

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.93:502.5

Ковшер  
Елизавета Игоревна

Автоматическое распознавание и анализ элементов на снимках  
земной поверхности

**АВТОРЕФЕРАТ**  
на соискание степени магистра

по специальности 7-06-0612-01 «Программная инженерия»

Научный руководитель  
Перцев Д.Ю.  
к.т.н., доцент

Минск 2025

## **ВВЕДЕНИЕ**

Классификация объектов на снимках земной поверхности является важной задачей, которая находит широкое применение в различных областях науки, техники и экономики. С развитием спутниковых технологий и улучшением качества снимков, получаемых с помощью космических аппаратов, появилась возможность более точно и эффективно исследовать и мониторить изменения на поверхности Земли. Снимки, полученные с помощью спутниковых технологий и других методов дистанционного зондирования, представляют собой уникальные источники информации, которые, при правильной обработке, позволяют извлекать ценные сведения о состоянии окружающей среды, изменениях на Земле и динамике природных и антропогенных процессов. Классификация объектов на таких снимках представляет собой процесс, в котором элементы земной поверхности (лесные массивы, сельскохозяйственные угодья, водоемы, урбанизированные территории и другие объекты) распределяются по заранее определенным классам. Это помогает эффективно анализировать данные, принимать обоснованные решения и разрабатывать стратегии управления природными ресурсами, охраны окружающей среды и развития территорий.

Для успешного применения алгоритмов классификации объектов на снимках необходимо учитывать разнообразие классов объектов, различие в их текстурах и формах, а также различные условия освещения и атмосферные явления, которые могут искажать изображения. Например, в лесных массивах могут быть различные виды растительности, что требует применения сложных алгоритмов для правильной интерпретации изображений. Точно так же, в случае с урбанизированными территориями, важно различать здания, дороги, мосты и другие элементы инфраструктуры, что требует высокой точности и способности алгоритмов дифференцировать объекты с минимальными ошибками.

Классификация объектов на снимках имеет ключевое значение для многих отраслей, таких как экология, сельское хозяйство, урбанистика, а также для решения задач в области мониторинга изменений климата, экологического мониторинга и планирования природных катастроф. Основное преимущество такого подхода заключается в возможности обработки больших объемов данных с высокой точностью, что делает возможным автоматизацию анализа снимков, экономя время и ресурсы, а также минимизируя влияние человеческого фактора. Кроме того, использование спутниковых снимков позволяет получать информацию о территориях, которые трудно или невозможно исследовать традиционными методами, таких как удаленные и труднодоступные районы, что значительно расширяет области применения таких технологий.

Кроме того, выявление изменений объектов на земной поверхности на основе снимков за различные временные периоды является не менее важной задачей. Такие изменения могут быть связаны как с природными процессами, так и с антропогенной деятельностью, и имеют огромную ценность для мониторинга и управления территориями. Природные процессы, такие как изменение растительного покрова (вырубка лесов, деградация пастбищ или сельскохозяйственных угодий), динамика водоемов (колебания уровня воды в реках, озерах и водохранилищах), а также геоморфологические изменения (эрозия почв, изменения береговой линии), играют ключевую роль в понимании состояния экосистем и принятии мер по их сохранению. В то же время антропогенные изменения, такие как увеличение площади урбанизированных территорий, строительство инфраструктуры, а также развитие сельского хозяйства и промышленности, требуют постоянного контроля для предотвращения негативных экологических последствий и эффективного использования природных ресурсов.

Технологии автоматического распознавания элементов на снимках земной поверхности активно развиваются, однако продолжают оставаться открытыми задачи по улучшению точности моделей, адаптации алгоритмов к различным условиям и уменьшению затрат на вычислительные ресурсы. Сложность заключается не только в необходимости классификации различных объектов, но и в учете множества факторов, таких как изменение условий освещенности, сезонные изменения растительности, а также воздействие природных и техногенных катастроф. В связи с этим исследование методов и алгоритмов, направленных на повышение эффективности и точности автоматического распознавания, имеет важное значение для дальнейшего развития данного направления.

Современные подходы открывают новые горизонты в классификации объектов на земных снимках и выявлении изменений на земной поверхности. Нейронные сети позволяют значительно повысить точность и скорость обработки данных, обучаясь на больших объемах информации и эффективно обрабатывая изображения с различным разрешением и характеристиками. В частности, методы глубокого обучения обеспечивают возможность извлечения сложных признаков из изображений и их классификации без необходимости использования традиционных ручных методов выделения признаков. Эти технологии предоставляют уникальные возможности для анализа снимков и мониторинга изменений, что существенно повышает эффективность в таких сферах, как экология, сельское хозяйство, градостроительство и управление природными ресурсами.

# **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

## **Цель и задачи исследования**

*Целью* диссертационной работы является разработка высокопроизводительной нейронной сети, способной автоматически распознавать и классифицировать объекты на снимках земной поверхности, а также выявлять изменения объектов на основе снимков за разные временные периоды. Демонстрация превосходства разработанной нейронной сети в сравнении с существующими методами распознавания объектов на снимках земной поверхности.

*Актуальность* диссертационной работы определяется возрастающей потребностью в автоматизированной и точной обработке данных дистанционного зондирования Земли, которые активно применяются в различных отраслях – от экологии и сельского хозяйства до градостроительства, обороны и управления чрезвычайными ситуациями. Современные методы анализа спутниковых и аэрофотоснимков требуют высокой точности распознавания объектов и выявления изменений, что невозможно обеспечить исключительно традиционными алгоритмами обработки изображений.

С развитием нейросетевых технологий появилась возможность значительно повысить эффективность и точность распознавания объектов на изображениях земной поверхности. Однако, несмотря на успехи в данной области, существующие решения всё ещё ограничены по скорости, устойчивости к шумам, а также по способности выявлять малозаметные изменения в разновременных снимках. Это создаёт острую потребность в разработке более производительных и универсальных моделей.

Разработка высокопроизводительной нейронной сети, способной не только классифицировать объекты, но и отслеживать их изменения во времени, имеет высокую практическую значимость. Такая система может использоваться для мониторинга урбанизации, контроля за вырубкой лесов, отслеживания последствий стихийных бедствий и других задач, требующих оперативного анализа пространственно-временных данных.

Таким образом, тема диссертационной работы отвечает современным научно-техническим вызовам и обладает высокой степенью актуальности как с теоретической, так и с прикладной точки зрения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить методы распознавания объектов на снимках и алгоритмы, используемые в глубоком обучении, для анализа изображений.
2. Определить подходы к предобработке данных и разработать алгоритм сегментации объектов на снимках.

3. Разработать классификатор объектов земной поверхности и систему анализа изменений за разные временные периоды.
4. Оценить точность и производительность методов на различных данных и сравнить с существующими подходами.
5. Проанализировать влияние факторов на эффективность системы и выявить наиболее значимые для оптимизации.
6. Создать прототип ПО для автоматического распознавания и анализа объектов на снимках земной поверхности.

*Объектом исследования являются снимки земной поверхности, полученные средствами систем дистанционного зондирования.*

*Предметом исследования являются методы и алгоритмы автоматической сегментации, классификации и анализа объектов на снимках земной поверхности, основанные на современных технологиях обработки изображений и машинного обучения.*

Основной гипотезой, положенной в основу диссертационной работы, является предположение, что сочетание различных факторов, таких как разрешение снимков, тип данных, алгоритм сегментации и объем обучающей выборки, существенно влияет на точность, производительность и устойчивость модели автоматического распознавания и анализа объектов на снимках земной поверхности. Особенности обработки спутниковых снимков, включая различия в типах данных (черно-белые, RGB, гиперспектральные) и применении различных методов сегментации (классические алгоритмы, методы машинного обучения и глубокие нейронные сети), позволяют улучшить точность классификации и оценку динамики изменений на земной поверхности. Системы, использующие эти подходы, обеспечат более эффективное решение задач в области мониторинга природных и антропогенных процессов, сокращая время обработки данных и повышая общую производительность модели.

### **Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики**

Работа соответствует п.1. «Цифровые информационно-коммуникационные технологии, основанные на них производства» (подпункты «математика и моделирование сложных функциональных систем (технологических, биологических, социальных)», «технологии больших данных», «аэрокосмические и геоинформационные технологии») приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы.

## **Личный вклад соискателя**

Результаты, приведенные в диссертации, получены соискателем лично. Вклад научного руководителя Д. Ю. Перцева, заключается в формулировке целей и задач исследования.

## **Апробация результатов диссертации**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на X международной научно-практической конференции BIG DATA and Advanced Analytics (Минск, БГУИР, 2024); XI международной научно-практической конференции BIG DATA and Advanced Analytics (Минск, БГУИР, 2025); XV международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (Минск, БГУИР, 2025).

## **Опубликованность результатов диссертации**

По теме диссертации опубликовано 3 печатные работы в сборниках трудов и материалов международных конференций, включая 1 статью в сборнике научных трудов из перечня рецензируемых изданий ВАК.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложений. В первой главе представлен анализ предметной области, выявлены основные существующие проблемы в рамках тематики исследования, показаны направления их решения. Вторая глава описывает разработку модели для автоматического распознавания объектов на снимках земной поверхности с использованием глубоких сверточных нейронных сетей. Основное внимание уделено подготовке данных, выбору методов машинного обучения и оценке точности модели для эффективного анализа спутниковых изображений. В третьей главе представлена реализация ПО автоматического распознавания и анализа элементов на снимках земной поверхности. Четвертая глава посвящена планированию эксперимента, что позволяет убедиться в эффективности предложенной реализации.

Общий объем работы составляет 98 страниц, из которых основного текста – 83 страницы, 13 рисунков на 12 страницах, 6 таблиц на 6 страницах, список использованных источников из 25 наименований на 3 страницах и 3 приложений на 15 страницах.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Диссертация посвящена разработке высокопроизводительной нейронной сети, способной не только классифицировать объекты, но и отслеживать их изменения во времени. Работа состоит из введения, общей характеристики исследования, четырёх содержательных глав, заключения, списка использованных источников, перечня публикаций автора и приложений.

Введение направлено на обоснование актуальности темы исследования, связанного с классификацией объектов на спутниковых снимках земной поверхности. Также обозначены ключевые проблемы в данной области и показано, как современные методы, особенно технологии глубокого обучения, открывают новые возможности для эффективного распознавания и мониторинга объектов на земной поверхности.

В первой главе выполнен всесторонний анализ предметной области, охватывающий современные методы автоматического анализа спутниковых изображений. Рассмотрены существующие подходы к распознаванию объектов на снимках земной поверхности, выявлены основные ограничения и проблемы, возникающие при их применении.

Вторая глава посвящена разработке модели распознавания объектов на спутниковых снимках на основе глубоких сверточных нейронных сетей. Подробно рассмотрены этапы подготовки данных, включая разметку изображений, выбор и применение техник увеличения выборки, а также методы предобработки. Обоснован выбор архитектур нейронных сетей и алгоритмов обучения.

В третьей главе изложены принципы и этапы реализации программного обеспечения для автоматического распознавания и анализа объектов на спутниковых снимках. Описана архитектура разрабатываемой системы, её функциональные компоненты, а также интерфейс взаимодействия с пользователем. Представлены программные и технические средства, использованные при реализации, и приведены примеры работы системы на реальных данных.

Четвёртая глава содержит описание процедуры планирования и проведения вычислительного эксперимента, направленного на проверку эффективности разработанной модели и программного обеспечения. Приведены условия эксперимента, критерии оценки результатов, а также сравнительный анализ полученных данных с существующими решениями.

В заключении подведены итоги проведённого исследования, сформулированы основные выводы, а также обозначены направления для дальнейшей работы в области автоматического анализа спутниковых изображений с использованием методов искусственного интеллекта.

# **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

## **Основные научные результаты диссертации**

1. Разработан алгоритм сегментации и классификации объектов, использующий как классические подходы, так и методы глубокого обучения [1-А].
2. Проведены эксперименты, подтверждающие высокую точность в распознавании объектов, таких как здания, дороги, водоемы и других, даже в условиях изменения качества изображений и разности временных периодов [2-А].
3. Изучено влияние различных факторов на точность и производительность системы, таких как разрешение снимков, тип данных и объем обучающей выборки [2-А].
4. Разработана высокоэффективная нейронная сеть для автоматического распознавания и классификации объектов на снимках земной поверхности, а также для анализа изменений объектов на основе снимков за различные временные периоды [3-А].
5. Создан прототип программного обеспечения для автоматического распознавания и анализа объектов на снимках земной поверхности [3-А].

## **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Результаты работы могут быть использованы для разработки программных систем для автоматизированного мониторинга земной поверхности, в том числе для оценки экологических изменений, анализа урбанизации и мониторинга природных катастроф. Разработанное ПО имеет потенциал для применения в широком спектре областей, таких как экология, сельское хозяйство, землеведение и градостроительство.
2. Методы и алгоритмы, предложенные в диссертации, могут быть интегрированы в существующие системы дистанционного зондирования и использоваться для решения задач мониторинга окружающей среды и устойчивости экосистем. Результаты работы обеспечат более точный и быстрый анализ спутниковых данных, что позволит снизить затраты времени и повысить эффективность мониторинга.
3. Разработанная нейронная сеть и методы предобработки данных могут быть использованы для дальнейших исследований в области обработки изображений и машинного обучения, а также для обучения специалистов в этих областях. Результаты работы могут служить основой для создания образовательных программ и курсов по машинному обучению и обработке спутниковых снимков.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ**

1-А. Ковшер, Е. И. Классификация и анализ снимков земной поверхности = Classification and analysis of earth surface / Е. И. Ковшер, Д. Ю. Перцев // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сборник научных статей X Международной научно-практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2024. – С. 152–158.

2-А. Ковшер, Е. И. Оценка значимости параметров обучения модели нейронной сети на примере классификатора объектов на снимках земной поверхности = Assessment of the Significance of the Training Parameters of a Neural Network Model Using the Example of a Classifier of Objects in Images of the Earth's Surface / Е. И. Ковшер, Н. В. Лапицкая // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сборник научных статей XI Международной научно-практической конференции, Минск, 23–24 апреля 2025 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2025. – С. 329–335.

3-А. Kovsher, E. Application of Semantic Technologies in a Model of Automatic Recognition and Analysis of Elements in Images of the Earth's Surface = Применение семантических технологий в модели автоматического распознавания и анализа элементов на снимках земной поверхности / E. Kovsher, M. Mikhalkov // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сборник научных трудов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2025. – Вып. 9. – С. 267–272.