

А. В. Марков

(ВКА им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург)

В 1970 г. окончил МИИГАиК по специальности «астрономо-геодезия». В настоящее время — научный консультант ЗАО «Мобиле» (Пермь). Кандидат технических наук, доцент.

О. В. Григорьева

(ВКА им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург)

В 2004 г. окончила Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения по специальности «инженерная защита окружающей среды». В настоящее время — старший научный сотрудник ВКА им. А. Ф. Можайского. Кандидат технических наук.

А. Г. Саидов

(ВКА им. А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург)

В 2007 г. окончил Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения по специальности «инженерная защита окружающей среды». В настоящее время — научный сотрудник ВКА им. А. Ф. Можайского.

В. Ф. Мочалов

(ВКА им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург)

В 1981 г. окончил Военный инженерный Краснознаменный институт им. А.Ф. Можайского, факультет автоматики и вычислительной техники. В настоящее время — старший научный сотрудник ВКА им. А. Ф. Можайского.

Д. В. Жуков

(ВКА им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург)

В 2007 г. окончил Балтийский государственный технический университет «ВоенМех» по специальности «инженерная защита окружающей среды», в настоящее время — научный сотрудник ВКА им. А. Ф. Можайского.

Комплекс программных средств тематической обработки материалов космической гипер- и мультиспектральной съемки

В настоящее время, после начала активной эксплуатации российских оптико-электронных космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) серий «Канопус-В» и «Ресурс-П», существенно возросли возможности оперативного обеспечения отечественных потребителей материалами мультиспектральной (МС) и гиперспектральной (ГС) съемки. Важной особенностью этих данных является возможность использования при тематической обработке в качестве информационных признаков не только топологических, но и спектрально-энергетических характеристик (СЭХ) объектов интереса.

Новая система информационных признаков, а также объемы получаемых для ана-

лиза МС и особенно ГС данных обуславливают приоритетность автоматизации процесса их дешифрирования. В большинстве организаций, использующих в своей деятельности материалы космической съемки, для этих целей преимущественно применяются зарубежные стандартные программные средства обработки геопространственной информации, такие как ENVI, Erdas и др. Однако, несмотря на наличие разнообразных методов классификации и сегментации изображений, автоматизация процесса тематической обработки в этих программных продуктах, как правило, связана с необходимостью изучения специализированных языков программирования и реализации собственных алгоритмов.

При этом оператору необходимо иметь профессиональные знания в области распознавания образов и дешифрирования, а также пройти этап адаптации программного обеспечения с учетом индивидуальных особенностей материалов съемки, зарегистрированных конкретной космической съемочной аппаратурой. Отмечено, что в большинстве случаев имеющиеся тематические модули (например, в ENVI) требуют привлечения дополнительной информации для окончательной интерпретации данных.

Указанные обстоятельства определяют актуальность создания специализированных программ тематической обработки МС и ГС снимков, адаптированных к данным от отечественных космических систем ДЗЗ.

Научные исследования, связанные с разработкой методов и реализующих их программ автоматизированного дешифрирования разномасштабных изображений, активно ведутся в целом ряде отечественных организаций и вузов (Московский физико-технический институт, Рязанский государственный радиотехнический университет и др.). В Военно-космической академии (ВКА) им. А. Ф. Можайского работы по данному направлению базируются на многолетнем опыте проектирования программных средств обработки авиационных ГС изображений, получаемых различной видеоспектральной аэросъемочной аппаратурой из состава академической лабораторно-экспериментальной базы [1]. При этом в качестве информационной основы для обоснования методов автоматизированного дешифрирования МС и ГС данных используется имеющаяся в академии наиболее полная в нашей стране база данных (БД) эталонных СЭХ различных объектов и фонов.

Первая версия созданного в ВКА им. А. Ф. Можайского программного комплекса (ПК), предназначенного для тематической обработки МС и ГС космических

снимков, была ориентирована на выполнение региональных проектов [2] и использование материалов съемки зарубежных космических систем RapidEye, SPOT-5, Landsat ETM, WorldView-2, EO-1 Hyperion. Данная программа позволяла решать следующие задачи:

- оценивание экологического состояния акватории и территории порта с идентификацией участков, подверженных антропогенному воздействию и типовым загрязнениям [3];
- диагностика лесного покрова с выявлением аномальных зон состояния (обводнения, гари и горельники, сухостой и другие лесопатологические изменения) и регистрацией вырубок с определением степени лесовозобновления;
- классификация лесных массивов по породному составу и лесорастительным условиям;
- оценка состояния почвенного покрова в результате загрязнения нефтепродуктами и отходами производства и потребления.

Начиная с 2014 г. ПК был серьезно доработан и усовершенствован. Алгоритмы тематической обработки были адаптированы для работы с МС и ГС данными от КА «Ресурс-П» и «Канопус-В» (в том числе с учетом результатов исследования показателей качества реальных снимков). Модернизация комплекса обеспечила расширение алгоритмической базы в части реализации следующих тематических задач:

- проведения оценки глубин прибрежных акваторий;
- анализа разновременных МС и ГС данных для выявления изменений на анализируемой территории;
- построения оптимальных маршрутов передвижения по труднопроходимой местности на основе результатов ландшафтного дешифрирования и оценки рельефа;

- обнаружения спектральных аномалий и др.

Для корректной работы программы обязательным требованием является точная спектральная и энергетическая калибровка, а также качественная атмосферная коррекция МС и ГС данных. Для учета влияния атмосферы в ПК в качестве дополнительного модуля интегрирован пакет MODTRAN.

Разработанный ПК состоит из следующих частей (рис. 1):

- базы данных эталонных сигнатурных характеристик элементов подстилающей поверхности в диапазоне 0,4–2,5 мкм;
- модуля работы с векторными данными в виде ГИС-приложения;
- модуля автоматизированной обработки МС и ГС данных.

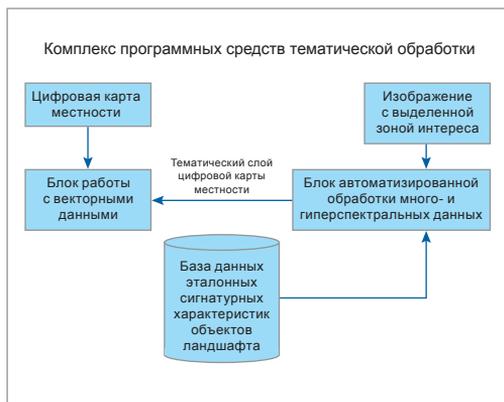


Рис. 1. Структурная схема комплекса программных средств тематической обработки материалов космической ГС и МС съемки

Модуль автоматизированной обработки обеспечивает решение практических задач дешифрирования, направленных на выявление объектов местности и определение их состояния. При этом для классификации и идентификации объектов ландшафта используется информация о СЭХ, содержащаяся в БД эталонных сигнатур. Конечным этапом решения тематической задачи является векторизация результатов обра-

ботки материалов съемки и отображение их в виде тематических слоев цифровой карты средствами блока работы с векторными данными.

БД эталонных сигнатурных характеристик, реализованная в ПК, содержит в настоящее время около 1500 спектров яркости для различных антропогенных и природных объектов ландшафта в диапазоне 0,4–2,5 мкм. Для каждого объекта в БД предусмотрено хранение следующей информации: физико-географическая зона, дата и время наблюдения, фенологический период (для растительных покровов), съемочная аппаратура, проективное покрытие, тип подстилающей поверхности, место измерения, высота Солнца, азимутальный и надирный углы измерения, высота измерения, площадь реферируемой поверхности, количество и форма облачности при измерениях, модель индикатрисы. В БД представлены сведения о коэффициентах спектральной яркости для 12 классов ландшафта, таких как, открытые почвы, леса, кустарники, водно-болотные сообщества и т. д. [4]. Информация, содержащаяся в БД, постоянно пополняется по результатам наземных и авиационных экспериментов, которые планомерно проводятся ВКА им. А. Ф. Можайского в разных регионах России (в 2014 г. занесены новые данные по СЭХ природных объектов, характерных для Алтайского края, Амурской области и Крыма).

Следует отметить, что корректное использование имеющейся в БД спектральной информации в качестве эталонной возможно только при учете различий в режимах наблюдения и особенностей технических характеристик используемых приборов. Влияние этих факторов нивелируется с помощью методов коррекции эталонной информации. Коррекция заключается в адаптации спектральных сигнатур

под границы спектральных каналов, спектральное и пространственное разрешение данных. В последнем случае адаптация направлена на решение проблемы образования смесовых пикселей при изменении пространственного разрешения [5].

Модуль автоматизированной обработки предназначен для непосредственного дешифрирования МС и ГС данных [6]. Схема работы с модулем на первом этапе сводится к выделению оператором на изображении зоны интереса, в пределах которой будет производиться обработка (в некоторых задачах эта зона строится автоматически). Далее осуществляется сужение зоны интереса с использованием

универсального алгоритма, который заключается в последовательном использовании методов параметрической классификации с построением обучающей выборки по результатам сегментации или неуправляемой кластеризации. При этом в пределах кластера может быть предусмотрено назначение нескольких обучающих выборок, относящихся к разным типам ландшафта.

На последнем этапе в пределах итоговой области интереса идентифицируется каждый класс, полигон класса или пиксель в зависимости от решаемой задачи. По завершении процесса производится автоматическая векторизация результата (рис. 2).

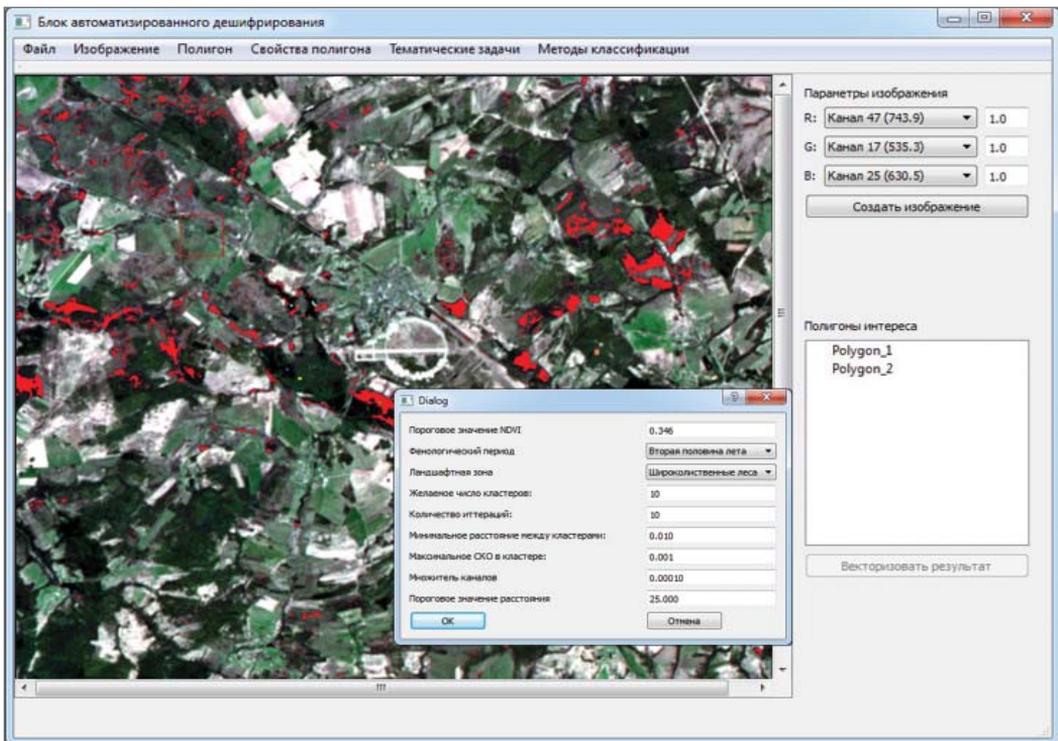


Рис. 2. Пример обработки ГС данных НА «Ресурс-П» в модуле автоматизированной обработки

На всех этапах обработки — при построении обучающей выборки, определении принадлежности выделенных кластеров к типу ландшафта, а также при идентификации и определении состояния объекта — привлекается информация из БД сигнатурных характеристик. К спектральным признакам относятся широкоспектральные и узкоспектральные индексы, признаки формы спектральной сигнатуры, характеризующие биофизические особенности наблюдаемых объектов в виде полос поглощения, яркостной контраст между объектом и фоном и др. Оценка принадлежности исследуемого фрагмента изображения к определенному типу объекта на местности осуществляется в соответствии с критериями сходимости, выраженными в виде специальных метрик [6].

Следует отметить, что для каждой задачи выбраны оптимальные методы классификации и набор информативных признаков с учетом спектральных и пространственных свойств объекта исследования. Методы классификации и кластеризации изображений, такие, как Isodata, метод максимального правдоподобия, метод спектральной угловой корреляции, субпиксельный анализ, метод нечетких множеств и другие применяются в ПК с оптимально подобранными входными параметрами, обусловленными характеристиками обрабатываемых данных и особенностями идентифицируемых объектов. Например, в алгоритмах картирования глубин прибрежных акваторий и загрязнений водной поверхности наравне с методами кластеризации изображений используется малопараметрическая модель процесса переноса излучения в воде с учетом его ослабления растворенными и взвешенными минеральными и органическими примесями, а для восстановления глубин применяется метод многомерной оптимизации в нескольких информативных узких

спектральных зонах, зарегистрированных МС или ГС сенсорами (рис. 3) [7, 8].

Конвертация результатов автоматизированной обработки в векторные данные осуществляется в соответствующем модуле ПК, который разработан с использованием открытых библиотек QGIS и обеспечивает создание и редактирование тематических слоев цифровой карты местности.

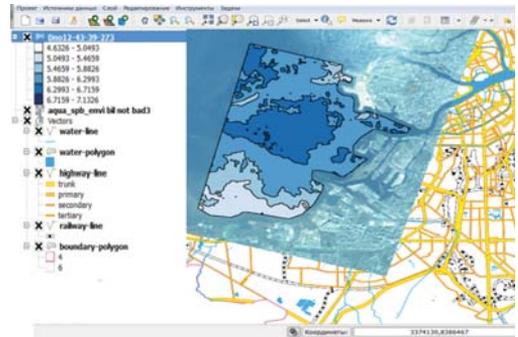


Рис. 3. Представление результатов обработки в блоке работы с векторными данными на примере анализа акватории порта по данным ГС камеры КА «Ресурс-П»

Обобщая приведенные материалы, можно отметить следующие преимущества рассмотренного программного комплекса в сравнении с зарубежными аналогами:

1) Алгоритмы, реализованные в ПК, адаптированы для работы с данными отечественных КА ДЗЗ, а качестве эталонных СЭХ используется информация, полученная в результате исследований, проведенных на территории России, с характерными для нее природно-климатическими зонами, растительными сообществами и минеральными образованиями.

2) Тематическая обработка изображения строится через специально организованный проект, в котором есть возможность автоматического сохранения всех

обучающих выборок, результатов классификации, параметров сегментации и других входных и выходных данных.

3) При разработке ПК используются открытые библиотеки для работы с растровыми и векторными данными, что значительно снижает стоимость программного продукта.

4) ПК ориентирован на пользователей, не имеющих специализированных знаний в теории дешифрирования МС и ГС космических данных. Для решения тематической задачи оператору необходимо ввести минимальное количество входных параметров, интуитивно понятных ему. Например, для определения состояния растительного покрова входными параметрами являются природно-климатическая зона и фенологический период, а в задаче выявления типовых загрязнений акваторий портов — участок с условно чистой водной поверхностью.

Особо следует отметить, что представленный ПК имеет большие перспективы по наращиванию своих функциональных возможностей. Разработчиками планомерно проводится его модернизация: расширяется круг решаемых тематических задач, пополняется база данных, создаются новые методы обработки, повышающие вероятность идентификации объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марков А. В., Шилин Б. В. Проблемы развития видеоспектральной аэросъемки. *Оптический журнал*. Т.76, №2, 2009. С.20–27
2. Марков А.В., Григорьева О.В., Бровкина О.В., Мочалов В.Ф., Жуков Д.В. Автоматизированные методы оценки состояния окружающей среды по данным мульти- и гиперспектральной космической съемки. *Геоматика*. №4. 2012. С.102-106
3. Марков А.В., Саидов А.Г., Мочалов В.Ф., Григорьева О.В., Жуков Д.В. Оценка экологического состояния акватории морского порта Санкт-Петербурга с помощью программного комплекса тематической обработки материалов аэрокосмической съемки // *Геоматика* № 3 2013 г. – С. 17-21
4. Григорьева О.В., Чапурский Л.И. Проблемы создания и информационного наполнения базы данных по коэффициентам спектральной яркости объектов наземных экосистем // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Сборник научных статей. Том 9. Номер 3.* – М.: ООО «ДоМира», 2012. – С.18-25
5. Марков А.В., Григорьева О.В., Чапурский Л.И., Мочалов В.Ф. Методы подготовки эталонной информации для обработки материалов много- и гиперспектральной аэрокосмической съемки в задаче мониторинга природной среды // *Сборник трудов III Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды».* Том 2. СПб, 2014 – С. 283-286
6. Марков А.В., Григорьева О.В., Жуков Д.В., Бровкина О.В. Разработка алгоритмов эффективной тематической обработки данных гиперспектральных систем для идентификации объектов ландшафта // *Контенант. Научно-технический журнал* Том 12 № 2, 2013. С. 90-99
7. Жуков Д.В. Методика тематической обработки гиперспектральных данных в задаче оценки экологического состояния акваторий портов // *Исследования земли из космоса.* № 1. – 2014. – С.66-68
8. Григорьева О.В., Жуков Д.В. Возможности авиационной и космической съемки для определения глубин прибрежных акваторий // *Сборник трудов III Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды».* Том 2. СПб, 2014 – С. 261-267