Повышение информативности данных многоспектрального и гиперспектрального авиакосмического дистанционного зондирования при решении прикладных задач количественной оценки состояния природно-техногенных объектов

Т.В. Кондранин¹, В.В. Козодеров², О.Ю. Казанцев^{3,1}, В.И. Бобылев^{3,1}, В.В. Борзяк², Е.В. Дмитриев⁴, В.Д. Егоров⁴, В.П. Каменцев⁵, А.Ю. Беляков⁵, С.Б.Логинов⁵

¹Московский физико-технический институт (государственный университет) ²Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова ³НПО «Лептон» ⁴Институт вычислительной математики РАН ⁵Технопарк Тверского государственного университета

В развитие предшествующих результатов обработки многоспектральных космических изображений среднего и высокого пространственного разрешения показаны примеры обработки данных летных испытаний гиперспектрометра видимого и ближнего инфракрасного диапазонов, разработанного на базовом предприятии МФТИ (ГУ) НПО «Лептон», для двух выбранных участков территории Тверской области. Данные гиперспектрального зондирования регистрировались синхронно с аэрофотосъемкой выбранной территории с использованием средств малой авиации (мотодельтаплан и легкомоторный самолет). Результаты обработки гиперспектральных изображений представлены в терминах классификации наблюдаемых объектов и оценки параметров состояния почвенно-растительного покрова для каждого элемента соответствующих изображений. Показаны особенности цветового отображения получаемой информационной продукции обработки гиперспектральных изображений. Демонстрируются специфическими спектральными выделения объектов co свойствами примеры на иллюстрируемых гиперспектральных изображениях.

Ключевые слова: обработка многоспектральных космических изображений, гиперспектральные системы дистанционного зондирования, распознавание образов природных объектов, оценка параметров состояния почвенно-растительного покрова.

Введение

Основной формой отображения данных аэрокосмического дистанционного зондирования (ДЗ) являются многоспектральные и гиперспектральные изображения разного пространственного разрешения. В первом случае число измерительных (спектральных) каналов аппаратуры обычно не превышает десяти. Для гиперспектральной аппаратуры число таких каналов увеличивается, по крайней мере, на порядок; при этом спектральное разрешение («ширина» спектрального измерительного канала) составляет единицы нанометров. Это обстоятельство открывает совершенно новые возможности дистанционной диагностики объектов природно-техногенной сферы на основании анализа тонкой структуры спектров веществ и материалов (входящие в их состав отдельные соединения: атмосферные газы, природные минералы, естественные и искусственные материалы и пр. содержат характерные линии и полосы поглощения), которые регистрируются гиперспектральной аппаратурой. Если воспользоваться актуальным в настоящее время термином «нанотехнологии», то применительно к обсуждаемой проблеме вполне уместным оказывается термин «нанодиагностика» природно-техногенной сферы. Обычно под природно-техногенной сферы объектов совокупность водных, лесных, сельскохозяйственных и других

природных экологических систем (экосистем) вместе с техногенными объектами: урбанизированные территории, транспортная инфраструктура, объекты промышленности и энергетики и т.п.

Задача интерпретации данных гиперспектральных измерений сводится к анализу пространственного и спектрального распределения наблюдаемых объектов в пределах элементов разрешения аппаратуры. Было введено понятие «гиперкуб данных», под которым понимается наличие строк и столбцов цифровой матрицы пространственного распределения яркостей вместе с третьей координатой (длиной волны регистрируемого излучения). Сложности интерпретации получаемых данных ДЗ определяются необходимостью согласования времени сканирования, спектральных характеристик используемых фильтров, квантовой эффективности приемника, особенностей оптической системы регистрации данных, условий солнечного освещения объектов.

Общая схема обработки данных как многоспектрального, так и гиперспектрального ДЗ, включает следующие основные этапы: классификация изображений и сегментация объектов с близкими спектральными свойствами; выделение типичных объектов со специфическими характеристиками регистрируемого излучения; построение моделей формирования внутренней структуры отдельных элементов разрешения; привлечение дополнительной информации по интерпретации объектов смешанного типа. В отличие от стандартных процедур программноаппаратной обработки отдельных снимков (визуальное дешифрирование является основой интерпретации полученных данных) эффективная обработка гиперспектральных данных возможна только при использовании специального программного обеспечения соответствующих компьютерных систем вследствие огромных объемов исходных данных. Для этих целей разрабатываются специализированные системы высокопроизводительной обработки данных. Создаются экспертные системы, которые состоят из технических и программных средств обработки данных, базы знаний и интерфейсов для решения проблем, где роль экспертаспециалиста сводится к символьной форме задания решающих правил.

Основные особенности экспертных систем состоят в возможности воспроизведения имеющихся знаний об исследуемых объектах и явлениях с учетом опыта специалистовинтерпретаторов в заданной предметной области. В России соответствующие новации обычно увязывают с реализацией так называемых географических информационных систем (ГИС), в которых стандартное программное обеспечение обработки географически привязанных данных (данные ДЗ, разные слои имеющихся оцифрованных картографических материалов и др.), как правило, поставляется зарубежными фирмами.

В работах [1, 2] сделаны первые шаги по созданию оригинального программного обеспечения обработки данных ДЗ на основе новейших разработок в области вычислительной математики применительно к рассматриваемой проблеме интерпретации данных многоспектрального и гиперспектрального аэрокосмического зондирования. В работе [1] рассматриваются новые подходы к количественной оценке объема фитомассы и других параметров состояния растительности (породный состав лесных насаждений, тип межкроновой растительности и др.) для каждого элемента многоспектральных космических изображений. Продемонстрированы примеры получения новой информационной продукции при обработке изображений аппаратуры MODIS/Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer («Видеоспектрорадиометр среднего разрешения») спутника Terra среднего пространственного разрешения при использовании абсолютных энергетических характеристик данной измерительной системы и результатов моделирования полей уходящего излучения. В работе [2] показаны технологические аспекты создания программно-алгоритмического обеспечения решения задач распознавания образов природных объектов и количественной оценки их состояния по многоспектральным космическим изображениям высокого пространственного разрешения. Использовались данные аппаратуры ETM+/Enhanced Thematic Mapper («Усовершенствованный тематический картограф») спутника Landsat-7. Важнейшая особенность созданного программного обеспечения в том, что оно применимо как при обработке многоспектральных данных MODIS (пространственное разрешение около 500 метров), так и данных ETM+ (пространственное разрешение около 30 метров).

В работе [3] была показана необходимость увеличения числа спектральных каналов для повышения точности решения задач распознавания образов природно-техногенных объектов и оценки их состояния. Новые возможности решения указанных задач демонстрировались на примере данных гиперспектрометра видимого и ближнего инфракрасного диапазонов спектра, который был разработан в НПО «Лептон». При разработке данной аппаратуры использовалась отечественная технология обеспечения высокого пространственного, радиометрического и спектрального разрешения в области спектра 0.43-0.93 мкм с применением новых научнотехнических решений, в том числе с использованием уникального оптического призменного блока и коллимационно-проекционной схемы формирования изображения на фоточувствительной поверхности ПЗС-матрицы. Программно-алгоритмическое обеспечение обработки данных ДЗ, которое использовалось для обработки многоспектральных изображений аппаратуры MODIS и ЕТМ+, было адаптировано для обработки данных гиперспектрометра, содержащего около 200 спектральных каналов. Пространственное разрешение гиперспектрометра около 2 м с высоты полета малой авиации в 1 км. При таком высоком спектральном и пространственном разрешении можно говорить о возможности повышения информативности данных гиперспектрального ДЗ в сравнении с существующими многоспектральными системами ДЗ.

В настоящей публикации рассматриваются некоторые примеры летных испытаний гиперспектрометра с синхронным получением данных аэрофотосъемки в развитие первых результатов обработки данных, приведенных в работе [4]. Оба типа аппаратуры ДЗ устанавливались на средства малой авиации. Данные измерений записывались на диски DVD и вводились в компьютер для их тематической обработки.

Исходные данные

Иллюстрируемые здесь примеры соответствуют данным первой версии гиперспектрометра, которые были получены в 2007-08 гг. и относятся к двум тестовым участкам территории Тверской области.

Полетное задание включало синхронную съемку объектов с помощью гиперспектрометра и цифровой фотокамеры с высот 500 м и 1000 м при облете участка длиной не менее 1 км и шириной трека не более 180 м (для перекрытия всей поверхности тестового участка размером не менее 1 км х 1 км). Летно-съемочные работы проводились с использованием мотодельтаплана (МДП) и легко-моторного самолета Як-12.

Имеющийся архив данных летно-съемочных работ содержит: данные съемки с МДП в Старицком районе Тверской области (18.09.2007 г. и повторно 08.06.2008 г.); данные съемки с самолета Як-12 территории к востоку и северо-востоку от г. Тверь (22.09.2007 г. и 30.09.2007 г., а также повторно 26.04.2008 г. для целей разделения хвойных пород лесной растительности при обработке данных гиперспектрометра). В демонстрируемых ниже примерах съемка с МДП проводилась 08.06.2008 г. на тестовой территории, охватывающей озеро Шестка и окружающую озеро преимущественно лесную растительность, а съемка с самолета 30.09.2007 г. охватывала территорию, прилегающую к городской свалке.

Постановка задачи

При обработке данных гиперспектрометра, привязанных к выбранным данным аэрофотосъемки территории, решалась задача распознавания образов наблюдаемых объектов и количественной оценки их состояния. Разработанное программное обеспечение распознавания реализует следующие принципы:

• выбираются наземные эталонные объекты, которые можно точно привязать к отдельным элементам разрешения гиперкуба данных;

• каждому эталону ставится в соответствие зарегистрированный спектр;

• рассчитывается информационная мера минимума евклидова расстояния в пространстве образов множества объектов между каждым текущим элементом разрешения и эталонным объектом;

• фиксируется, к какому из эталонных объектов наиболее близок каждый элемент обрабатываемого изображения (производится распознавание образов соответствующих объектов).

Процедура выбора эталонных объектов тесно связана с проблемой точности распознавания. При распознавании образов наблюдаемых объектов по их гиперспектральным изображениям учитываются предположения о спектральном ходе разных объектов и о тонкой структуре регистрируемых спектров. В стандартных процедурах распознавания минимизируется математическое ожидание общих потерь, связанных с отнесением конкретного образа к заданному классу, когда на самом деле он может принадлежать другому классу. В наших разработках используются реальные многомодовые гистограммы распределения регистрируемых интенсивностей уходящего излучения в соответствующих каналах, а отнесение текущих элементов изображений к конкретным классам объектов основано на нахождении указанной информационной меры в пространстве образов при сравнении текущих спектров со спектрами эталонных объектов. Тем самым становится возможным «дообучение» используемого классификатора при сравнении полученных результатов распознавания с предшествующими картографическими материалами, данными наземных лесотаксационных обследований выбранной территории. Процесс дообучения состоит в том, что сначала используется ограниченное число выбранных эталонов и обосновывается точность полученных результатов распознавания. Далее число эталонных объектов увеличивается и делается вывод о точности распознавания на новом уровне. Принятая схема вовлечения эталонных объектов в расчетную процедуру распознавания образов объектов по их гиперспектральным изображениям завершается по мере нахождения асимптотики в оценке точности распознавания объектов.

На основе опыта анализа имеющихся данных гиперспектрометра в иллюстрируемых ниже примерах по характерным признакам отобрано определенное число объектов, которые можно называть эталонными. Это достаточно однородные по пространству объекты (ельники, сосняки, березняки, болота и т.п.), которые можно идентифицировать по синхронным данным аэрофотосъемки и данным наземных лесотаксационных обследований выбранной территории. В итоге при цветовом отображении данных гиперспектрометра приняты следующие градации: водные поверхности (0); песчаные насыпи, выгоревшие материалы городской свалки, крыши зданий и др. (1-4); бетонные покрытия дорог (5-8); открытые почвенные образования, называемые почвогрунтами (9-10); желтая листва деревьев (11); зеленый покров лиственного леса с преобладанием березняков (12-46); сосняки (47-81); ельники (82-116); зеленая трава (117).

Более широкий диапазон лиственных и хвойных пород лесной растительности в сравнении с остальными объектами в иллюстрируемых примерах обусловлен необходимостью тонкой настройки выбранной схемы распознавания образов соответствующих объектов. В исходных данных двух выбранных тестовых территорий по всей площади оказалось меньше всего ельников. Поэтому было выбрано около 35 обучающих элементов, относящихся к классу «ельники». Несмотря на то, что сосняков и березняков на тестовой территории по площади значительно больше, чем ельников, число обучающих элементов для них было решено сохранить неизменным.

Для различения трех основных типов объектов (березняки, сосняки, ельники) требуется использование дополнительных признаков. Среди этих признаков: интегральная величина площади под кривой спектрального хода интенсивности регистрируемого излучения; отдельные длины волн, где различия в спектральном ходе соответствующих кривых наиболее существенны; характерные перегибы кривых (смена знака производных этих кривых по длине волны) и др.

После реализации рассматриваемой схемы распознавания объектов расчетная процедура оценки состояния объектов, относящихся к классу «растительность», сводится к поэлементному восстановлению таких параметров, как объем зеленой фитомассы лесных и других (болотные, травянистые, сельскохозяйственные) экосистем [1-2]. Для каждого элемента класса «лесная растительность» уточняется также породный состав, тип межкроновой растительности (трава, кустарники, болота и т.п.).

Ниже приводятся результаты реализации первого из перечисленных этапов обработки гиперспектральных изображений. Некоторые примеры реализации второго этапа для рассматриваемого тестового участка на дату съемки 18.09.2007 г. были приведены в работе [3].

Обсуждение результатов

На рис. 1 приведен фрагмент синхронной съемки с мотодельтаплана первой из упомянутых тестовой территории с помощью аэрофотоаппарата (*a*) и гиперспектрометра (*б*) вместе с результатами обработки данных гиперспектрометра (*в*) на дату съемки 08.06.2008 г. Цветовая шкала справа на рис. 1*в* характеризует упомянутое выше распределение соответствующих градаций цветокодирования.

На аэрофотоснимке (рис. 1а) можно видеть озеро (слева от центра изображения) и преобладание хвойной растительности (выделяется молодой ельник ближе к правой части иллюстрируемого снимка). При высоте съемки около 500 м исходной на рис. 16 является цифровая матрица 550 x 500 элементов разрешения. При черно-белом отображении данных рис. 1б видеть характерные пространственные детали выбранной территории, можно соответствующие данным рис. 1а. Градации красного цвета (1-10), т.е. открытые песчаные и другие покрытия, на данных рис. 1в можно найти лишь вблизи границы водоема. Можно отметить преобладание хвойной растительности на большей части рис. 1в (желто-зеленые тона; градации 47-116) и лишь незначительные по площади «пятна» зеленой травянистой растительности (градация 117). Заметны, в частности, площади, занятые упомянутым участком молодого ельника в правой части рис. 1. Серый цвет (ниже градации 0) на шкале рис. 1в выделен для облачного покрова.

Использование данных гиперспектрометра представляет интерес для обнаружения объектов, имеющих специфические спектральные свойства. На рис. 2*a* приведен аэрофотоснимок тестового участка на дату съемки 30.09.2007 г., охватывающего территорию городской свалки. Эта же территория, представленная в одном из каналов со щели гиперспектрометра, показана на рис. 2*б*. Цветовое отображение результатов обработки данных рис. 2*б* с использованием всех каналов гиперспектрометра дается на рис. 2*6*. Свалка видна слева от центра рис. 2 как совокупность темных и более светлых элементов разрешения (горящие материалы и дым от них).

Из данных рис. 2*а* можно видеть, что территория свалки расположена на развилке двух асфальтированных дорог; правее заметны еще две дороги. Дорожная сеть отображается на данных рис. 2*a* и рис. 2*b* в виде четырех характерных линейных полос. Вблизи свалки слева видны следы пожелтевшей лесной растительности, еще левее (вплоть до асфальтового покрытия дороги) – следы пожелтевшей травянистой растительности, а дым заметен не только над самой свалкой, но и вблизи дачного поселка (справа от второй из упомянутых дорог). При этом растительность характеризуется в основном лиственным лесом (всюду можно видеть желтые оттенки на аэрофотоснимке), за исключением самой левой части рис. 2, где преобладает зеленая травянистая растительность.

Данные рис. 2*в* позволяют сделать уточнения в пространственном распределении основных классов наблюдаемых объектов. Можно видеть, что элементы свалки характеризуются разными оттенками красных тонов (более темными и более светлыми). Красные оттенки также характерны для наблюдаемой дорожной сети, для дымовой завесы в районе упомянутого поселка (справа от второй дороги вверху). Пятна травянистой растительности (ярко-зеленые тона) можно видеть слева и справа от свалки, а пятна лиственной растительности (желто-оранжевые тона) на значительной части рассматриваемой территории. Синевато-фиолетовые оттенки между левой дорогой и лесным массивом слева от свалки характеризуют преобладание пожелтевшей травянистой растительности.



Рис.1. Аэрофотоснимок тестовой территории (а), отображение этой территории со щели гиперспектрометра (б) и результаты поэлементного распознавания образов наблюдаемых объектов по данным гиперспектрометра (в) на дату съемки 08.06.2008 г.



Рис.2. Аэрофотоснимок территории, покрывающей городскую свалку (слева от центра изображения) (a), отображение этой территории со щели гиперспектрометра (б) и результаты поэлементного распознавания образов наблюдаемых объектов по данным гиперспектрометра (в) на дату съемки 30.09.2007 г.

Иллюстрируемые ниже примеры (рис. 3) демонстрируют результаты черно-белого отображения данных рис. 2 в разных каналах гиперспектрометра. Используются следующие обозначения каналов: первая цифра характеризует нумерацию канала, предлагаемую разработчиками аппаратуры; две цифры в скобках – номер канала, принятой в данной публикации (нумерация ведется с канала 1 на длине волны 436.38 нм) и последующие длины волн.

Данные рис. За-г позволяют увидеть, как отображается территория вблизи свалки в разных каналах гиперспектрометра. Можно убедиться, что в самых коротковолновых каналах (рис. 3*a*, рис. 3*б*) светятся лишь горящие элементы свалки, асфальтированные дороги и, отчасти, дым в



Рис.3. Отображение территории вблизи свалки в разных спектральных каналах гиперспектрометра: канал 93 (1; 436.38 нм) (а); канал 98 (6; 439.59 нм) (б); канал 123 (31; 457.81 нм) (в); канал 263 (171; 718.44 нм) (г). Черно-белая шкала справа – значения интенсивностей регистрируемого излучения в Вт/(см² мкм стер)

районе упомянутого поселка. По мере ухода в более длинноволновые каналы (рис. 3е, рис. 3г) начинают светиться другие элементы свалки наряду с появлением контрастов в других частях Особенно изображения. данного заметен точечный объект в левой верхней части свалки, который на двух последних изображениях обладает наибольшей яркостью из объектов его окружения. На этой части территории свалки дым практически отсутствует. Отражение от указанного объекта носит незеркальный характер, в противном случае он светился бы всех каналах. Объект ярко во можно идентифицировать по изображению рис. 2а. Можно убедиться, что так необычно светится крыша строения в данной части территории свалки. В канале 263 (171; 718.44 нм) регистрируемая энергия этого объекта близка к максимальной 0.054 Bt/(см² мкм стер), в то время как на остальных из приведенных каналах энергетика характерна максимальная для выгоревших материалов свалки (в ее нижнем левом углу и вблизи центра свалки). При этом максимальная энергетика канала 93 (1; 436.38 нм) с максимумом 0.04 Bt/(см² мкм стер) сосредоточена в области свалки (горящие материалы, дым, точечные строения и др.), бетонного покрытия дорог и дачного поселка (задымлен) справа от дороги; в канале 98 (6; 439.59 нм) максимальная энергетика наиболее светящихся объектов уменьшается до 0.029 $Bt/(cm^2$ мкм стер), а отличие данных канала 123 (31; 457.81 нм) от первых двух в том, что максимальная энергетика всей сцены достигает в нем 0.039 Вт/(см² мкм стер).

На рис. 4*а* приведен спектр указанного аномального по своим отражательным свойствам объекта. Для сравнения на рис. 4*б* показан спектр расположенного рядом (сразу вниз) с ним другого объекта. Аномальный характер этого объекта (рис. 4*a*) связан с монотонным возрастанием его отражательной способности от канала 93 (1; 436.38 нм) до канала 257 (165; 691.75 нм) с энергетикой от 0.015 Bt/(см² мкм стер) до 0.042 Bt/(см² мкм стер). Для соседнего с ним объекта (рис. 4*b*) в спектре появляется максимум (вблизи 450 нм) и минимум (вблизи 500 нм) при общем ходе энергетики регистрируемого излучения вблизи значений 0.01 Bt/(см² мкм стер) с резким спадом интенсивности излучения лишь для длин волн более 800 нм. Интегральная величина энергии для этих двух объектов изменяется от 469.37 Bt/m² до 147.83 Bt/m², соответственно.

С целью сравнения этих спектров с другими элементами данного изображения на рис. 4*в*-з приведены спектры объектов, расположенных по средней линии этого изображения по горизонтали (250-я строка). Эти выборочные спектры охватывают: дым от горящих элементов свалки (достаточно темные элементы разрешения, где проглядывает пожелтевшая растительность) (рис. 4*в*); более яркие элементы свалки (выгоревшие материалы) (рис. 4*г*) и более



Рис.4. Примеры спектров разных объектов (обозначены буквой R): объект, наиболее ярко светящийся на территории свалки в длинноволновых каналах (а) и соседний с ним объект (б); дым на той части лесной территории, которая расположена вблизи левой границы свалки (в); яркие элементы выгоревших материалов свалки (г); более темная часть наблюдаемой территории свалки (д); более светлые (выгоревшие материалы) элементы (е); объект вблизи гравой границы свалки (ж); желтый лес сразу справа от ограждения свалки (з)

темные ее элементы, где на рис. 2а просматриваются языки открытого огня дымом горящих с от 4∂): материалов (рис. другие осветленные элементы свалки (рис. 4е) и объект на правой границе территорию свалки (рис. 4ж); пожелтевшего леса справа ОТ ограждения свалки (рис. 43).

Из всего этого многообразия отметить спектров можно сравнительно малые значения зарегистрированных интенсивностей излучения лля территории, охваченной дымом. Дым – это замутненная сплошная среда, которая рассеивает значительную часть падающего на нее оптического излучения, так что сверху такая среда должна выглядеть более темным объектом в сравнении со средой, состоящей случайного из облака рассеивателей (фитоэлементы растительности). Из данных рис. 4e, рис. 4∂ , рис. $4\mathcal{H}$, относящихся к задымленным участкам территории с затененной растительностью, горящими материалами и выгоревшими темными материалами. соответственно, можно видеть сходный характер спектрального хода и спектральной плотности регистрируемой интенсивности излучения. При этом минимум вблизи длины волны 500 нм для объекта типа «дым» фактически не проявляется: спектр оказывается

постоянным для всех длин волн от 500 нм до 650 нм (рис. 4*в*). Для более ярких элементов свалки этот минимум также фактически отсутствует, но наблюдается возрастание спектра от длин волн 550 нм до 650 нм (рис. 4*г*). Для затемненных элементов свалки остается только максимум в кривой спектрального хода вблизи 450 нм с фактическим слабым изменением спектра от 500 нм до 700 нм (рис. 4*д*). Близок к этому спектральный ход и для более светлых элементов свалки, но если здесь все-таки заметен некоторый подъем кривой в области длин волн 550-650 нм (рис. 4*e*), то для более темного объекта ближе к правой границе свалки этого подъема не наблюдается (рис. 4*ж*). Наконец, спектральный ход растительности за пределами свалки (рис. 4*з*) оказывается близким к данным рис. 4*e*: максимум вблизи длины волны 450 нм; минимум вблизи 500 нм; слабый максимум вблизи 600 нм; слабый минимум вблизи 680 нм и т.д.

Можно отметить следующие общие свойства спектров и связи этих свойств с наблюдаемыми объектами:

• максимум вблизи канала 113 (21; 450.06 нм) характерен практически для всех объектов;

• наличие минимума вблизи канала 167 (75; 500.60 нм) у большинства объектов, за исключением воды, затененных участков, некоторых грунтов и строений;

• наличие максимума вблизи канала 203 (111; 551.07) характеризует разные типы растительного покрова: для травы максимум менее ярко выражен, чем для листвы и хвои деревьев;

• для всех типов растительности проявляется полоса поглощения хлорофилла вблизи канала 255 (163; 683.68 нм), но для воды, грунтов, дорог, строений, выгоревших материалов свалок и т.д. всегда характерно проявление полосы поглощения кислорода вблизи канала 256 (164; 687.67 нм);

• для всех объектов проявляются полосы поглощения кислорода вблизи каналов 263 (171; 718.44 нм) и 271 (179; 761.43 нм). Между этими полосами проявляется максимум для всех объектов; для травянистой растительности он более ярко выражен, чем для желтой, зеленой, хвойной лесной растительности.

Перечисленные свойства составляют исходную базу для составления характерных признаков распознавания образов объектов по их гиперспектральным изображениям.

Заключение

По результатам комплексной обработки и анализа данных зондирования лесных и других природных экосистем, полученных с использованием новой гиперспектральной камеры видимого и ближнего инфракрасного диапазонов в ходе летно-экспериментальных работ на тестовых полигонах в Тверской области, показаны новые возможности гиперспектральных данных (по сравнению с многоспектральными); продемонстрированы характерные особенности распознавания образов наблюдаемых объектов. используемых методов Продолжение исследований – в обосновании точности решения поставленных задач с увязкой полученных результатов с данными лесотаксационных обследований территории и другими материалами наземной валидации получаемой информационной продукции.

Исследования проводятся в рамках проектов РФФИ №08-07-00284, №08-07-13515_офи_ц, проекта «Научно-методическое обоснование и разработка макета технологии количественной оценки состояния растительности по данным авиакосмического гиперспектрального зондирования», выполняемого в рамках Программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)».

Литература

1. Козодеров В.В., Кондранин Т.В., Косолапов В.С., Головко В.А., Дмитриев Е.В. Восстановление объема фитомассы и других параметров состояния почвенно-растительного покрова по результатам обработки многоспектральных спутниковых изображений // Исследование Земли из космоса, 2007. №1. С.57-65.

2. Козодеров В.В., Кондранин Т.В., Дмитриев Е.В., Егоров В.Д., Борзяк В.В. Инновационная технология обработки многоспектральных космических изображений земной поверхности // Исследование Земли из космоса, 2008. №1. С.56-72.

3. Кондранин Т.В., Козодеров В.В., Казанцев О.Ю., Бобылев В.И., Борзяк В.В., Дмитриев Е.В., Егоров В.Д., Каменцев В.П., Беляков А.Ю. Технология оценки состояния объектов природнотехногенной сферы по данным аэрокосмического мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сб. научн. статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2008. Вып. 5. Т. II. С. 512-522.

4. Козодеров В.В., Кондранин Т.В., Казанцев О.Ю., Бобылев В.И., Щербаков М.В., Борзяк В.В., Дмитриев Е.В., Егоров В.Д., Каменцев В.П., Беляков А.Ю., Логинов С.Б. Обработка и интерпретация данных гиперспектральных аэрокосмических измерений для дистанционной диагностики природнотехногенных объектов // Исследование Земли из космоса, 2009. №2. С.50-68.

Information content enhancement for multispectral and hyperspectral airspace remote sensing data while solving applied problems of quantative assessment of natural and anthropogenic objects condition

T.V. Kondranin¹, V.V. Kozoderov², O.Yu. Kazantsev^{3,1}, V.I. Bobylev^{3,1}, V.V. Borzyak², E.V. Dmitriev⁴, V.D. Egorov⁴, V.P. Kamentsev⁵, A.Yu. Belyakov⁵, S.B. Loginov⁵

> ¹Moscow Institute for Physics and Technology (State University) ²M.V. Lomonosov Moscow State University ³SPO "Lepton" ⁴Institute of Numerical Mathematics of Russian Academy of Sciences ⁵Technological Park of Tver State University

Examples are shown of data processing from an air-borne hyperspectrometer (produced by the MIPT basic enterprise called as the SPO "Lepton") of visual and near infrared bands testing for two selected sites in Tver region as a development of the previous results of multispectral space imagery processing with medium and high spatial resolution. The hyperspectral remotely sensed data were synchronized with air-survey camera data for the selected region while using aviation vehicles (a glider and a light aircraft). The hyperspectral imagery processing results are presented in terms of the observed objects classification and the condition parameters assessment of the soil-vegetation cover for each pixel of the relevant images. Characteristic features are revealed of color coding of the obtained information products of the hyperspectral imagery processing. Examples are demonstrated of the discrimination procedure to select objects with specific spectral properties on the processed hyperspectral images.

Keywords: multispectral space imagery processing, remote sensing hyperspectral systems, natural objects pattern recognition, soil-vegetation cover condition parameters assessment.