

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.224.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ»
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета 24.1.224.03 от 19.10.2023, № 4

О присуждении Мурынину Александру Борисовичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора технических наук.

Диссертация «Методы анализа данных дистанционных измерений для исследования объектов земной поверхности и океана» по специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы» принята к защите 29 июня 2023 г., протокол № 2, диссертационным советом 24.1.224.03 на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук» (ФИЦ ИУ РАН), 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44/2, созданным на основании приказа Министерства Образования и Науки Российской Федерации №1732/нк от 13.12.2022.

Соискатель Мурынин Александр Борисович, дата рождения 26.09.1960, диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук по закрытой тематике защитил в 1991 году в диссертационном совете в ЦНПО «Комета» по специальности 05.12.20 – «Оптические системы локации, связи и обработки информации», в настоящее время работает в ФИЦ ИУ РАН в должности ведущего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в отделе 13 ФИЦ ИУ РАН.

Официальные оппоненты:

- Каляев Игорь Анатольевич, доктор технических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель направления Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»;
- Алексанин Анатолий Иванович, доктор технических наук, заведующий лабораторией спутникового мониторинга Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук;
- Андрианов Дмитрий Евгеньевич, доктор технических наук, доцент, заместитель директора по учебной работе Муромского института (филиала) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) в своем положительном отзыве, подписанном Барталевым Сергеем Александровичем, доктором технических наук, главным научным сотрудником, заместителем председателя НТС отдела «Технологий спутникового мониторинга», указала, что 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. 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 качестве расширений существующих программных пакетов. Рекомендуются дальнейшее внедрение результатов работы Мурынина А.Б. в организациях, создающих программные продукты, предназначенные для

спутникового мониторинга. В отзыве ведущей организации отмечается, что диссертация Мурынина А.Б. является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения, их внедрение вносит значительный вклад в развитие страны, а её автор Мурынин Александр Борисович заслуживает присуждения искомой учёной степени.

Соискатель имеет 212 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 45 научных работ. При этом 35 публикаций сделаны в изданиях из перечня ВАК и приравненных к нему международных наукометрических баз (в том числе 25 – в базе данных RSCI, 31 – в базах данных Web of Science и Scopus). Все вынесенные на защиту результаты получены автором самостоятельно.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Бондур В.Г., Дулов В.А., Козуб В.А., Мурынин А.Б., Юровская М.В., Юровский Ю.Ю. Восстановление углового распределения энергии морских волн по спектрам спутниковых изображений // Доклады Российской академии наук. Науки о земле. 2023. Т. 509. № 1. С. 125–133.
Англ. версия: Bondur V.G., Dulov V.A., Kozub V.A., Murynin A.B., Yurovskaya M.V., Yurovsky Yu.Yu. Retrieving the Angular Distribution of Sea Wave Energy According to Satellite Imagery Spectra // Doklady Earth Sciences. 2023. Vol. 509. № 1. Pp. 363–369. DOI: 10.1134/S1028334X22601766.
2. Антипова Н.В., Гвоздев О.Г., Козуб В.А., Мурынин А.Б., Рихтер А.А. Восстановление структурной информации об антропогенных объектах из одиночных аэрокосмических изображений // Известия РАН. Теория и системы управления. 2023. № 3. С. 90–105. DOI: 10.31857/S0002338823030010.
3. Bondur V., Dulov V., Kozub V., Murynin A., Yurovskaya M., Yurovsky Y. Validation of the satellite method for measuring spectra of spatially inhomogeneous sea waves // J. Mar. Sci. Eng. 2022. Vol. 10. № 10(1510). 22 p. DOI: 10.3390/jmse10101510.

4. Kozub V.A., Murynin A.B., Litvinchev I., Matveev I., Neural Network Approach to Segmentation of Economic Infrastructure Objects on High-Resolution Satellite Images // Artificial Intelligence in Industry 4.0 and 5G Technology. Wiley, 2022. Pp. 63–100. DOI: 10.1002/9781119798798.ch4.
5. Игнатъев В.Ю., Матвеев И.А., Мурынин А.Б., Усманова А.А., Цурков В.И. Повышение пространственного разрешения панхроматических спутниковых изображений на основе генеративных нейросетей // Известия РАН. Теория и системы управления. 2021. № 2. С. 64–72. DOI: 10.31857/S0002338821020074.
Англ.версия: Ignatyev V.Yu., Matveev I.A., Murynin A.B., Usmanova A.A., Tsurkov V.I. Increasing the Spatial Resolution of Panchromatic Satellite Images Based on Generative Neural Networks // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2021. Vol. 60. № 2. Pp. 239–247. DOI: 10.1134/S1064230721020076.
6. Bondur V., Murynin A. The Approach for Studying Variability of SeaWave Spectra in a Wide Range of Wavelengths from High-Resolution Satellite Optical Imagery // J. Mar. Sci. Eng. 2021. Vol. 9. № 8(823). 15 p. URL: <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/8/823> DOI: 10.3390/jmse9080823.
7. Воробьев В.Е., Мурынин А.Б. Восстановление спектров пространственно-неоднородного морского волнения при космическом мониторинге обширных акваторий // Исследование Земли из космоса. 2020. № 6. С. 47–58. DOI: 10.31857/S0205961420060068.
Англ. версия: Vorobyev V.E., Murynin A.B. Retrieving Spectra of Spatially Inhomogeneous Sea Waves during the Satellite Monitoring of Vast Water Areas // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2021. Vol. 57. № 9. Pp. 1108–1116. DOI: 10.1134/S000143382109067X.
8. Воробьев В.Е., Мурынин А.Б., Хачатрян К.С. Высокопроизводительная регистрация пространственных спектров морского волнения при оперативном космическом мониторинге обширных акваторий //

Исследование Земли из космоса. 2020. № 2. С. 56–68.
DOI: 10.31857/S0205961420020062.

Англ. версия: Vorobyev V.E., Murynin A.B., Khachatryan K.S. High-Performance Registration of Sea-Wave Spatial Spectra during the Operational Space Monitoring of Vast Water Areas // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2020. Vol. 56. № 9. Pp. 1159–1167.
DOI: 10.1134/S0001433820090248.

9. Гороховский К.Ю., Игнатьев В.Ю., Мурынин А.Б., Ракова К.О. Поиск оптимальных параметров вероятностного алгоритма повышения пространственного разрешения мультиспектральных спутниковых изображений // *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2017. № 6. С. 112–124. DOI: 10.7868/S0002338817060099.

Англ. версия: Gorokhovskiy K.Yu., Ignatiev V.Yu., Murynin A.B., Rakova K.O. Parameters Optimization of the Novel Probabilistic Algorithm for Improving Spatial Resolution of Multispectral Satellite Images // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2017. Vol. 56. № 6. Pp. 1008–1020.
DOI: 10.1134/S1064230717060053.

10. Бондур В.Г., Дулов В.А., Мурынин А.Б., Юровский Ю.Ю. Исследование спектров морского волнения в широком диапазоне длин волн по спутниковым и контактными данным // *Исследование Земли из космоса*. 2016. № 1–2. С. 7–24. DOI: 10.7868/S0205961416010048.

Англ. версия: Bondur V.G., Dulov V.A., Murynin A.B., Yurovsky Yu.Yu. A Study of Sea-Wave Spectra in a Wide Wavelength Range from Satellite and In-Situ Data // *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2016. Vol. 52. № 9. Pp. 888–903. DOI: 10.1134/S0001433816090097.

11. Бондур В.Г., Дулов В.А., Мурынин А.Б., Игнатьев В.Ю. Восстановление спектров морского волнения по спектрам космических изображений в широком диапазоне частот // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2016. Vol. 52. № 6. С. 716–728. DOI: 10.7868/S0002351516060055.

Англ. версия: Bondur V.G., Dulov V.A., Murynin A.B., Ignatiev V.Yu. Retrieving Sea-Wave Spectra Using Satellite-Imagery Spectra in a Wide Range of Frequencies // *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2016. Vol. 52. № 6. Pp. 637–648. DOI: 10.1134/S0001433816060049.

12. Бондур В.Г., Мурынин А.Б. Методы восстановления спектров морского волнения по спектрам аэрокосмических изображений // *Исследование Земли из космоса*. 2015. № 6. С. 3–14. DOI: 10.7868/S0205961415060020.

Англ. версия: Bondur V.G., Murynin A.B. Methods for Retrieval of Sea Wave Spectra from Aerospace Image Spectra // *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2016. Vol. 52. № 9. Pp. 877–887. DOI: 10.1134/S0001433816090085.

На автореферат поступили отзывы:

1. Дмитриева Егора Владимировича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук (ИВМ РАН). Отзыв положительный. Замечаний нет.
2. Дулова Владимира Александровича, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника лаборатории прикладной физики моря отдела методов дистанционных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН» (МГИ РАН). Отзыв положительный. Замечаний нет.
3. Кочиева Алексея Архиповича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры высшей математики, информатики и физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный университет по землеустройству» (ГУЗ). Отзыв положительный. Замечаний нет.
4. Майорова Андрея Александровича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой информационно-измерительных систем

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК). Отзыв положительный. Замечаний нет.

5. Матвеева Леонида Владимировича, доктора физико-математических наук, доцента, директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН). Отзыв положительный. Замечание имеет рекомендательный характер.
6. Морозова Евгения Георгиевича, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника, заведующего лабораторией гидрологических процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук. Отзыв положительный. Замечание имеет рекомендательный характер.
7. Носова Виктора Николаевича, доктора технических наук, заведующего лабораторией физико-химических процессов и динамики поверхности океана Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (ГЕОХИ РАН). Отзыв положительный. Замечание имеет рекомендательный характер.

Также имеется 6 актов и справок о внедрении результатов диссертации, полученных от следующих организаций: Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС», Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), ООО «Спирит корп», Научно-исследовательский институт космических систем имени А.А. Максимова, АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»), Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их достижениями в области развития систем дистанционного зондирования и обработки данных.

Диссертационный совет отмечает, что в диссертации Мурынина А.Б. получены следующие **новые** результаты.

1. Предложена совокупность базовых методов повышения пространственного разрешения спутниковых изображений, отличающихся различными подходами к восполнению информации при передискретизации изображений. Развита методика, основанная на измерении пространственных спектров изображений и экстраполяции этих спектров в область высоких пространственных частот. Разработан также вероятностный метод повышения разрешения мультиспектральных изображений, основанный на учёте статистических закономерностей, связывающих панхроматические изображения с мультиспектральными на локальных участках поверхности.
2. На основе разработанных базовых методов повышения пространственного разрешения изображений предложен метод обработки данных дистанционного зондирования с использованием традиционных и нейросетевых подходов для получения информации об антропогенных объектах на аэрокосмических изображениях. Развита методика нейросетевого сверхразрешения для повышения качества аэрокосмических изображений антропогенных объектов, причём созданная нейросеть сверхразрешения показала лучшие результаты в сравнении с аналогами как по количественным мерам качества, так и при визуальной оценке.
3. Предложен подход к решению задачи определения трёхмерных структурных характеристик наблюдаемых объектов по спутниковым изображениям, основанный на совместном использовании традиционных методов обработки изображения и метода семантической сегментации изображений с использованием машинного обучения и анализа данных с применением искусственных нейронных сетей.

4. 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.
5. Получены 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. Экспериментально подтверждена адекватность восстановления двумерных спектров волнения, в том числе по результатам измерения углового распределения энергии волн. Экспериментально подтверждено, что предложенный метод может успешно применяться при исследовании антропогенных и природных аномальных процессов, вызывающих деформации пространственных спектров поверхностного волнения.

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, которые основаны на совместном использовании пространственного спектрального анализа, статистического анализа, численном моделировании физических процессов, синтезе изображений и современных методах машинного обучения.

Практическая значимость результатов работы состоит в возможности использования разработанных методов и алгоритмов при построении

современных научных и прикладных систем дистанционного мониторинга различных явлений и процессов. Важно, что разработанные методы и алгоритмы позволяют реализовывать процедуры автоматизированной обработки спутниковых данных в таких системах. 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. Созданные алгоритмы и программное обеспечение могут применяться для решения задач оперативной океанографии и рационального природопользования акваторий морей и океанов.

Достоверность и обоснованность полученных результатов базируется на валидации представленных методов, в том числе в комплексных экспериментах, а также на результатах компьютерного моделирования.

Личный вклад соискателя: все основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно.

В ходе защиты диссертации были заданы вопросы, уточняющие главные результаты диссертации и используемые обозначения и термины. Был высказан ряд замечаний, в частности следующие:

1. В работе не приведен анализ влияния аппаратной функции на улучшения пространственного разрешения изображения. При описании методов повышения разрешения мультиспектральных изображений на основе опорного панхроматического не оценивается влияние функции спектральной чувствительности каналов.

2. В тексте на конкретных примерах приводятся величины различных критериев, но не объясняется их применимость для решаемых задач.

3. В диссертации мало внимания уделено анализу существующих эффективных алгоритмов обнаружения по конфигурации реперных точек, определяемых автоматически на изображении.

4. Во введении в качестве цели диссертационной работы объявлена разработка эффективных методов и алгоритмов увеличения информативности

данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Однако при этом не объяснено, что является критерием информативности данных ДЗЗ.

5. В диссертации показано, что разработанный автором метод повышения разрешения мультиспектрального изображения на основе вероятностного анализа исходного мультиспектрального и опорного панхроматического превосходит известные аналоги по выбранным мерам (Q, SAM, ERGAS), однако автор не провел сравнение разработанного им метода с известными по вычислительной сложности, что не позволяет в полной мере оценить возможности использования.

6. При разработке ряда алгоритмов повышения разрешения космических изображений не проанализированы ограничения на их применение при решении практических задач космического мониторинга.

7. Недостаточно полно описаны разработанные макеты программных комплексов (главы 3,4), что снижает возможности оценки дальнейших внедрений предложенных методов и алгоритмов.

8. В главе 3 представлено мало примеров восстановления трёхмерных моделей объектов по одиночным изображениям, что не позволяет в полной мере оценить практические возможности алгоритма.

9. В главе 2 не указано, осуществлялся ли контроль переобучения искусственных нейронных сетей. Если переобучение имело место, то какие методы борьбы с ним использовались?

10. В работе мало исследована обоснованность применения генеративных нейросетей в повышении резкости, в частности, вопрос о том, велика ли вероятность, что сеть, повышая резкость, добавит несуществующие объекты или их части.

Соискатель Мурынин А.Б. ответил на заданные в ходе заседания вопросы и замечания, привёл по каждому из них собственную аргументацию, основанную на материалах диссертации и доклада.

На заседании 19 октября 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Мурынину Александру Борисовичу учёную степень доктора технических наук за разработку новых научно обоснованных методов, алгоритмов и программных средств, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие в стране систем обработки данных дистанционного зондирования Земли.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 5 докторов наук по специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы», участвовавших в заседании, из 29 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 17, против – 4, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета 24.1.224.03

д.ф.-м.н.

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.1.224.03

к.т.н.

19 октября 2023 г.



Воронцов К.В.
Рейер И.А.

Воронцов К.В.

Рейер И.А.