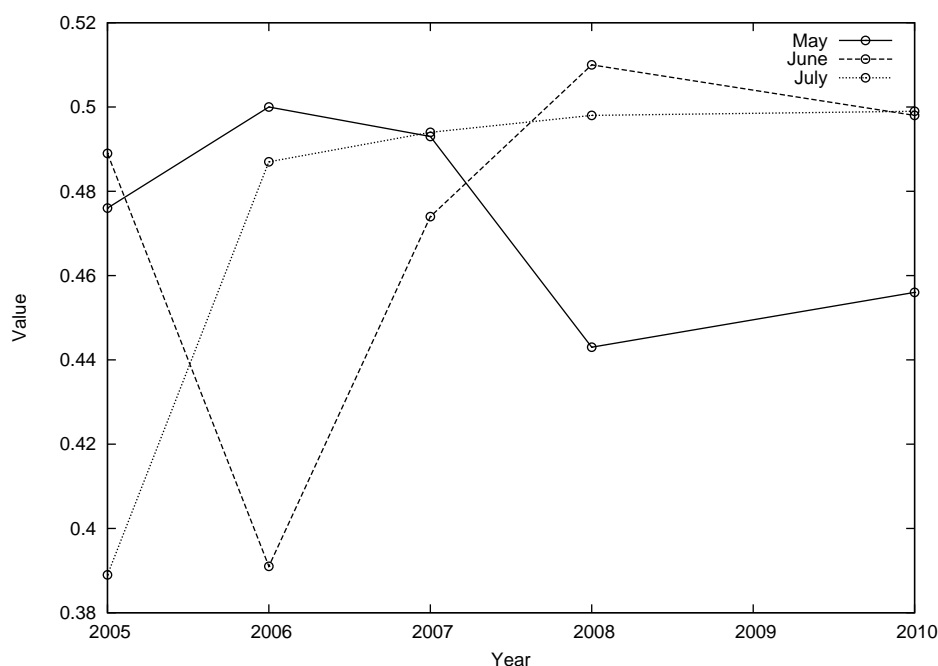


Рис. 6. Стандартные отклонения аэрозольной оптической толщи для Волго-Ахтубинской поймы для разных лет

### Заключение

В работе для ВАП в целом получены средние значения и дисперсия NDVI индекса и аэрозольной оптической толщи. Полученные значения индекса NDVI соответствуют разреженной растительности, причем максимальные значения индекса наблюдались в мае, а минимальные в июле. Предварительный анализ показал, что высоким значениям индекса NDVI соответствуют низкие средние значения аэрозольной оптической толщи, и наоборот, высоким значениям аэрозольной оптической толщи соответствуют низкие значения индекса NDVI. В дальнейшем предполагается провести детальный статистический анализ пространственного распределения этих параметров.

### Примечания

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке ГК 02.740.11.5198 от 12.03.2010 года и гранта РФФИ № 11-05-97044-р-Поволжье. Авторы признательны К.М. Фирсову за полезные обсуждения работы и ценные замечания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Махоткина, Е. Л. Анализ годового хода и межгодовой изменчивости аэрозольной оптической толщины атмосферы над территорией России / Е. Л. Махоткина, А. Б. Лукин, И. Н. Плахина, Н. В. Панкратова // Исследование Земли из космоса. — 2006. — № 5. — С. 63.
2. Райст, П. Аэрозоли. Введение в теорию / П. Райст. — М. : Мир, 1987. — 280 с.
3. Earth Observation System (EOS) Data Products Handbook. Vol. 1. — Greenbelt Maryland : NASA Goddard Space Flight Center, 2003. — 260 p.

4. Earth Observation System (EOS) Data Products Handbook. Vol. 2. — Greenbelt Maryland : NASA Goddard Space Flight Center, 2003. — 253 p.
5. HDF4 User's Guide. The HDF Group (THG) Release 2.5. — Greenbelt Maryland : NASA Goddard Space Flight Center, 2010. — 521 p.
6. Huete, A. MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document / A. Huete, C. Justice, W. van Leeuwen. — Greenbelt Maryland : NASA Goddard Space Flight Center, 1999. — 120 p.

## **DIGITAL PROCESSING DATA FROM MODIS FOR ECOLOGICAL MONITORING OF VOLGA-AKHTUBA FLOOD PLAIN**

*D.V. Burnos, I.I. Klitochenko, N.M. Kuzmin*

The dynamics of normalized difference vegetation index and characteristics of aerosol for Volga-Akhtuba flood plain over past five years are investigated. The data from NASA MODIS mission was used. Digital and initial statistical processing was made.

**Key words:** *digital data processing, remote sensing, Volga-Akhtuba flood plain, vegetation indexes, atmospheric aerosol.*