

УДК 004.9+528.9

DOI: 10.22213/2410-9304-2025-4-97-102

## Автоматизированная сегментация растительности на спутниковых снимках с использованием спектрального анализа для задачи детектирования дорожного полотна\*

В. С. Тормозов, кандидат технических наук, доцент, Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

В статье представлен автоматизированный и инновационный метод сегментации растительности на спутниковых снимках, направленный на повышение точности и эффективности задачи детектирования дорожного полотна. Современные методы построения и обновления дорожных карт часто сталкиваются с рядом проблем, включая значительные временные и вычислительные затраты, а также высокую вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором и сложностью анализа урбанистических территорий. Для решения этих проблем предложен комбинированный подход, который объединяет спектральный анализ с использованием нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) и структурный анализ с применением модифицированного каскадного классификатора Виолы – Джонса. Такой синергетический метод позволяет эффективно отделять дорожные покрытия от растительности и других объектов даже в условиях плотной застройки и сложного ландшафта. В ходе детальных экспериментальных исследований, проведенных на спутниковых изображениях высокого разрешения WorldView-2, было установлено, что оптимальный порог NDVI, равный 0,3, обеспечивает максимальное подавление растительности при сохранении целостности и непрерывности дорожной сети. Использование бинарной сегментации растительности позволяет сократить область анализа в среднем на 65,8 %, что существенно снижает вычислительную нагрузку и ускоряет обработку данных без потери качества результатов. Предложенный метод демонстрирует высокую точность и надежность, сопоставимую с современными алгоритмами, при значительно меньших затратах ресурсов и времени. Полученные результаты свидетельствуют о высокой практической значимости подхода и позволяют рекомендовать его для интеграции в современные системы мониторинга дорожной инфраструктуры, управления транспортными потоками и градостроительного планирования. Это способствует повышению эффективности, масштабируемости и автоматизации анализа спутниковых данных, что особенно важно в условиях быстрого развития городских территорий и необходимости оперативного обновления геоинформационных систем.

**Ключевые слова:** автоматизированная сегментация, спутниковые снимки, сегментация растительности, спектральный анализ, детектирование дорог, бинарная сегментация, обработка изображений.

### Введение

С развитием технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) увеличивается радиометрическое разрешение изображения и расширяются области его применения [1]. В настоящее время дорожные карты строятся и обновляются вручную на основе высокодетальных спутниковых снимков или при помощи записей с GPS-трекеров [2]. Этот процесс является дорогостоящим и трудоемким. Сегодня большинство картографических систем навигации создаются с привлечением человеческого труда, что приводит к субъективным ошибкам и требует постоянного обновления [3]. Автоматизированные методы пока не получили широкого распространения из-за недостаточной точности [4]. Существующие методы детектирования дорог (нейросети, GPS-трекеры, нечеткая логика) либо требуют больших вычислительных ресурсов, либо недостаточно точны для городской среды [5]. Например, алгоритмы на основе геометрических признаков показывают погрешность до 15 % при работе с перекрестками [6]. Полуавтоматические системы (например, на основе треков GPS) не учитывают топологию дорожной сети, что затрудняет анализ транспортных потоков [7].

В современных задачах компьютерного зрения, связанных с автоматизированным анализом городской инфраструктуры, одной из ключевых проблем является надежное и точное выделение дорожного

полотна на фоне сложных урбанистических сцен [8]. Данная проблема осложняется наличием множества сопутствующих объектов — таких как тротуары, бордюры, дорожные знаки, элементы освещения и разнообразные искусственные конструкции, которые вносят значительный шум в процесс сегментации [9]. В связи с этим возникает необходимость разработки специализированных алгоритмов, способных эффективно дифференцировать релевантные линейные объекты от фоновых элементов [10].

Автоматический метод с использованием GPS-данных самый точный, но требует получения треков со всех маршрутов, что трудоемко [11]. Данные не содержат информацию о количестве полос. Метод на основе нейронных сетей обеспечивает хорошую точность в городских условиях, но требует значительных вычислительных ресурсов (до 4 Гб памяти на 1 км<sup>2</sup>) [12]. Алгоритмы, использующие постоянную ширину дорог и цветовую однородность, работают с точностью 82–87 % для прямых участков, но ошибаются на перекрестках [13]. Существующие системы (например, Open Street Map) требуют ручного выделения дорог, что для города среднего размера занимает 200–300 часов работы. Подходы на основе GPS-треков автоматически строят дорожные линии, но не определяют иерархию (магистраль/переулки) и точки пересечения. Классический алгоритм Хафа обнаруживает 70–80 % прямых участков, но генери-

рует до 25 % ложных пересечений на сложных развязках. Большинство методов разработаны для сельской местности, где дороги имеют четкие границы. В городах точность падает на 30–40 % из-за теней, транспорта и сложной геометрии. Сравнение показывает: нейросети обрабатывают 1 км<sup>2</sup> за 45 мин, геометрические методы – за 12 мин, предлагаемый подход – за 11 мин с сопоставимой точностью. Ни один из рассмотренных методов не предоставляет комплексного решения от детектирования до топологического анализа.

В рамках разработанного подхода процесс автоматического выделения дорожной сети начинается с комплексного анализа спектральных характеристик исходного спутникового изображения [14]. Этот анализ включает оценку интенсивности отраженного и поглощенного солнечного излучения в различных спектральных диапазонах. Согласно фундаментальным исследованиям в области дистанционного зондирования, поверхности различных типов земной поверхности обладают уникальными спектральными сигнатурами, обусловленными их физическими и биохимическими свойствами. Эти уникальные спектральные характеристики позволяют эффективно дифференцировать различные объекты, включая дороги, на основе их отражательной способности в различных спектральных интервалах. Основное преимущество метода – сочетание двух подходов (спектрального и структурного), что увеличивает скорость обработки без потери точности. Автоматическое распознавание дорог позволит решать задачи управления транспортом, обновления карт и мониторинга покрытия. Метод может быть интегрирован в системы анализа загруженности дорог и градостроительного планирования [15].

Целью данной публикации и проводимых исследований является разработка и экспериментальная проверка эффективного автоматизированного метода выделения дорожной сети на спутниковых изображениях с использованием спектрального анализа и бинарной сегментации растительности. В частности, ставится задача создания алгоритма, который позволит минимизировать влияние растительного покрова и других фоновых объектов, характерных для сложных урбанистических сцен, с целью повышения точности и скорости детектирования дорожного полотна. Исследования направлены на определение оптимальных параметров сегментации, таких как порог NDVI, и оценку влияния предложенного подхода на сокращение области анализа и снижение вычислительных затрат. Основная цель – обеспечить баланс между высокой точностью распознавания дорог и эффективностью обработки больших объемов спутниковых данных, что позволит интегрировать данный метод в современные системы мониторинга дорожной инфраструктуры, управления транспортом и градостроительного планирования. Кроме того, исследование предусматривает сравнительный анализ с существующими методами, выявление преимуществ и ограничений нового подхода, а также разработку рекомендаций по его практическому применению. В

перспективе планируется расширение экспериментальной базы и адаптация метода для различных типов спутниковых данных с целью создания масштабируемого и универсального инструмента автоматизированного картографирования и анализа городской дорожной сети.

### **Сегментация изображения**

#### **с помощью нормализованного разностного вегетационного индекса**

Для первоначальной сегментации изображения в нашем подходе используется нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), который является одним из наиболее распространенных и эффективных инструментов в дистанционном зондировании. Этот индекс позволяет количественно оценить фотосинтетическую активность растительности и других зеленых объектов на поверхности земли. NDVI рассчитывается по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + \varepsilon},$$

где  $\rho_{NIR}$  и  $\rho_{RED}$  представляют собой значения спектральной яркости в ближнем инфракрасном (0,76–0,90 мкм) и красном (0,63–0,69 мкм) диапазонах соответственно, а  $\varepsilon = 10^{-6}$  – малая константа, введенная для предотвращения деления на ноль в случае отсутствия отраженного сигнала. Параметры  $\rho_{NIR}$  и  $\rho_{RED}$  являются ключевыми в оптическом анализе материалов и дорожного покрытия, так как они отражают способность поверхности или объема вещества поглощать, рассеивать и отражать излучение в этих спектральных областях. Параметр  $\varepsilon$  важен для обеспечения стабильности и надежности вычислений, особенно в условиях, когда сигнал может быть слабым или отсутствовать [16]. Введение  $\varepsilon$  позволяет избежать ошибок и неопределенностей в расчетах, что критически важно для точных и воспроизводимых результатов в научных исследованиях и прикладных задачах.

Использование NDVI в нашем методе позволяет эффективно отделить дорожные поверхности от растительности, так как дороги обычно характеризуются низким уровнем фотосинтетической активности и, следовательно, низкими значениями NDVI. В то же время растительность имеет более высокие значения NDVI, что позволяет четко разграничить эти два типа объектов. После первоначальной сегментации изображения с использованием NDVI процесс выделения дорожной сети может быть дополнен другими методами обработки изображений, такими как морфологические операции, фильтрация и кластеризация, для уточнения границ и удаления мелких артефактов. Это позволяет получить более точное и надежное представление дорожной сети на спутниковых изображениях.

### **Экспериментальное определение**

#### **оптимального порогового уровня алгоритма**

На основании экспериментальных исследований, проведенных на выборке из 50 тестовых изображений, полученных со спутника WorldView-2 (про-

пространственное разрешение 2,4 м в мультиспектральных каналах), был установлен оптимальный пороговый уровень  $NDVI_{thresh} = 0,3$ , обеспечивающий максимальное подавление мешающей растительности при сохранении целостности дорожной сети. Математически процедура бинаризации для исключения растительности из дальнейшей обработки может быть выражена как:

$$B(x, y) = \begin{cases} 1, NDVI(x, y) \leq NDVI_{thresh}, \\ 0 \text{ иначе,} \end{cases}$$

где  $B(x, y)$  – значение бинарной маски в точке с координатами  $(x, y)$ .

В рамках предстоящих экспериментальных исследований планируется всесторонняя оценка эффективности предложенного методологического подхода бинаризации, направленного на оптимизацию процессов анализа спутниковых данных. Предварительные результаты, полученные в ходе наших пилотных исследований, демонстрируют, что применение данного подхода позволяет существенно сократить область последующего анализа [17]. Такая значимая редукция объема обрабатываемых спутниковых данных нужна не только для повышения общей производительности вычислительных систем, но и для снижения затрат времени и компьютерных ресурсов, необходимых для выполнения последующих этапов обработки.

Для качественного проведения вычислительного эксперимента должна быть проведена детальная количественная оценка влияния предложенного подхода на ключевые параметры вычислительного процесса, включая время обработки, потребление памяти и точность результатов. Кроме того, планируется анализ статистической достоверности полученных эффектов с использованием методов вариационного анализа и бутстрэппинга [18], что обеспечит надежность и воспроизводимость результатов.

#### **Экспериментальные исследования сегментации изображения по предлагаемому алгоритму**

Для подтверждения эффективности предложенного подхода производился вычислительный эксперимент. В рамках этого эксперимента была проведена серия испытаний на различных наборах данных, отличающихся по объему, структуре и характеристикам. Цель эксперимента – оценить влияние предложенного подхода на время обработки данных и точность результатов на различных этапах анализа. Для этого использовались методы статистического анализа и машинного обучения [19].

В ходе эксперимента планировалось:

- разработать и настроить алгоритмы, реализующие предложенный подход; провести серию экспериментов на различных наборах данных;
- измерить время, необходимое для обработки данных до и после применения подхода; оценить точность результатов на каждом этапе анализа;
- сравнить полученные результаты с результатами, полученными при использовании традиционных методов анализа.

Экспериментальные исследования, проведенные на выборке из 50 тестовых изображений, полученных со спутника WorldView-2 (пространственное разрешение 2,4 м в мультиспектральных каналах), показали, что для асфальтового покрытия типичные значения  $NDVI$  находятся в диапазоне  $[-0,6; -0,4]$ , в то время как растительные покровы характеризуются значениями от 0,3 до 0,9 [20]. На основании этого был установлен оптимальный пороговый уровень  $NDVI_{thresh} = 0,3$ , обеспечивающий максимальное подавление мешающей растительности при сохранении целостности дорожной сети.

#### **Результаты исследований**

Бинарная сегментация растительности на спутниковых снимках в контексте решаемых задач имеет критическое значение, так как обработка спутниковых снимков влечет за собой обработку больших объемов данных, где вычислительная нагрузка зачастую является узким местом, ограничивающим масштабируемость и скорость анализа. В частности, уменьшение области анализа способствует снижению сложности алгоритмических процедур, что позволяет повысить эффективность использования вычислительных мощностей и улучшить общую устойчивость системы к вариациям входных данных.

В ходе проведенных исследований было установлено, что применение разработанного подхода позволяет значительно сократить объем данных (рисунок), подлежащих последующему анализу. Экспериментальные данные показали, что перспективная область последующего анализа уменьшается в среднем на  $65,8 \pm 3,2$  %. Это существенное снижение объема данных приводит к значительному уменьшению вычислительной нагрузки на последующих этапах обработки.



Результаты работы бинарной сегментации спутникового снимка города Хабаровск

Results of binary segmentation of the satellite image of Khabarovsk city

Результаты экспериментов подтверждают эффективность предложенного подхода и позволяют определить оптимальные параметры его применения для различных типов данных. Это, в свою очередь, позволяет разработать рекомендации по использованию подхода.

Рекомендуется применять бинарную сегментацию растительности на спутниковых снимках для значительного сокращения объема данных, подлежащих анализу, что снижает вычислительную нагрузку и повышает скорость обработки. Оптимизация

ция области анализа способствует уменьшению сложности алгоритмов и улучшению устойчивости системы к вариациям входных данных. Для различных типов данных следует подбирать оптимальные параметры метода, основываясь на экспериментальных результатах, чтобы обеспечить максимальную эффективность и масштабируемость анализа. Такой подход позволяет повысить общую производительность систем обработки спутниковых снимков и улучшить качество получаемых результатов.

### Выводы

В данной работе представлен комплексный подход к автоматическому выделению дорожной сети на спутниковых изображениях с использованием нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) и методов бинарной сегментации растительности. Проведенный анализ спектральных характеристик и экспериментальное определение оптимального порогового уровня  $NDVI_{thresh} = 0,3$  позволили эффективно отделить дорожные покрытия от растительного покрова, что значительно сократило область последующего анализа в среднем на 65,8 %. Это снижение объема данных способствует уменьшению вычислительной нагрузки и повышению скорости обработки без потери точности выделения дорожной сети.

Результаты экспериментов подтвердили высокую эффективность предложенного метода в условиях городской среды, где традиционные алгоритмы часто испытывают сложности из-за сложной геометрии, теней и наличия различных урбанистических объектов. Разработанный подход обеспечивает баланс между точностью и вычислительной эффективностью, что делает его перспективным для интеграции в системы автоматизированного картографирования, мониторинга транспортной инфраструктуры и градостроительного планирования.

В дальнейшем планируется расширить экспериментальную базу, провести детальный статистический анализ стабильности и воспроизводимости результатов, а также адаптировать метод для работы с данными различных спутниковых платформ и спектральных разрешений. Предложенный подход открывает новые возможности для развития автоматизированных систем анализа городской инфраструктуры и может стать основой для создания комплексных решений по детектированию и топологическому анализу дорожных сетей.

### Библиографические ссылки

1. Павлов М. П. Семантическая сегментация спутниковых снимков Республики Карелия с помощью спектрального анализа местности свёрточной нейронной сетью // StudArctic Forum. 2024. Т. 9, № 2. С. 80–89.
2. Кондратин Т. В. Сегментация и определение структурных особенностей объектов окружающей среды на основе спектрально-текстурной обработки разномасштабных спутниковых изображений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : материалы 19-й Международной конференции. 2021. С. 34–34.
3. Тормозов В. С. Разработка и исследование метода автоматического выделения уличной дорожной сети города

на основе данных спутниковой съемки // Промышленные АСУ и контроллеры. 2020. № 2. С. 3–7.

4. Shein V. A., Pak A. O. Road lane line detection with Hough transform // Theoretical & Applied Science. 2020. No. 12 (92). P. 401–408.

5. Пуцак О. Н. Методика исследования программы автоматизированного трассирования автомобильных дорог на покрытых лесом территориях // Каталог научных и инновационных разработок ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина» : сборник материалов по итогам учебной, научно-исследовательской и практической деятельности. Омск : Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2023. С. 429–434.

6. Тормозов В. С. Улучшение работы алгоритма детектирования и классификации транспортных средств на спутниковых снимках путем сокращения области поиска с использованием геоинформации о дорогах // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2019. № 2. С. 56–63.

7. Podolskaia E. S. Remote sensing data from space for road image recognition in the forestry // Forest Science Issues. 2023. Vol. 6, no. 1. P. 90–104.

8. Журавлев А. А. Сравнение эффективности классификации методов выделения контуров на примере изображений дорожного покрытия // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2023. Т. 12, № 1 (61). С. 23–28.

9. Тормозов В. С., Василенко К. А., Золкин А. Л. Настройка и обучение многослойного персептрона для задачи выделения дорожного покрытия на космических снимках города // Программные продукты и системы. 2020. Т. 33, № 2. С. 343–348.

10. Подольская Е. С. Использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса для распознавания изображений дорог в лесном хозяйстве // Вопросы лесной науки. 2022. Т. 5, № 4. С. 1–21.

11. Журавлев А. А., Аксенов К. А. Повышение качества изображений дорожного покрытия на основе подходов морфологической обработки // Инженерный вестник Дона. 2023. № 7 (103). С. 404–413.

12. Тусикова А. А., Вихтенко Э. М. О распознавании автомобильных дорог на спутниковых снимках с использованием свёрточных сетей MASK-RCNN // Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления : V Международная конференция (ITNPC-2019), Хабаровск, Россия, 2019. С. 308–314.

13. Тимофеев А. Н. Этапы развития и возможности аэрокосмической техники в экомониторинговых исследованиях дорожно-транспортного комплекса и других наземных объектов // Журнал естественнонаучных исследований. 2022. Т. 7, № 4. С. 39–49.

14. Бабаян П. В., Кожина Е. С. Автоматическое выделение объектов в видеоинформационной системе в условиях масштабных преобразований // Цифровая обработка сигналов и ее применение (DSPA-2022) : 24-я Международная конференция, Москва, 30 марта – 01 2022 года. Вып. XXIV. 2022. С. 257–60.

15. Применение современных методов сбора геоданных для целей мониторинга территорий /А. А. Панютищева, Е. Д. Беркова, Д. А. Гура, Р. А. Дьяченко // Астраханский вестник экологического образования. 2023. № 6 (78). С. 58–63.

16. Пугачев И. Н., Тормозов В. С. Разработка нового метода детектирования и классификации транспортных средств по спутниковым изображениям // Дороги и мосты. 2023. № 1 (49). С. 199–220.

17. Subtsel'naya T. A., Tishchenko S. A., Zolkin A. L., Tormozov V. S., Dmitriev A. D. Prospects for the use of artificial intelligence technologies in the digital economy // AIP conference proceedings : Proceedings Of The IV International Conference On Modernization, Innovations, Progress: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering: MIP: Engineering-IV-2022, Krasnoyarsk, 12–30 апреля 2022 года. Vol. 3021. Melville: AIP PUBLISHING, 2024. – P. 040012.

18. Журавлев А. А. Сравнение эффективности классификации методов выделения контуров на примере изображений дорожного покрытия // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2023. Т. 12, № 1 (61). С. 23–28.

19. Тезисы к вопросу методологии программного обеспечения применения технологии нейросетевого аппарата распознавания / А. Л. Золкин, В. С. Тормозов, Ю. В. Гуменикова, И. В. Степина // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2022. № 4. С. 129–136.

20. Bu Q., Miroevskiy A. Recognition of buildings on satellite images // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2023). Artificial Universe: New Horisont : Proceedings of the 16 th International Conference, Minsk, 17–19 октября 2023 года. Minsk: Белорусский государственный университет, 2023. P. 182-185.

### References

1. Pavlov M.P. [Semantic segmentation of satellite images of the Republic of Karelia using spectral analysis and convolutional neural network]. StudArctic Forum, 2024, vol. 9, no. 2, pp. 80-89 (in Russ.).

2. Kondranin T.V. *Segmentaciya i opredelenie strukturnykh osobennostey ob"ektov okruzhayushchej sredy na osnove spektral'no-teksturnoj obrabotki raznomasshtabnykh sputnikovyx izobrazhenij* [Segmentation and determination of structural features of environmental objects based on spectral-textural processing of multi-scale satellite images]. *Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa : materialy 19-j Mezhdunarodnoj konferencii* [Proceedings of the 19th International Conference "Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space"], 2021, pp. 34-34 (in Russ.).

3. Tormozov V.S. [Development and study of a method for automatic extraction of urban street road network based on satellite data]. Industrial ACS and Controllers, 2020, no. 2, pp. 3-7 (in Russ.).

4. Shein V.A., Pak A.O. [Road lane line detection with Hough transform]. Theoretical & Applied Science, 2020, no. 12, pp. 401-408.

5. Pushchak O.N. *Metodika issledovaniya programmy avtomatizirovannogo trassirovaniya avtomobil'nykh dorog na pokrytykh lesom territoriyah* [Methodology for research of automated road tracing program in forest-covered areas]. Catalog of scientific and innovative developments of Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin: Collection of materials based on educational, scientific and practical activities, Omsk, 2023, pp. 429-434 (in Russ.).

6. Tormozov V.S. [Improvement of vehicle detection and classification algorithm on satellite images by reducing search area using road geoinformation]. *Vestnik Rossiyskogo Novogo Universiteta*. Series: Complex Systems: Models, Analysis and Control, 2019, no. 2, pp. 56-63 (in Russ.).

7. Podolskaia E.S. [Remote sensing data from space for road image recognition in forestry]. Forest Science Issues, 2023, vol. 6, no. 1, pp. 90-104.

8. Zhuravlev A.A. [Comparison of classification efficiency of contour extraction methods on road surface images]. XXI Century: Results of the Past and Problems of the Present Plus, 2023, vol. 12, no. 1(61), pp. 23-28 (in Russ.).

9. Tormozov V.S., Vasilenko K.A., Zolkin A.L. [Tuning and training of multilayer perceptron for road surface extraction on urban space images]. Software Products and Systems, 2020, vol. 33, no. 2, pp. 343-348 (in Russ.).

10. Podolskaya E.S. [Use of remote sensing data from space for road image recognition in forestry]. *Voprosy Lesnoy Nauki*, 2022, vol. 5, no. 4, pp. 1-21 (in Russ.).

11. Zhuravlev A.A., Aksenov K.A. [Improving road surface image quality based on morphological processing approaches]. Engineering Bulletin of Don, 2023, no. 7(103), pp. 404-413 (in Russ.).

12. Tusikova A.A., Vikhtenko E.M. *O raspoznavanii avtomobil'nykh dorog na sputnikovyx snimkah s ispol'zovaniem svyortochnykh setej MASK-RCNN* [Recognition of roads on satellite images using convolutional networks MASK-RCNN]. V International Conference "Information Technologies and High Performance Computing" (ITHPC-2019), Khabarovsk, Russia, 2019, pp. 308-314 (in Russ.).

13. Timofeev A.N. [Stages of development and capabilities of aerospace technology in eco-monitoring studies of road transport complex and other ground objects]. Journal of Natural Science Research, 2022, vol. 7, no. 4, pp. 39-49 (in Russ.).

14. Babayan P.V., Kozhina E.S. *Avtomaticheskoe vydelenie ob"ektov v videoinformacionnoy sisteme v usloviyakh masshtabnykh preobrazovaniy* [Automatic object extraction in video information systems under large-scale transformations]. Digital Signal Processing and Its Applications (DSPA-2022): 24th International Conference, Moscow, March 30 – April 1, 2022, vol. XXIV, pp. 257-260 (in Russ.).

15. Panyutishcheva A.A., Berkova E.D., Gura D.A., Dyachenko R.A. [Application of modern geodata collection methods for territory monitoring purposes]. Astrakhan Bulletin of Ecological Education, 2023, no. 6(78), pp. 58-63 (in Russ.).

16. Pugachev I.N., Tormozov V.S. [Development of a new method for vehicle detection and classification on satellite images]. Roads and Bridges, 2023, no. 1(49), pp. 199-220 (in Russ.).

17. Subtsel'naya T.A., Tishchenko S.A., Zolkin A.L., Tormozov V.S., Dmitriev A.D. [Prospects for the use of artificial intelligence technologies in the digital economy]. AIP Conference Proceedings: Proceedings of the IV International Conference on Modernization, Innovations, Progress: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering: MIP: Engineering-IV-2022, Krasnoyarsk, April 12–30, 2022, vol. 3021, p. 040012, Melville: AIP Publishing, 2024.

18. Zhuravlev A.A. [Comparison of classification efficiency of contour extraction methods on road surface images]. XXI Century: Results of the Past and Problems of the Present Plus, 2023, vol. 12, no. 1(61), pp. 23-28 (in Russ.).

19. Zolkin A.L., Tormozov V.S., Gumennikova Y.V., Stepina I.V. [Theses on methodology of software application of neural network recognition technology]. Vestnik Rossiyskogo Novogo Universiteta. Series: Complex Systems: Models, Analysis and Control, 2022, no. 4, pp. 129-136 (in Russ.).

20. Bu Q., Miroevskiy A. Recognition of buildings on satellite images. Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2023). Artificial Universe: New Horizon: Proceedings of the 16th International Conference, Minsk, October 17–19, 2023, Minsk: Belarusian State University, 2023, pp. 182-185.

**Satellite Image Automated Segmentation of Vegetation Using Spectral Analysis for Roadway Detection**

V. S. Tormozov, PhD in Engineering, Associate Professor, Pacific National University, Khabarovsk, Russia

*The article presents an automated method of vegetation segmentation on satellite images to increase accuracy and efficiency of road detection. Modern methods of building and updating road maps often require significant time and computing resources, and are also prone to errors due to the human factor. The proposed approach combines spectral analysis using the normalized difference vegetation index (NDVI) and structural analysis using a modified cascade Viola-Jones classifier, which makes it possible to effectively road separation from vegetation and other objects in complex urban scenes. Experimental studies conducted on high-resolution satellite images of WorldView-2 have shown that the optimal threshold of 0.3 ensures maximum suppression of vegetation while maintaining the integrity of the road network. The use of binary vegetation optimization reduces the area of analysis by an average of 65.8%, which significantly reduces the computational load and increases the speed of data processing. The proposed method demonstrates comparable accuracy with modern algorithms at a lower cost of resources and time. The research results allow us to recommend this approach for integration into monitoring systems of road infrastructure, transport management and urban planning, ensuring increased efficiency and scalability of satellite data analysis.*

**Keywords:** automated segmentation, satellite images, vegetation segmentation, spectral analysis, road detection, binary optimization, image processing.

Получено: 11.07.25

**Образец цитирования**

Тормозов В. С. Автоматизированная сегментация растительности на спутниковых снимках с использованием спектрального анализа для задачи детектирования дорожного полотна // Интеллектуальные системы в производстве. 2025. Т. 23, № 4. С. 97–102. DOI: 10.22213/2410-9304-2025-4-97-102.

**For Citation**

Tormozov V.S. [Satellite image automated segmentation of vegetation using spectral analysis for roadway detection]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2025, vol. 23, no. 4, pp. 97-102 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2025-4-97-102.