ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертационную работу Леонида Львовича **КУЗНЕЦОВА**
АЛГОРИТМЫ СЕГМЕНТАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И СУШИ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

На оппонирование представлена диссертационная работа на 148 листах, из которых основной текст составляет 130 листов. Структурно работа организована в виде четырех глав, которым предшествует Введение, а после идут Основные результаты, Заключение, Список литературы (109 наименования) и одно Приложение.

Работа спланирована как последовательное решение ряда задач.

Цель работы обозначена во Введении как повышение достоверности и повторяемости алгоритмов сегментации радиолокационных изображений для определения водной поверхности и суши.

В первой главе диссертации «Анализ существующих методов и алгоритмов сегментации радиолокационных изображений систем ДЗЗ» автором на 27 страницах анализируются подходы к формированию радиолокационных изображений в космических системах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и основные параметры, необходимые для сегментации по классам «водная поверхность» и «суша». Рассмотрены известные алгоритмы поляриметрической классификации и текстурного анализа, из которых выбраны используемые в последующих главах. Определены направления дальнейших исследований, связанные с научными положениями, выносимыми на защиту:

– разработка алгоритма сегментации радиолокационных изображений для определения водной поверхности и суши на основе детерминированного алгоритма кластеризации;

– разработка алгоритма комплексирования результатов сегментации многоканального радиолокационного изображения;

– разработка алгоритма формирования маски классов поверхности по результатам анализа значений высот из цифровой модели рельефа для выполнения сегментации радиолокационных изображений.

Во второй главе «Алгоритмы сегментации радиолокационных изображений для определения водной поверхности и суши» (38 стр.) разрабатывается детерминированный алгоритм адаптивной кластеризации по максимумам гистограммы (АКМГ), направленный на устранение главного, по мнению автора, недостатка известных решений на основе k-средних - зависимости результатов кластеризации от начальных условий, что приводит к отличающимся результатам при повторной обработке. Рассматривается возможность применения алгоритма поляриметрической классификации Клода-

Потье с использованием классификатора Уишарта для сегментации изображений на целевые классы. Проводится отбор текстурных признаков Харалика по критерию максимума достоверности сегментации. Разрабатывается алгоритм сегментации, основанный на применении АКМГ к результатам текстурного анализа.

Третья глава «Алгоритмы повышения достоверности сегментации радиолокационных изображений для определения водной поверхности и суши» (39 стр.) посвящена разработке алгоритмов, направленных на повышение достоверности результатов алгоритмов сегментации радиолокационных изображений на классы водной поверхности и суши с использованием дополнительной или априорной информации, в частности, комплексирования результатов сегментации многоканального радиолокационного изображения и формирования маски классов поверхности по результатам анализа значений высот из цифровой модели рельефа.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования разработанных алгоритмов сегментации радиолокационных изображений» (10 стр.) представлены численные оценки эффективности разработанных в предшествующих главах алгоритмов сегментации и повышения ее достоверности на 80 натурных радиолокационных изображениях от космических аппаратов «RadarSat-2» и «Sentinel-1», из которых 15 полнополяризационных и 8 с двумя видами поляризации. Изображения представляют как последовательную съемку маршрута, так и фрагменты отдельных сцен. Отмечены особенности практической реализации предложенных алгоритмов.

Актуальность темы. В системах ДЗЗ традиционно наряду с оптическим наблюдением используется радиолокационная съемка, позволяющая получать данные дистанционного зондирования в любое время суток и при наличии облачности, что способствует решению многих задач. Одной из таких задач, решаемых с использованием обработки радиолокационных данных, является классификация водной поверхности и суши. Корректное определение границ данных классов требуется во многих областях, например, в гидрологии, судоходстве, рыбном промысле приоритет отдается выделению воды; в геологии, картографии и градостроительстве – наоборот определению суши. Особенности радиолокационных изображений (спекл-шум, эффекты отражения, затенения и др.) существенно затрудняют сегментацию классов водной поверхности и суши, особенно в автоматизированном режиме. Известные решения не всегда удовлетворяют постоянно возрастающим требованиям к достоверности идентификации. Поэтому тематика диссертационной работы, направленной на повышение достоверности сегментации радиолокационных изображений для определения водной поверхности и суши, является безусловно актуальной.

Новым научным положением диссертации, представляющим наибольший интерес, является совокупность алгоритмов сегментации радиолокационных изображений для определения водной поверхности и суши, основанных на комплексном использовании текстурных, поляриметрических и топографических признаков этих объектов

изображений, что позволяет повысить достоверность и стабильность результатов сегментации.

Обоснованность научных положений и выводов. Предложенные в диссертационном исследовании решения, несмотря на их эвристический характер, имеют обоснование и не противоречат существующим решениям других авторов. Достоверность проведённых исследований подтверждается результатами экспериментов на реальных радиолокационных изображениях от космических аппаратов «RadarSat-2» и «Sentinel-1». Достоверность и обоснованность полученных в работе научных результатов, положений и выводов подтверждается 6 докладами Кузнецова Л.Л. на всероссийских и международных научно-технических конференциях, 4 статьями в изданиях по списку ВАК и 4 свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ.

Значимость результатов диссертации для науки и практики. К результатам и выводам диссертационной работы, имеющим теоретическую значимость, можно отнести разработку алгоритмов сегментации радиолокационных изображений по классам водной поверхности и суши, комплексно использующих текстурные, поляриметрические и топографические признаков этих объектов, что позволило обеспечить стабильность результатов обработки и повысить быстродействие.

К результатам и выводам диссертационной работы, имеющим практическую значимость, следует отнести алгоритм комплексирования результатов сегментации многоканального радиолокационного изображения с помощью взвешенного голосования, направленный на повышение достоверность разделения водной поверхности и суши, а также методику формирования маски классов поверхности по результатам анализа относительных значений высот из цифровой модели рельефа, направленную на решение той же задачи на «теневых склонах» рельефа.

Практическая значимость подтверждается и использованием результатов исследования в рамках ОКР 16-13 по теме «Обзор-Р», определенной Федеральной космической программой (заказчик – АО «Ракетно-космический центр «Прогресс»), а также внедрением в специальное программное обеспечение высокоуровневой обработки радиолокационной информации космического аппарата «Обзор-Р» №1 в АО «Ракетно-космический центр «Прогресс».

Считаю, что исследования по теме диссертации целесообразно продолжить и развить, в том числе в сотрудничестве с теми же организациями, где результаты уже использованы. Тем более, что автор сам отмечал в диссертации (в частности, на стр. 76), что «в настоящий момент имеющихся данных недостаточно для проведения глубокого анализа».

Соответствие автореферата диссертации. Автореферат соответствует диссертации и в достаточной мере отражает результаты и выводы диссертационной работы.

Основные положения, выносимые на защиту, обсуждались на научных конференциях и опубликованы.

Мнение о работе в целом. В работе сформулирована и решена актуальная задача повышения достоверности, в том числе стабильности результатов, сегментации водной поверхности и суши на радиолокационных изображениях, в том числе многоканальных. Для решения поставленной задачи разработаны алгоритмы сегментации радиолокационных изображений для определения водной поверхности и суши на основе кластеризации и комплексирования результатов сегментации многоканального радиолокационного изображения с использованием взвешенного голосования; предложена маска классов поверхности на основе анализа значений высот по данным цифровой модели рельефа, а также алгоритм ее формирования. Алгоритмы протестированы на реальных радиолокационных изображениях. Поставленная цель достигнута за счет комплексного использования текстурных, поляриметрических и топографических признаков исследуемых изображений.

В качестве **недостатков** и **замечаний** по работе следует отметить следующие.

1. Автором ставится задача получить «достоверное подтверждение характеристик выдвинутых на защиту Положений на основе статистически представительной информации». При этом не поясняется, что понимается под «статистически представительной информацией», каковы доверительные интервалы полученных результатов.

2. Отмечается, что размер окна обработки влияет на достоверность сегментации, т.е. для разных изображений оптимальные размеры окна сегментации разные. Целесообразно было бы исследовать, какие характеристики изображения определяют оптимальность размера окна, и выбирать оптимальный размер по этим характеристикам. Автор же пошел другим путем, определив размер окна обработки по наибольшей средней достоверности сегментации по трем изображениям, что не гарантирует, что для других изображений этот размер останется «лучшим». Даже для использованного изображения 1 выбор таким образом окна по сравнению с оптимальным размером увеличил число неверно классифицированных пикселей на 19%.

3. Утверждается, что проведенный отбор текстурных признаков Харалика обеспечил максимальную достоверность сегментации. При этом доказательства этого утверждения в работе не приводится.

4. Автор пишет «пиксели, сосредоточенные вокруг максимумов (пиков) гистограммы, имеют схожие свойства» (стр. 40). Непонятно о каких «свойствах» идет речь. Судя по контексту, под пикселом автор понимает яркость (уровень серого), или еще какие-то свойства? Да, яркость будет близкой, но местоположение м.б. совсем иным. Поэтому данное предположение, на мой взгляд, является спорным.

5. Непонятен смысл оценочной функции $\Phi[l]$, в которой от яркости l отнимается элемент c множества C отобранных центроидов (стр. 41). Что отнимается от яркости? Яркость? Но C это множество координат, а не множество яркостей. Также судя по тексту, в формуле (17) от яркости пикселя x_i отнимается центр μ_k кластера k? При этом говорится о сумме квадратов расстояний «объектов» до центров их кластеров. Что означают в формуле двойные скобки? Норму? Но если используется математический

аппарат теории множеств, то вначале целесообразно было бы выбрать и ввести метрику.

6. Недостаточно обосновано предположение автора, что положение центроидов соответствует сдвигу от пика сглаженной гистограммы в сторону локального центра масс, а также выбор размера локальной окрестности, по которой вычисляется центр масс. Поэтому утверждение автора, что при этом положении центроида достигается минимум взвешенной суммы квадратов отклонений нельзя считать доказанным. Не доказывает это и ссылка автора на работу [99].

7. Для оценки достоверности алгоритмов сегментации автор для каждого экспериментального изображения вручную сформировал эталонные результаты сегментации. При этом утверждается, что вероятность ошибки (которую автор называет погрешностью) эталонного результата сегментации не превышает 10^{-4}. Непонятно, на чем основано это утверждение. Был еще какой-то эталон? Тогда почему не было сравнения с ним?

8. Судя по тексту диссертации (стр.62) при сегментации использовались три текстурных признака: второй угловой момент, обратный дифференциальный момент и энтропия, однако при оценке быстродействия энтропия почему-то игнорируется. Является ли при этом оцененное быстродействие завышенным?

9. В табл. 6 для второго изображения при окне 5x5 значение $Acc_в$, равное 0,3075, вызывает сомнения.

10. В тексте диссертации есть незначительное число мелких небрежностей и орфографических и пунктуационных ошибок, так цель работы сформулирована как «повышение достоверности и повторяемости алгоритмов сегментации …», вероятно имелась ввиду повторяемость результатов алгоритмов; используется понятие «поддиапазон гистограммы», при этом определение этому понятию не дается; в таблицах 2-3 приведена аббревиатура JNB, которая не расшифрована; непонятно зачем на рис. 11-14 приведено дробное значение числа кластеров; на рис. 12 отсутствует результат для АКМГ при числе кластеров, равном 4; после формулы 18 отсутствует запятая и другие.

Отмеченные замечания мало влияют на значимость и достоверность теоретических и практических результатов диссертации, выносимых на защиту. Анализ работы позволяет сделать вывод, что диссертация Л.Л. Кузнецова является законченным оригинальным научно-квалификационным исследованием. Представленный в автореферате и диссертации материал хорошо структурирован и достаточно аккуратно оформлен, изложение соответствует научным стандартам и подкреплено соответствующим иллюстративным и графическим материалом. Основные положения обоснованы и подтверждены результатами экспериментальных исследований. По каждой главе и работе в целом сделаны выводы.

Заключение. В диссертационной работе Л.Л. Кузнецова «Алгоритмы сегментации радиолокационных изображений для определения водной поверхности и суши в

системах обработки данных дистанционного зондирования Земли» решена научно-техническая задача повышения достоверности сегментации водной поверхности и суши на радиолокационных изображениях за счет комплексного использования текстурных, поляриметрических и топографических признаков этих объектов.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (пп. 4 и 12), работа по форме и содержанию соответствует требованиям пп. 9, 10, 11, 13, 14 действующей редакции «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Кузнецов Леонид Львович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Доктор технических наук (05.13.16),
профессор, директор НИЦ обработки
цифровых сигналов и изображений
«Сигнал» Ульяновского государственного технического университета,

10.08.2026

Ташлинский Александр Григорьевич

Контактная информация
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»
Адрес: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.
Сайт: http://www.ulstu.ru.
Телефон: 8 (8422) 778-511
E-mail: tag@ulstu.ru

Подпись Ташлинского А.Г. заверяю:



С отзывом ознакомлен
24.08.2026