

УТВЕРЖДАЮ
Врио начальника
научно-исследовательского центра
(топогеодезического и навигационного
обеспечения) ФГБУ «27 ЦНИИ»
Минобороны России

«до» сентября 2022 г.

Р. Канзалаев



О Т З Ы В

на автореферат диссертации Кириенко Андрея Васильевича
«Модели и методики информационного обеспечения геоинформационной
системы поиска техногенного мусора на основе воздушной
видеоспектральной съемки», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 25.00.35 – Геоинформатика

Частью технологий мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды являются геоинформационные системы (ГИС), а оперативное дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) на основе воздушной съемки - одним из основных компонентов их информационного обеспечения. Такая съемка широко используется на воздушных пилотируемых и беспилотных летательных аппаратах, в том числе для оперативного предупреждения чрезвычайных ситуаций из-за возможных загрязнений местности опасными техногенными отходами, к которым относятся, в том числе, обломки отделяемых частей ракет-носителей, образующиеся в ходе проведения запусков. Данное обстоятельство требует оперативного поиска техногенного мусора и ликвидации загрязнений.

С учетом того, что разброс обломков, как правило, распространяется на значительную территорию, а размеры фрагментов малы, их обнаружение методами воздушной оптико-электронной съемки (ОЭС) становится значительной проблемой. Эта проблема связана с низкой заметностью искомых объектов на фоне реальной степной, лесистой и иногда частично урбанизированной местности. В итоге их выявление с помощью ОЭС сопряжено с большими временными и финансовыми затратами.

Повышение эффективности информационного обеспечения ГИС поиска техногенного мусора возможно путем применения сравнительно новых средств гиперспектральной съемки (ГС). Их явное преимущество перед аппаратурой ОЭС в настоящее время до конца не обосновано. Вместе с тем,

данные ДЗЗ, полученные с помощью систем ГС, обеспечивают автоматизированное распознавание элементов земной поверхности путем сравнения спектральных характеристик пространственно-разрешаемых элементов земной поверхности с заведомо возможным набором опорных спектральных кривых.

В соответствии с вышеизложенным, представленная диссертационная работа, посвященная разработке моделей и методик информационного обеспечения ГИС поиска техногенного мусора на основе применения воздушной ГС, является **актуальной**.

Целью исследований в диссертационной работе является повышение эффективности информационного обеспечения ГИС поиска техногенного мусора путем применения и обработки данных воздушной ГС.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Основные результаты работы сформулированы в виде выводов.

Во **введении** отражена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и решаемые задачи, основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, теоретическая ценность и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе приводится анализ возможности применения воздушной ГС для информационного обеспечения ГИС поиска техногенного мусора.

Рассмотрены особенности построения аппаратуры и проблемы обработки данных ГС.

Рассматривается применение атмосферной модели MODTRAN для учета влияния атмосферы как основного фактора, влияющего на формирование спектральных идентифицирующих свойств данных ГС.

Во второй главе рассматривается методика первичной обработки данных ГС. Данная методика основана на разработанных автором методиках радиометрической калибровки на основе оценки спектрального разрешения и атмосферной коррекции данных.

Методика калибровки основана на использовании атмосферной модели MODTRAN и позволяет скорректировать спектральные кривые аппаратуры ГС с точностью около 5-10%. Показано, что ее успешное применение возможно при достаточно точном знании спектрального разрешения аппаратуры ГС.

Методика оценки спектрального разрешения аппаратуры ГС основана на сравнении результатов тестовой съемки участка неба с рассчитанными модельными данными. Методика оценки спектрального разрешения апробирована на трех разновидностях приборов – двух видеоспектрометрах разработки НПЦ «Реагент» и серийного импортного спектрорадиометра FieldSpec, характеристики которых известны и заданы паспортными данными.

В третьей главе рассматриваются модели и методики предварительной обработки данных ГС, включая методику компенсации шумовых искажений и методику комбинированной геометрической коррекции и геокодирования данных.

Практика показала, что для многих приборов ГС может быть весьма значимым уровень регулярных полосовых искажений до 20% полезного сигнала. Для оценки шумовых искажений разработана методика на основе эмпирико-математической модели формирования сигналов в аппаратуре ГС, которая затем используется в главе 4 при разработке имитационной модели функционирования системы.

Предложенная автором методика комбинированной геометрической коррекции и геокодирования данных ГС позволяет повысить точность координатной привязки до 15-20%, но что более существенно - повышает визуальную дешифрируемость данных благодаря демпфированию высокочастотных геометрических искажений образов объектов.

В четвертой главе рассматривается методика тематической обработки данных ГС на основе имитационной модели геоинформационного представления объектов поиска, процесса формирования и обработки данных. Предложенная автором имитационная модель разработана для априорной оценки решения задач поиска техногенного мусора в конкретных условиях.

Апробация методики тематической обработки данных ГС на результатах реального эксперимента показала высокую вероятность распознавания (0,75 по совокупности обнаруженных объектов) и низкий уровень ложных тревог.

В пятой главе приведена методика системного оценивания эффективности оперативного информационного обеспечения ГИС поиска техногенного мусора, и приведены практические рекомендации по построению информационного обеспечения ГИС поиска техногенного мусора с применением воздушной ГС.

Показано, что конечная производительность использования системы поиска на основе использования ГС в рассматриваемом варианте расчета в среднем в 5 раз выше по сравнению с применением ОЭС.

В заключении перечислены основные результаты исследований:

Поставленная цель диссертационной работы в целом **достигнута**.

Основные результаты диссертационного исследования, имеющие **научную новизну**, заключаются в следующем:

разработана новая модель и методика оценки спектрального разрешения аппаратуры ГС по результатам тестовой съемки, реализуемая путем аналитического сравнения полученных данных с совокупностью расчетов на основе атмосферной модели MODTRAN. На их основе реализована методика радиометрической калибровки, обеспечивающая качественное

функционирование средства ГС в реальных условиях эксплуатации;

доработана до практического применения модель и методика атмосферной коррекции результатов ГС с использованием наземных эталонов;

адаптированы и обоснованы модель и методика коррекции случайных шумов и демпфирования полосовых искажений данных ГС;

разработана новая модель и методика комбинированной геометрической коррекции данных ГС;

разработана новая имитационная модель геоинформационного представления объектов поиска, процесса формирования и обработки данных ГС для произвольных условий наблюдения;

разработаны практические рекомендации по построению информационного обеспечения ГИС поиска техногенного мусора с применением воздушной ГС.

К **замечаниям** по диссертации можно отнести следующее:

1. При изложении методики предварительной обработки данных ГС недостаточно внимания уделено методам, позволяющим сократить время последующей тематической обработки данных ГС и улучшить качество ее результата. К таким методам можно отнести исключение из обработки «плохих» или неинформативных каналов.

Данные методы позволяют оценить качество каждого канала анализируемого изображения на предмет уровня шума, поглощения и рассеивания сигнала атмосферой, и маркировать «плохие» каналы.

Многие из каналов, представленных на анализируемом изображении, могут не содержать полезной информации об интересующих объектах или материалах. Такие каналы также должны быть исключены из обработки.

2. Для реализации расчетных оценок вероятностей решения тематических задач на основе базы данных эталонных спектральных характеристик поверхностей объектов автором используются несколько «универсальных» алгоритмов спектрального сравнения: Теребижа, Кульбака («разностно-векторная»), субпиксельного типа, корреляционный.

Однако не рассматриваются специализированные алгоритмы, разработанные к настоящему времени, позволяющие повысить качество определения по данным ГС искусственных объектов на фоне естественной среды. К таким алгоритмам можно отнести алгоритмы OSP и «определение аномалий».

Алгоритм OSP (Orthogonal Subspace Projection) редуцирует размерность ГС-данных, подавляя спектры материалов фона и усиливая целевой спектр. Этот метод предполагает, что материал целевого спектра может быть представлен в очень низких концентрациях. Данный алгоритм хорош и тем, что при его использовании часто нет необходимости корректировать

записанные сенсором яркости в значения яркости земных объектов, поскольку алгоритм может оперировать с некорректируемыми значениями яркости. Это делает необязательной атмосферную коррекцию.

Алгоритм «определение аномалий» идентифицирует участки изображения, которые могут содержать материалы с аномальными спектрами. Пользователь получает ответ на вопрос: есть ли что-нибудь необычное в анализируемой сцене? В основе алгоритма «определение аномалий» лежит алгоритм OSP.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации и полученных в ней результатов.

В целом, судя по автореферату, диссертационная работа Кириенко А.В. является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научной задачи, имеющей значение для конкурентоспособного развития страны, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.35 – «Геоинформатика».

Ладыгин Виталий Александрович,
кандидат технических наук, специальность 20.02.09,
старший научный сотрудник,
Научно-исследовательский центр
(топогеодезического и навигационного обеспечения)
ФГБУ «27 Центральный научно-исследовательский институт»
Министерства обороны Российской Федерации,
107014, г. Москва, ул. Рубцовско-Дворцовая, д. 6,
8 (499) 268-19-53, 8 (499) 269-53-44 (факс)

Я, Ладыгин Виталий Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

В.А.Ладыгин

«20» сентября 2022 г.

Подпись В.А.Ладыгина заверяю.

Ученый секретарь
кандидат технических наук, доцент



А.Н.Зуева

«20» сентября 2022 г.