

**АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ / AEROSPACE RESEARCH OF THE EARTH, PHOTOGRAMMETRY**

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2024.1.6>

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ РЕКИ**

Научная статья

**Фам Ч.<sup>1,\*</sup>, Чан Х.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ORCID : 0009-0003-3849-4173;

<sup>2</sup>ORCID : 0009-0007-8345-2043;

<sup>1,2</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (vietnam.phamtronghai[at]gmail.com)

**Аннотация**

Настоящая статья посвящена разработке новой методики автоматического определения береговой линии с использованием данных спутника Sentinel-2 и карт землепользования 2018 года. Исследование основано на анализе многолетних данных спутниковых снимков и картографических материалов. Для обучения модели автоматического определения береговой линии применены алгоритм случайных лесов и алгоритм преобразования полигон на линию путем соединения крайних пикселей.

Кроме того, авторы статьи разработали веб-сайт на платформе Google Earth Engine (GEE), который предоставляет возможность автоматического определения береговой линии. Это эффективный инструмент для научного и практического анализа изменений береговой линии, способствуя планированию и управлению прибрежными территориями.

**Ключевые слова:** Google Earth Engine (GEE), береговая линия, алгоритм случайных лесов, ГЭС, ХоаБинь.

**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC METHOD FOR DETERMINING THE RIVER'S SHORELINE**

Research article

**Pham T.<sup>1,\*</sup>, Tran H.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ORCID : 0009-0003-3849-4173;

<sup>2</sup>ORCID : 0009-0007-8345-2043;

<sup>1,2</sup>Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

\* Corresponding author (vietnam.phamtronghai[at]gmail.com)

**Abstract**

This article is dedicated to the development of a new methodology for automatic shoreline determination using Sentinel-2 satellite data and 2018 land use maps. The research is based on the analysis of multi-year data from satellite images and cartographic materials. A random forests algorithm and a polygon-to-line transformation algorithm by connecting the outermost pixels are applied to train the automatic shoreline detection model.

In addition, the authors of the article have developed a website on the Google Earth Engine (GEE) platform that provides automatic shoreline detection. This is an effective tool for scientific and practical analyses of shoreline changes, contributing to coastal planning and management.

**Keywords:** Google Earth Engine (GEE), shoreline, random forest algorithm, HPP, Hòa Bình.

**Введение**

Район реки Да, где расположена ГЭС Хоа Бинь [1], является стратегически важной зоной для Вьетнама как с экономической, так и с экологической точек зрения. Точное определение береговой линии в этом районе становится насущной проблемой из-за изменений климата и воздействия человеческой деятельности, которые вызывают значительные изменения в ландшафтной и гидрологической структуре. Эти изменения влияют на безопасность инфраструктуры, водные ресурсы и местную экосистему.

В этом контексте данное исследование направлено на разработку автоматического метода определения береговой линии реки Да в районе ГЭС Хоа Бинь. Этот метод может значительно улучшить мониторинг и управление водными ресурсами, обеспечивая точные данные для оценки воздействия изменений окружающей среды и человеческой деятельности.

Основная цель исследования заключается в разработке автоматизированного процесса на основе спутниковых данных и геопространственных технологий для точного и быстрого определения береговой линии реки. Это не только повышает точность и эффективность традиционных методов, но и минимизирует человеческое вмешательство и субъективные ошибки.

Суть проблемы заключается в необходимости обработки большого объема сложных пространственных данных и интеграции современных методов анализа для достижения точных результатов. Развитие технологий ГИС и алгоритмов обработки изображений открывает новые перспективы для решения этой проблемы. Автоматизация метода не только экономит время и средства, но и предоставляет мощные инструменты для мониторинга и прогнозирования изменений в окружающей среде.

Перспективы развития автоматизированного метода весьма обширны, включая возможность применения в таких областях, как управление водными ресурсами, защита окружающей среды и устойчивое развитие. Успешная

реализация в районе ГЭС Хоа Бинь может стать основой для расширения модели на другие территории, способствуя защите и устойчивому развитию страны. Создание веб-сайта на платформе Google Earth Engine (GEE) [2] в сочетании с мониторингом позволяет предоставлять статистический анализ изменений, обеспечивая важные данные для сообщества и заинтересованных лиц, нуждающихся в информации о районе для принятия обоснованных решений.

### Методы и принципы исследования

Исследование выполняется с использованием коллекции снимков Sentinel-2 MSI [3] и данных карт землепользования 2018 года [4].

Исследование проводилось по 6 основным этапам (см. рисунок 1):

- Этап 1: Подбор и предварительная обработка исходных данных.
- Этап 2: Обучение модели для автоматического обнаружения водной поверхности в районе гидроэлектростанции Хоа Бинь.
- Этап 3: Оценка точности обученной модели.
- Этап 4: Определение береговой линии.
- Этап 5: Оценка точности определения береговой линии.
- Этап 6: Построение карта-схемы автоматического определения береговой линии в районе гидроэлектростанции Хоа Бинь.

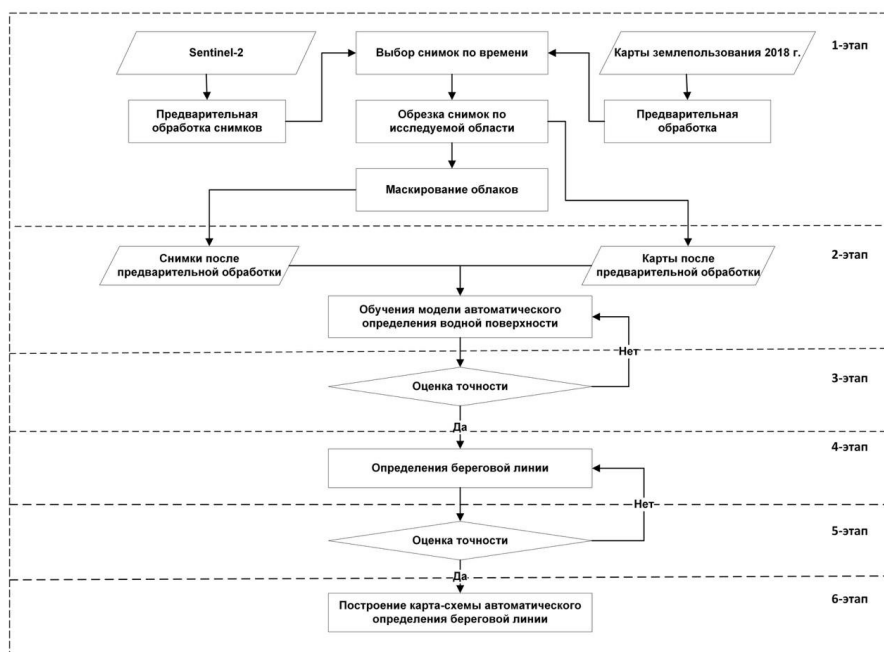


Рисунок 1 - Общая схема исследования  
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2024.1.6.1>

### Основные результаты

#### 3.1. Этап 1. Подбор и предварительная обработка исходных данных

В этапе обработки выполнены предварительная обработка спутниковых снимков Sentinel-2 и карты землепользования за 2018 год [5]. Основные шаги включают:

1. Фильтрация изображений по времени: включает выбор подходящих снимков для конкретного временного интервала анализа, обеспечивая соответствие данных периоду исследования.
2. Вырезка изображений по области исследования: Реализация пространственного разделения и вырезку изображений, ограничивая анализ только на интересующих территориях, что повышает эффективность и снижает вычислительную нагрузку.
3. Устранение облачного покрытия на изображениях: включает создание автоматических масок для удаления облачных пикселей.

#### 3.2. Этап 2. Обучение модели для автоматического обнаружения водной поверхности в районе гидроэлектростанции Хоа Бинь

На втором этапе модель машинного обучения обучается для автоматического определения водной поверхности в регионе водохранилища Хоа Бинь. Основные шаги включают:

1. Выбор обучающих данных: Подготовка набора данных для обучения модели, включая разнообразие водных регионов.
2. Выбор алгоритма обучения: Определение оптимального алгоритма для обучения модели. В данном случае используется алгоритм случайного леса [6], [7], [8], [9] для достижения высокой точности и способности к обобщению на различных типах местности. Алгоритм случайного леса представляет собой ансамбль методов машинного обучения, включающий множество деревьев, каждое из которых обучается на случайной под выборкой исходных

данных. Окончательное решение принимается голосованием всех деревьев в ансамбле. Этот метод особенно эффективен для задач классификации и регрессии, так как он снижает вероятность переобучения и повышает точность модели. В нашем исследовании использовались 100 деревьев, и модель обучалась на различных характеристиках, таких как спектральные признаки изображений Sentinel-2.

3. Подготовка признаков: Извлечение и подготовка признаков из обучающего набора данных, включая спектральные характеристики изображений Sentinel-2 и другие характеристики водных регионов.

4. Разделение данных: Разбиение обучающего набора данных на обучающие и тестовые поднаборы для оценки производительности и обобщающей способности модели.

5. Обучение модели: Процесс обучения включает подачу обучающих данных в модель, настройку параметров, оптимизацию весов на протяжении итераций и оценку модели на тестовых данных.

Этот этап направлен на разработку модели, способной автоматически определять водные участки на исследуемой территории, что является основой для определения береговой линии в регионе.

### 3.3. Этап 3. Оценка точности обученной модели

На третьем этапе была проведена оценка точности обученной модели. Этот шаг крайне важен для обеспечения надежности и представительности результатов автоматического определения водных участков.

Оценка на тестовых данных: Модель была применена к тестовым данным, которые не использовались в процессе обучения [10]. Эти данные представляют собой изображения, соответствующие разным временным промежуткам после 2018 года. Конечный результат оценки точности модели составил 83,15%.

### 3.4 Этап 4. Определение береговой линии

На четвертом этапе береговая линия определяется путем соединения крайних пикселей, которые были идентифицированы как водные зоны на этапе 2.

### 3.5 Этап 5. Оценка точности определения береговой линии

Использование минимального расстояния для оценки: Расстояние между случайными точками на береговой линии тестовых данных до береговой линии, полученной путем соединения крайних пикселей водной поверхности, используется для оценки точности модели. Согласно Решению № 15/2005/QĐ-BTNMT Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Вьетнама [11], который устанавливает технические стандарты для создания топографических карт в масштабе 1:10000, 1:25000 и 1:50000 с использованием пространственных данных, среднеквадратическая ошибка позиции географических объектов на национальных топографических картах не должна превышать следующих значений:

- 0,5 мм на карте для равнинных и низменных районов;
- 0,7 мм на карте для районов с большой высотой и тенями.

Таким образом, для района гидроэлектростанции Хоабинь фактическая ошибка рассчитывается на основе вышеуказанных стандартов: масштаб 1:10.000 (7 м); 1:25.000 (17,5 м); 1:50.000 (35 м). Эти данные оценивают способность модели точно определять водные объекты и избегать ошибок.

### 3.6. Этап 6. Построение карта-схемы автоматического определения береговой линии в районе гидроэлектростанции Хоа Бинь

Для облегчения процесса мониторинга, авторами был разработан и размещен веб-сайт «Карта-схема автоматического определения береговой линии» на платформе Google Earth Engine (см. рисунок 2).

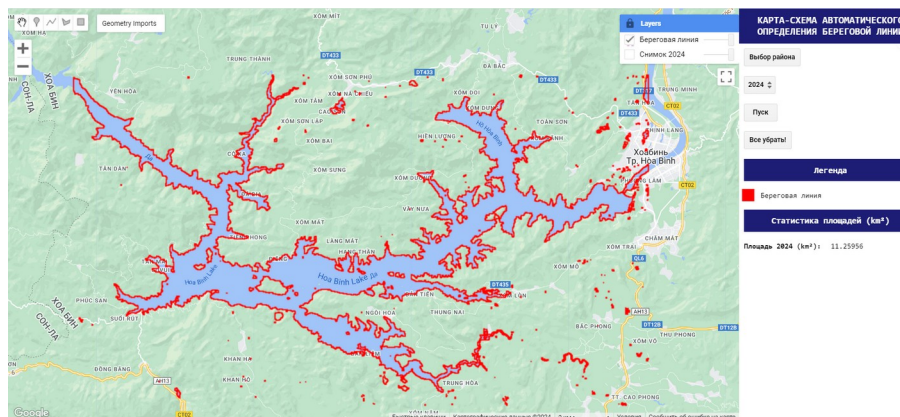


Рисунок 2 - Карта-схема автоматического определения береговой линии

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2024.1.6.2>

Основные функции веб-сайта:

1. Выбор исследуемой области: Сайт предоставляет пользователям возможность выбрать конкретную область для исследования, обеспечивая персонализированный анализ в соответствии с интересующей областью.
2. Выбор года: Пользователи могут выбрать интересующий год, и сайт автоматически загрузит и отображает изображения Sentinel-2 для выбранной области на экране.
3. Отображение двух слоев карты: снимок Sentinel-2 выбранного года и береговая линия.
4. Статистика площади водной поверхности: Сайт предоставляет статистическую информацию о площади водной поверхности в области за выбранный период.

**Заключение**

В ходе настоящего исследования была разработана автоматизированная методика определения береговой линии реки Да в районе гидроэлектростанции Хоа Бинь во Вьетнаме с использованием спутниковых изображений Sentinel-2, карт землепользования за 2018 год и алгоритма случайного леса. Основной целью данной работы было создание точного и надежного инструмента для мониторинга изменений береговой линии и водных ресурсов в этом важном регионе.

В процессе исследования была проведена тщательная обработка спутниковых данных, включающая коррекцию радиометрических и атмосферных искажений, а также классификация земельных покровов с применением алгоритма случайного леса. Данная методика продемонстрировала высокую точность в определении водных границ и позволила получить детализированные карты береговой линии реки Да.

Кроме того, результаты исследования были интегрированы в веб-платформу, предоставляющую доступ к спутниковым изображениям региона, информации о береговой линии и водных ресурсах. Это позволяет не только специалистам, но и широкому кругу пользователей получать актуальные данные для анализа и принятия решений в области управления водными ресурсами.

В заключение, разработанная методика и созданная веб-платформа представляют собой эффективный инструмент для мониторинга и управления водными ресурсами в районе гидроэлектростанции Хоа Бинь. Эти результаты могут быть использованы для дальнейших исследований и разработки стратегий устойчивого использования водных ресурсов, что особенно важно в условиях климатических изменений и растущего спроса на воду.

Разработка данного автоматизированного метода и создание информационного веб-ресурса вносят значительный вклад в области дистанционного зондирования и управления водными ресурсами, предлагая новые решения для мониторинга и анализа водных объектов.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

- Vinh V.D. Impact of the Hoa Binh dam (Vietnam) on water and sediment budgets in the Red River basin and delta / V.D. Vinh [et al.] // *Hydrology and Earth System Sciences*. — 2014. — P. 3987-4005. — DOI: 10.5194/hess-18-3987-2014.
- Earth Engine guides. — URL: <https://earthengine.google.com/> (accessed: 13.03.2024).
- Claverie M. The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set / M. Claverie, J. Ju, J.G. Masek [et al.] // *Remote sensing of environment*. — 2018. — № 219. — P. 145-161.
- Trang chủ – Thông tin quy hoạch tỉnh Hòa. — URL: <https://hoabinh.gov.vn/web/ttqh>. (accessed: 13.03.2024)
- Würsch L. Google Earth Engine image pre-processing tool: user guide / L. Würsch, K. Hurni, A. Heinimann // *Centre for Development and Environment*. — 2017. — URL: <https://clck.ru/3BGD9d> (accessed: 13.03.2024)
- Belgiu M. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions / M. Belgiu, L. Drăguț // *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*. — 2016. — № 114. — P. 24-31. — DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011.
- Svoboda J. Random forest classification of land use, land-use change and forestry (LULUCF) using sentinel-2 data / J. Svoboda, P. Štych, J. Laštovička [et al.] // *A case study of Czechia. Remote sensing*. — 2022. — № 14(5). — P. 1189. — DOI: 10.3390/rs14051189.
- Pal M. Random forest classifier for remote sensing classification / M. Pal // *International Journal of Remote Sensing*. — 2005. — № 26(1). — P. 217-222. — DOI: 10.1080/01431160412331269698.
- Rodriguez-Galiano V.F. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification / V.F. Rodriguez-Galiano, B. Ghimire, J. Rogan [et al.] // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. — 2012. — № 67. — P. 93-104. — DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002.
- Shi D. An assessment of algorithmic parameters affecting image classification accuracy by random forests / D. Shi, X. Yang // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. — 2016. — № 82(6). — P. 407-417. — DOI: 10.14358/PERS.
- Quyết định số 15/2005/QĐ-BTNMT ngày 13/12/2005 của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường quy định kỹ thuật thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1:10.000, 1:25.000 và 1:50.000 bằng công nghệ ảnh số. — URL: <https://vupc.monre.gov.vn/vien-tham/3489/quyet-dinh-so-15-2005-qd-btnmt-ngay13-12-2005-cua-bo-truong-bo-tai-nguyen-va-moi-truong-quy-dinh-ky> (accessed: 13.03.2024)

**Список литературы на английском языке / References in English**

- Vinh V.D. Impact of the Hoa Binh dam (Vietnam) on water and sediment budgets in the Red River basin and delta / V.D. Vinh [et al.] // *Hydrology and Earth System Sciences*. — 2014. — P. 3987-4005. — DOI: 10.5194/hess-18-3987-2014.
- Earth Engine guides. — URL: <https://earthengine.google.com/> (accessed: 13.03.2024).
- Claverie M. The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set / M. Claverie, J. Ju, J.G. Masek [et al.] // *Remote sensing of environment*. — 2018. — № 219. — P. 145-161.

4. Trang chủ – Thông tin quy hoạch tỉnh Hòa [Home page – Hoa province planning information]. — URL: <https://hoabinh.gov.vn/web/ttqh>. (accessed: 13.03.2024) [in Vietnamese]
5. Würsch L. Google Earth Engine image pre-processing tool: user guide / L. Würsch, K. Hurni, A. Heinimann // Centre for Development and Environment. — 2017. — URL: <https://clck.ru/3BGD9d> (accessed: 13.03.2024)
6. Belgiu M. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions / M. Belgiu, L. Drăguț // ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing. — 2016. — № 114. — P. 24-31. — DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011.
7. Svoboda J. Random forest classification of land use, land-use change and forestry (LULUCF) using sentinel-2 data / J. Svoboda, P. Štych, J. Laštovička [et al.] // A case study of Czechia. Remote sensing. — 2022. — № 14(5). — P. 1189. — DOI: 10.3390/rs14051189.
8. Pal M. Random forest classifier for remote sensing classification / M. Pal // International Journal of Remote Sensing. — 2005. — № 26(1). — P. 217-222. — DOI: 10.1080/01431160412331269698.
9. Rodriguez-Galiano V.F. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification / V.F. Rodriguez-Galiano, B. Ghimire, J. Rogan [et al.] // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. — 2012. — № 67. — P. 93-104. — DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002.
10. Shi D. An assessment of algorithmic parameters affecting image classification accuracy by random forests / D. Shi, X. Yang // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. — 2016. — № 82(6). — P. 407-417. — DOI: 10.14358/PERS.
11. Quyết định số 15/2005/QĐ-BTNMT ngày 13/12/2005 của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường quy định kỹ thuật thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1:10.000, 1:25.000 và 1:50.000 bằng công nghệ ảnh số [Decision No. 15/2005/QĐ-BTNMT dated December 13, 2005 of the Minister of Natural Resources and Environment providing technical regulations for creating topographic maps at scales of 1:10,000, 1:25,000 and 1:50,000 using technology digital photo]. — URL: [https://vupc.monre.gov.vn/vien-tham/3489/quyet-dinh-so-15-2005-qd-btnmt-ngay13-12-2005-cua-bo-truong-bo-tai-nguyen-va-moi-truong-quy-dinh-ky-](https://vupc.monre.gov.vn/vien-tham/3489/quyet-dinh-so-15-2005-qd-btnmt-ngay13-12-2005-cua-bo-truong-bo-tai-nguyen-va-moi-truong-quy-dinh-ky) (accessed: 13.03.2024) [in Vietnamese]