# ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук **КАШНИЦКОГО** Александра Витальевича

на диссертацию Кузнецова Леонида Львовича

«Алгоритмы сегментации радиолокационных изображений для определения водной поверхности и суши в системах обработки данных дистанционного зондирования Земли»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

**Актуальность темы.** Во многих народно-хозяйственных сферах деятельности Российской Федерации используются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), позволяющие определить границы между сушей и водной поверхностью. С их помощью решаются такие востребованные задачи, как обнаружение паводков, мониторинг стихийных бедствий, определение береговой линии и др. Радиолокационная съемка позволяет получать необходимую информацию в любое время суток и при наличии облачности, однако формируемые изображения являются трудно интерпретируемыми человеческим зрением из-за спекл-шума, искажений и затенений объектов. Сегментация радиолокационных изображений позволяет автоматизировать определение указанных классов для облегчения дешифрирования, однако существующие алгоритмы во многих случаях не обеспечивают достоверности и стабильности решения указанной задачи. В связи с этим актуальным является повышение достоверности сегментации радиолокационных изображений для определения водной поверхности и суши, а также обеспечение повторяемости результатов.

**Содержание работы.** Диссертация состоит из введения, четырех основных глав, заключения, списка литературы и приложения.

***Во введении*** кратко приводятся ключевые особенности работы: актуальность, степень разработанности темы, цель и предмет исследования, новизна и значимость, методы, достоверность, апробация, внедрение и публикации; приводится три выносимых на защиту положения.

***В первой главе*** выполнен обзор и определены направления научных исследований по созданию новых алгоритмов сегментации. Рассмотрены особенности формирования радиолокационных изображений в системах ДЗЗ и выполнен анализ методов их сегментации. В качестве базового подхода выбрана кластеризация на основе k-средних, однако из-за её нестабильности обоснована необходимость разработки нового алгоритма. Для повышения достоверности предложено использование поляриметрической классификации, текстурных признаков Харалика и информации из ЦМР.

***Вторая глава*** посвящена разработке алгоритмов сегментации радиолокационных изображений для определения водной поверхности и

суши. Разработан новый алгоритм кластеризации по максимумам гистограммы (АКМГ). Определена возможность применения для решения целевой задачи поляриметрической классификации Клода-Потье с использованием классификатора Уишарта. Произведен отбор текстурных признаков Харалика, обеспечивающих наибольшую достоверность сегментации и разработан алгоритм сегментации, основанный на применении АКМГ к результатам текстурного анализа.

***Третья глава*** посвящена разработке алгоритмов, позволяющих повысить достоверность сегментации на целевые классы за счет комплексирования информации из разных источников. Разработан алгоритм комплексирования результатов сегментации каналов разной поляризации. В том числе исследована возможность добавления результатов сегментации на основе поляриметрической классификации в алгоритм комплексирования. Далее разработан алгоритм формирования маски классов поверхности на основе анализа значений высот по данным цифровой модели рельефа.

***В четвертой главе*** проведены экспериментальные исследования предложенных алгоритмов на натурных радиолокационных изображениях. Всего использовано 80 снимков от космических аппаратов «RadarSat-2» и «Sentinel-1», из них 15 полнополяризационных и 8 двухполяризационных. Алгоритм сегментации на основе кластеризации по максимумам гистограммы (положение 1) протестирован на всех 80 изображениях: достигнута достоверность не менее 90%, результаты повторяемы, а время вычислений снижено на 35–50% относительно базового. Алгоритм комплексирования взвешенным голосованием (положение 2) протестирован на 15 полнополяризационных снимках: максимальный прирост достоверности относительно базового алгоритма сегментации составил до 2,5%. Алгоритм формирования маски классов по ЦМР (положение 3) обеспечил повышение достоверности для изображений с теневыми склонами рельефа до 4,7%, а при использовании в качестве самостоятельного инструмента — не менее 93 %. Также в главе рассмотрены особенности практической реализации алгоритмов в виде программного модуля.

**Текст автореферата соответствует содержанию работы.**

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.** Автор корректно использует известные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Автором изучены и критически анализируются известные решения по вопросам сегментации радиолокационных изображений для определения водной поверхности и суши, поляриметрической классификации и текстурного анализа, кластеризации данных.

Обоснованность сформулированных в диссертационной работе научных положений, выводов и рекомендаций основывается на теоретическом анализе и практических результатах применения разработанных алгоритмов.

Экспериментальные исследования выполнены на основе разработанного для предложенных алгоритмов программного модуля на статистически представительной выборке радиолокационных изображений. Обоснованность выводов обеспечена корректным использованием статистических методов.

**Оценка новизны, достоверности и публикация результатов работы.** В качестве новых научных результатов диссертантом предложены:

– Алгоритм сегментации (АС) радиолокационных изображений для определения водной поверхности и суши с достоверностью сегментации не менее 90 % на основе алгоритма кластеризации, который обеспечивает повторяемость результатов при повторной обработке.

– Алгоритм комплексирования результатов сегментации многоканального радиолокационного изображения с помощью взвешенного голосования, позволяющий повысить достоверность до 2,5% по отношению к базовому АС.

– Алгоритм формирования маски классов поверхности по результатам анализа относительных значений высот из цифровой модели рельефа, позволяющий выполнить сегментацию с достоверностью не менее 93% или повысить ее достоверность при наличии на изображении теневых склонов рельефа до 4,7% по отношению к базовому АС.

Результаты, полученные автором, являются новыми научными знаниями в области повышения достоверности алгоритмов сегментации радиолокационных изображений на классы водной поверхности и суши.

Достоверность научных положений, теоретических выводов и практических результатов подтверждается наличием актов внедрения результатов диссертационной работы на производстве и в учебном процессе. Кроме того, по теме диссертации опубликовано 14 работ, среди которых 4 публикации в изданиях из перечня ВАК и 4 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Апробация теоретических положений и практических результатов выполнена на различных научно-технических конференциях.

Диссертация характеризуется полнотой рассмотренных и проанализированных положений, содержит рекомендации по применению разработанных в ней алгоритмов. Диссертация содержит новые научные положения и результаты, что свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

**Ценность для науки и практики результатов работы.** Разработанные соискателем алгоритмы позволяют обеспечить повторяемость результатов сегментации радиолокационных изображений и повысить ее достоверность при определении водной поверхности и суши за счет использования различных информационных признаков. Практическая значимость подтверждается наличием двух актов о внедрении.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов.** Разработанные алгоритмы могут найти применение в системах оперативной обработки данных ДЗЗ, прежде всего в задачах мониторинга водных

объектов, паводков и береговой линии. Результаты работы целесообразно использовать при создании и модернизации средств обработки радиолокационных снимков. Материалы диссертации могут представлять интерес для организаций, занимающихся тематической обработкой радиолокационных данных, в том числе органов государственного управления, предприятий ракетно-космической отрасли и МЧС.

**Общие замечания по диссертационной работе.**

1. Отбор текстурных признаков Харалика выполнялся на основе критерия наибольшей достоверности сегментации. Вместе с тем в работе было бы желательно рассмотреть и более сложные варианты комплексного использования признаков, которые могли бы быть не менее эффективными.
2. Разработанные алгоритмы проверены на выборке из 80 изображений, однако в тексте не хватает подробной характеристики её разнообразия, что затрудняет оценку работоспособности алгоритмов в сложных ситуациях (заболоченная местность, разливы рек, зимние условия, затопленные сельскохозяйственные поля и т.д.). Кроме того, при создании эталонных масок пиксели размечены вручную с заявленной погрешностью не более $10^{-4}$, но при этом не раскрыто, на основе каких дешифровочных признаков и информации это делалось и как получена данная цифра.
3. В главах 2 и 3 экспериментальные исследования проводились всего на трёх радиолокационных изображениях КА «RadarSat-2» в достаточно однородных условиях. Представляется, что использование на этом этапе более представительной выборки, которая имелась в распоряжении автора и применялась в главе 4, позволило бы получить более полную картину при отработке промежуточных вариантов.
4. Из текста работы не вполне ясно, какую именно ЦМР использовал автор. Приведенные три ссылки не проясняют этого: они представляют собой обзор методов выделения водных объектов, работу по сегментации в городских условиях и книгу по геоинформатике. Таким образом, конкретные характеристики используемой ЦМР (разрешение, источник, год) остаются нераскрытыми.

Приведенные замечания не меняют общего положительного мнения о диссертационной работе и не оказывают влияния на значимость научных положений.

**Заключение.** Полученные автором научные и практические результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, расчетов и примеров. Она написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена.

Диссертация Кузнецова Л.Л. является научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научно-обоснованные технические решения в виде алгоритмов сегментации изображений от систем радиолокационного наблюдения Земли, имеющих большое значение для различных отраслей народного хозяйства страны.

Диссертация и автореферат соответствуют выбранной специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Содержание диссертационной работы Кузнецова Л.Л. соответствует требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор Кузнецов Леонид Львович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Официальный оппонент,
ведущий научный сотрудник
Института космических исследований
Российской академии наук,
кандидат технических наук / 17.08.2026

**Кашницкий Александр Витальевич**

Контактные данные
Институт космических исследований Российской академии наук
117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
Телефон: +7 (909) 670-16-71, E-mail: kashnitskii@d902.iki.rssi.ru

Подпись Кашницкого А.В. заверяю
Учёный секретарь ИКИ РАН
к. ф.-м. н. Садовский А.М.

С отзывом ознакомлен
21.08.2026