

# Метод определения береговых линий водных объектов на основе обработки данных дистанционного зондирования Landsat

А.С. Тертычная  
Волгоградский государственный  
университет  
Волгоград, Россия  
anna.kuzmich@volsu.ru

К.С. Тертычный  
Волгоградский государственный  
университет  
Волгоград, Россия  
tertychny@volsu.ru

А.В. Хоперсков  
Волгоградский государственный  
университет  
Волгоград, Россия  
khoperskov@gmail.com

**Аннотация** — Проблема определения береговых линий является важной для различных гидрологических, экологических, геофизических исследований. Сложная система водоемов разных размеров, особенно на территории крупных пойм при наличии растительных массивов и заболоченных зон, требует специальных подходов для выделения границ водных объектов. В работе разработан алгоритм обработки космоснимков, позволяющий строить карты всех водоемов на заданной территории. Созданное программное обеспечение основано на использовании данных двух инфракрасных диапазонов Landsat ETM+ (4-й и 5-й каналы). Определены оптимальные значения интенсивностей для 4-го и 5-го каналов, позволяющие выделять водоем. Модель протестирована для двух регионов с сильно различающимися условиями на примере Волго-Ахтубинской поймы (ВАП) и реки Амазонки. Построены карты водоемов северной части ВАП с разрешением 30 метров и области вблизи г. Манаус в Амазонии. Наши результаты демонстрируют, что многоканальные спутниковые данные, включающие инфракрасные диапазоны, позволяют надежно выделять границы водных объектов.

**Ключевые слова** — карта, дистанционное зондирование, снимки, гидрологические объекты, космоснимки, Landsat.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Данные дистанционного зондирования становятся основным источником информации о крупномасштабном состоянии поверхности Земли по мере повышения пространственного разрешения изображений и расширения диапазона излучения, используемого для съемок [1, 2, 3, 4]. Пятидесятилетняя история спутниковых спектральных исследований поверхности Земли, начиная с Landsat-1 1972, позволила получить огромный набор эффективных алгоритмов обработки данных и соответствующего программного обеспечения [5, 2]. Важным является наличие инфракрасной части спектра, которая позволяет изучать распределение влаги на поверхности [2]. Более тонкий анализ дает возможность оценить степень загрязненности поверхности воды разного рода примесями, используя, например, измерение Water Transparency по правилам Secchi disk depth [6].

Целью нашей работы является разработка метода построения системы оцифрованных береговых линий различного рода водоемов, как речного типа, так и стоячей водой (пруды, водохранилища, озера) на основе многоканальных данных дистанционного зондирования. Такие наборы береговых границ определяют постоянные уровни высоты рельефа, что можно использовать для улучшения качества цифровой модели рельефа, которые лежат в основе решения самых различных задач динамики поверхностных вод [7, 8, 9]. Мы проверяем эффективность метода для двух существенно

различающихся регионов Земли, каждый из которых характеризуется развитой системой водоемов на различных пространственных масштабах. Волго-Ахтубинская пойма (Юг России) имеет разреженные (слабые) леса и окружена аридной территорией с малым объемом осадков и слабым облачным слоем.

Бассейн реки Амазонка является противоположностью, поскольку обладает многоярусной растительностью с мощным практически постоянным облачным покровом, являясь тем самым хорошим сложным тестом для выделения береговых линий.

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Мы используем наборы мультиспектральных снимков спутников Landsat 7 ETM+ по данным Геологической службы США (USGS GloVis) за период с 2000 по 2001 год.

Водные объекты на снимках соответствующих сигнатур должны быть значительно темнее и хорошо контрастировать с другими часто встречающимися видами поверхности. Мы разработали приложение CoastLineMapAnalyzer на языке Java. Клиентское приложение отправляет запрос в «New Data Controller», в котором содержится сгенерированный идентификатор пакета данных для обработки. Вычислительный модуль производит обработку данных из очереди в соответствии с концепцией FIFO. В один момент времени в обработке находится только один комплект данных. Таким образом, получение запроса не гарантирует начало работы над новыми данными, и оно начинается только после завершения работы над всеми предыдущими запросами. За счет этого обеспечивается максимальная скорость обработки каждого конкретного пакета. Обработка данных происходит в многопоточном режиме, что за счет эффективного распараллеливания обеспечивает высокую скорость решения задачи.

## 3. СПОСОБЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ВИДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В качестве первого полигона для анализа рассмотрим территорию Волго-Ахтубинской поймы (Россия), как более простой объект с меньшим числом негативных факторов. Мы используем двухканальные изображения (4 канал + 5 канал) Landsat 7 ETM+. Для каждого из этих двух каналов имеем соответствующие пространственные матрицы интенсивности  $A_{x,y}^{(k)}$ , значения элементов которых находятся в пределах от 0 до 255. RGB-изображения строим только по данным 4-го и 5-го каналов: 4-й канал определяет интенсивность красного цвета (R), 5-й канал дает вклад в зеленый цвет (G). Интенсивность синего цвета (B) равна 0 до обработки изображения.

Итоговое изображение водоемов после обработки определяется цветом в бинарном виде для каждого пикселя:  $V = 0$  – воды нет,  $V = 255$  – есть вода.

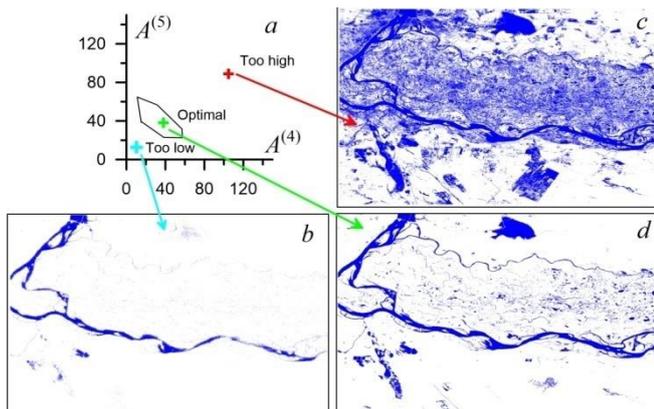


Рис. 1. На плоскости параметров  $A^{(4)}$  –  $A^{(5)}$  приведена итеративная процедура выбора наилучших комбинаций этих двух параметров (а); б –  $A^{(4)} = 10$ ,  $A^{(5)} = 10$  (выделяется маленькая часть водоемов), д –  $A^{(4)} = 40$ ,  $A^{(5)} = 42$  (оптимальные значения), с –  $A^{(4)} = 90$ ,  $A^{(5)} = 90$  (слишком высокий уровень дает большую долю ложных водоемов)

Рисунок 1 наглядно демонстрирует влияние выбора параметров  $A_{crit}^{(4)}$  и  $A_{crit}^{(5)}$ , определяющих наличие воды, на результат построения карты гидрологических объектов на примере северной части Волго-Ахтубинской поймы, для которой оптимальные значения в каналах равны  $A_{crit}^{(4)} = 40$ ,  $A_{crit}^{(5)} = 42$ .

Очень влажная экваториальная зона бассейна реки Амазонка по метеорологическим условиям сильно отличается от рассмотренной Волго-Ахтубинской поймы. Важной характеристикой снимков для фиксированной территории является параметр информационных потерь для изображения  $0 \leq k_{loss} \leq 1$ , который характеризует долю снимка, полностью закрытого облаками для данного электромагнитного диапазона. Для Волго-Ахтубинской поймы этот параметр часто равен 0. Территория Амазонии является более облачной [10], и лучшие снимки характеризуются величиной  $k_{loss} \geq 0,16$ . На рисунке 2 показан один из лучших по параметру потерь снимок в районе города Манаус.

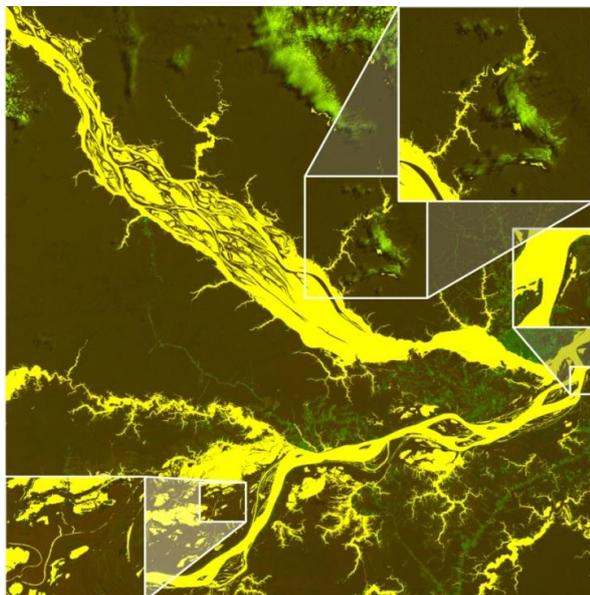


Рис. 2. Результат выделения водных объектов для Амазонии. Три зоны со сложной структурой воды показаны вставками. Верхняя вставка иллюстрирует воздействие облаков (230 км × 280 км)

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания МОН РФ № 0633-2020-0003.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Klemas, V.V. Remote sensing of landscape-level coastal environmental indicators / V.V. Klemas // Environmental Management. – 2001. – Vol. 27(1). – P. 47–57. DOI:10.1007/s002670010133
- [2] Markham, B.L. Forty-year calibrated record of earth-reflected radiance from Landsat: A review / B.L. Markham, D.L. Helder // Remote Sensing of Environment. – 2012. –Vol. 122. –P. 30–40.
- [3] Bishop-Taylor, R. Mapping Australia’s dynamic coastline at mean sea level using three decades of Landsat imagery / R. Bishop-Taylor, R. Nanson, S. Sagar, L. Lymburner // Remote Sensing of Environment. – 2021. –Vol. 267. – P. 20. DOI:10.1016/j.rse.2021.112734
- [4] Perea-Ardila, M.A. Spectral characterization and monitoring of mangrove forests with remote sensing in the Colombian pacific coast: Bajo BaudO, Choc ‘ O / M.A. Perea-Ardila, J. Leal-Villamil, F. Oviedo-Barrero // La Granja. – 2022. – Vol. 34(2). – P. 26–42
- [5] Armstrong, A.C. Rapid digital mapping of coastal areas from LANDSAT / A.C. Armstrong, P. Brimblecombe // Cartographic Journal. – 1975. – Vol. 12(2). – P. 89–93.
- [6] Somasundaram, D. Patterns, Trends and Drivers of Water Transparency in Sri Lanka Using Landsat 8 Observations and Google Earth Engine / D. Somasundaram, F. Zhang, S. Ediriweera, S. Wang, Z. Yin, J. Li, B. Zhang // Remote Sensing. – 2021. – Vol. 13(11). – P. 2193. DOI:10.3390/rs13112193
- [7] Klikunova, A.Y. Modeling of flooding of settlements during the spring flood / A.Y. Klikunova, T.A. Dyakonova, E.O. Agafonnikova, I.S. Makoveev, M.A. Kornaukhova, V.P. Radchenko // Mathematical Physics and Computer Simulation. – 2021. –Vol. 24(3). –P. 63–72. DOI:10.15688/mpcm.jvolsu.2021.3.6
- [8] Khrapov, S.S. Application of Graphics Processing Units for Self-Consistent Modelling of Shallow Water Dynamics and Sediment Transport / S.S. Khrapov, A.V. Khoperskov // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2020. – Vol. 41(8). – P. 1475–1484. DOI:10.1134/S1995080220080089
- [9] Agafonnikova, E.O. Computer simulation of the Volga river hydrological regime: a problem of water-retaining dam optimal location / E.O. Agafonnikova, A. Yu. Klikunova, A.V. Khoperskov // Bulletin of the South Ural State University, Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. – 2017. – Vol. 10(3). – P. 148–155.
- [10] Константинова, А.М. Алгоритм автоматической фильтрации облачных данных для решения задач объектного дистанционного мониторинга / А.М. Константинова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19, №4. – С. 88-99.