

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора ИКИ РАН,

доктор физико-математических наук,

член-корреспондент РАН

Лутовинов А.А.

02.10.2023 г



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Мурынина Александра Борисовича «Методы анализа данных дистанционных измерений для исследования объектов земной поверхности и океана», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы»

Диссертация посвящена развитию вычислительных методов и алгоритмов цифровой обработки и анализа данных, получаемых при дистанционном зондировании Земли из космоса.

Общий объем диссертации – 361 страница, список цитируемой литературы составляет 367 наименований.

Актуальность диссертационной работы

Актуальность тематики диссертации в первую очередь обусловлена тем, что развитие методов и алгоритмов обработки спутниковых данных необходимо как для обеспечения возможности работы с данными постоянно развивающихся систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), так и в связи с расширением областей их научного и практического применения. При этом следует особо отметить актуальность решения задачи автоматизации процессов обработки и анализа аэрокосмических данных, в том числе при помощи новейших технологий.

Рассматриваемые в работе вопросы развития методов повышения пространственного разрешения космических изображений и методов извлечения структурной информации о наблюдаемых объектах, безусловно, являются актуальными, поскольку данные вопросы не являются сегодня полностью решенными. В то же время новые подходы к решению данных вопросов, в том числе и предлагаемые в представленной работе, важны для решения различных научных и прикладных задач.

В диссертационной работе также исследуются и развиваются методы обработки данных дистанционного зондирования как суши, так и поверхности океана. Для изображений поверхности суши разрабатываются методы, позволяющие повысить информативность данных дистанционного зондирования – улучшить пространственное разрешение и извлечь структурную информацию об исследуемых объектах и поверхностях. Для морской поверхности развиваются методы дистанционного измерения пространственных спектров волнения, которые позволяют получать информацию о большом числе процессов и явлений на поверхности океана. Для адекватной оценки характеристик поверхностных волн по оптическим изображениям создаются специальные методы восстановления характеристик поверхности по изображениям с учётом физических условий формирования поля яркости, регистрируемого на изображениях. Данное направление работы также является актуальным, поскольку может позволить разработать новые подходы и системы получения информации о состоянии морской поверхности, в том числе для изучения различных физических процессов, а также мониторинга различных опасных процессов, прогноза их развития и последствий.

Новизна проведённых исследований и полученных результатов

В работе получены следующие новые результаты, выносимые на защиту.

1. На основе разработанных базовых методов повышения пространственного разрешения спутниковых изображений,

основанных на вероятностном анализе и пространственном спектральном синтезе изображений, развит метод комплексирования и обработки данных дистанционного зондирования с использованием традиционных и нейросетевых подходов для получения информации об антропогенных объектах на аэрокосмических изображениях. Развита метод нейросетевого суперразрешения для повышения качества аэрокосмических изображений антропогенных объектов, причём созданная нейросеть суперразрешения с выбранной функцией потерь показала лучшие результаты в сравнении с аналогами как по количественным мерам качества, так и при визуальной оценке.

2. Предложен подход к решению задачи определения трёхмерных геометрических размеров наблюдаемых объектов по двумерным данным в спутниковом изображении, основанный на совместном использовании традиционных методов обработки изображения и методов семантической сегментации спутниковых изображений, основанных на машинном обучении и анализе данных с применением искусственных нейронных сетей.
3. Разработан метод восстановления пространственных спектров поверхностного волнения по аэрокосмическим оптическим изображениям, основанный на применении специальных многопараметрических восстанавливающих операторов, которые строятся путём численного моделирования физических процессов формирования аэрокосмических оптических изображений с учётом нелинейной модуляции поля яркости уклонами морской поверхности. В результате численной оптимизации подобраны значения параметров восстанавливающих операторов, работающих в условиях развитого развивающегося волнения, в том числе в областях аномальных явлений на морской поверхности.

4. Результаты валидации разработанного метода дистанционного измерения спектров морских волн с использованием подспутниковых измерений с помощью струнных волнографов, стереосъёмки с высоким пространственным разрешением, дрейфующих волновых буёв. Показано хорошее соответствие результатов дистанционных измерений с данными подспутниковых экспериментов, в том числе по результатам измерения углового распределения энергии волн. Экспериментально подтверждена адекватность дистанционного измерения как средних по времени спектров морской поверхности, так и вариаций этих спектров, обусловленных нестационарностью волнения. Экспериментально подтверждено, что предложенный метод может успешно применяться при исследовании антропогенных и природных аномальных процессов, вызывающих деформации пространственных спектров поверхностного волнения.

Значимость полученных в диссертации результатов для развития отрасли науки.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке методов, технологий, и систем, ориентированных на исследование и мониторинг поверхности Земли и гидросферы, в том числе на исследование различных антропогенных объектов и их влияния на окружающую среду.

Теоретическая значимость состоит в создании и апробации новых методов анализа спутниковых изображений для исследования объектов земной поверхности и океана. В работе используются достаточно общие подходы к обработке аэрокосмических изображений объектов различной физической природы. Эти подходы основаны на совместном использовании пространственного спектрального и статистического анализа, численного

моделировании физических процессов. Для решения ряда задач использованы современные методы машинного обучения.

Практическая значимость результатов работы состоит в возможности использования разработанных методов и алгоритмов для решения задач, требующих получения различных количественных характеристик объектов и процессов на земной поверхности по аэрокосмическим изображениям. Подобные методы и алгоритмы сегодня востребованы при построении современных научных и прикладных систем дистанционного мониторинга, одной из основных задач которых является получение и использование информации для моделирования и прогноза развития различных явлений и процессов. Особо следует отметить, что разработанные в диссертации методы и алгоритмы позволяют реализовывать процедуры автоматизированной обработки спутниковых данных, в том числе и временных серий спутниковых наблюдений. Это, безусловно, повышает их значимость для использования в интересах различных специализированных информационных систем дистанционного мониторинга.

Разработанный автором совокупность алгоритмов, реализована в виде программного комплекса, выполняющего цикл анализа аэрокосмических изображений от проведения их предварительной обработки до восстановления трехмерных структурных признаков объектов. Программный комплекс может быть использован для решения различных практических задач, в том числе для предварительного выделения объектов на аэрокосмических изображениях высокого пространственного разрешения с использованием различных, относительно простых алгоритмов, обеспечивающих измерения характеристик цвета и формы объектов, и комплексирования получаемых на их основе результатов с нейросетевыми алгоритмами сегментации аэрокосмических изображений.

Практическая значимость метода дистанционного измерения пространственных спектров морского волнения состоит в том, что он позволяет исследовать различные процессы и явления на поверхности и в

приповерхностном слое океана в широком диапазоне пространственных масштабов. Важным практическим результатом работы является создание высокопроизводительного метода, алгоритмов и исследовательского программного обеспечения для регистрации спектров морской поверхности по космическим изображениям, которые могут применяться для решения задач оперативной океанографии, охраны окружающей среды и рационального природопользования акваторий морей и океанов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Таким образом, результаты, изложенные в диссертации, могут быть использованы при построении и развитии различных современных автоматизированных систем дистанционного мониторинга природных и антропогенных объектов, для решения фундаментальных и прикладных задач. В том числе полученные результаты могут применяться и в системах, которые в настоящее время эксплуатируются в России.

Апробация разработанных методов, алгоритмов и программного обеспечения проводилась автором в процессе решения конкретных задач, что подтверждается соответствующими актами о внедрении, полученными от следующих организаций: Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга "АЭРОКОСМОС", Ракетно-космическая корпорация "Энергия", Научно-исследовательский институт космических систем имени А.А. Максимова, АО "НИИАС", Московский физико-технический институт, ООО "SPIRIT Corp".

Работу по дальнейшему развитию предложенных методов и информационных технологий целесообразно продолжить в ФИЦ ИУ РАН и других организациях, занимающихся этой отраслью науки. Целью должно являться развитие разработанных программных комплексов, как в качестве самостоятельных продуктов, так и в виде расширений для существующих программных пакетов. Рекомендуется дальнейшее внедрение результатов

работы Мурынина А.Б. в организациях, создающих программные продукты, предназначенные для решения задач спутникового мониторинга.

Замечания по диссертации

К основным замечаниям к представленной работе можно отнести следующие:

1. Описание результатов, выносимых на защиту результатов, представлено в излишне общих формулировках, не содержащих конкретные численные характеристики, определяющие их преимущества перед уже имеющимися решениями. В то же время в тексте работы приведена данная информация, которая подтверждает значимость полученных результатов.
2. Подобное же замечание можно отнести к формулировкам новизны полученных результатов, представленных в автореферате, в которых, к сожалению, недостаточно подробно дана характеристика существенных отличительных признаков, оказывающих влияние использование разработанных методов, алгоритмов и программного обеспечения. Хотя, как уже отмечалось выше, подобная информация в целом приведена в основном тексте работы.
3. В диссертации недостаточно подробно представлено описание разработанных соискателем программных средств, что несколько затрудняет восприятие практической значимости данной работы. Хотя, учитывая общий большой объем представленной работы отчасти объясняет сложность включения данной информации в текст диссертации.

Заключение

Приведённые замечания в целом не снижают положительную оценку работы. Представленные в диссертации работы опубликованы автором, в том

числе не менее чем в 35 статьях в изданиях из списка ВАК и приравненных международных наукометрических баз. Результаты докладывались не менее чем на 15 российских и международных конференциях.

Таким образом, диссертация Мурынина А.Б. является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 18.03.2023), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а её автор Мурынин Александр Борисович заслуживает присуждения искомой учёной степени.

Аннотация диссертации полностью отражает основные результаты проведённого исследования, что позволяет судить об основных результатах всей работы.

Настоящий отзыв составлен на восьми страницах в четырёх экземплярах.

Диссертационная работа обсуждена на расширенном заседании научно-технического совета отдела “Технологий спутникового мониторинга” ИКИ РАН, с участием ведущих специалистов отдела “Исследования Земли из космоса” ИКИ РАН 06.09.2023 г., протокол № 09–2023/1

Заместитель председателя

НТС отдела “Технологий спутникового мониторинга”, г.н.с.

д.т.н.

Барталев С.А.