

Распознавание образов природно-техногенных объектов и оценка их состояния по данным многоспектрального и гиперспектрального аэрокосмического зондирования

В.В. Козодеров¹, В.В. Борзяк¹, Е.Д. Дмитриев², В.Д. Егоров²

¹Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

²Институт вычислительной математики РАН

Рассматриваются примеры адаптации разработанного ранее алгоритмического и программного обеспечения обработки многоспектральных космических изображений для развития приложений по распознаванию образов объектов почвенно-растительного покрова по данным летных испытаний гиперспектральной аппаратуры. При спектральном разрешении такой аппаратуры в единицы нанометра открываются новые возможности анализа тонкой структуры полученных спектров для решения задач дистанционной нанодиагностики наблюдаемых объектов. Вычислительная процедура распознавания основана на нахождении минимума евклидова расстояния в пространстве образов соответствующих объектов относительно некоторых эталонных объектов, которые выделяются в процессе привязки отдельных элементов гиперспектральных изображений к синхронным данным аэрофотосъемки территории. Проведено сравнение полученных результатов с данными наземных лесотаксационных обследований выбранной территории. Сделан вывод о необходимости сбора уточненных данных о параметрах лесного полога в пределах отдельных выделов для обоснования достоверности полученных результатов.

Ключевые слова: природно-техногенные объекты, обработка многоспектральных и гиперспектральных изображений, распознавание образов, методы вычислительной математики, наземные лесотаксационные обследования.

Введение

В существующих приложениях данных дистанционного зондирования (ДЗ) наибольшее применение получили визуальные и визуально-инструментальные системы отображения данных ДЗ, представленных в форме цифровых многоспектральных изображений. С появлением гиперспектральных систем ДЗ (число спектральных каналов достигает сотен, а разрешение достигает единиц нанометров) открылись новые возможности использования не только результатов интерпретации спектральных образов наблюдаемых объектов, но и уточнения особенностей строения этих объектов по внутренней структуре регистрируемых спектров. В этом отношении можно говорить о дистанционной нанодиагностике объектов аэрокосмического мониторинга при использовании современных вычислительных средств обработки данных ДЗ.

Основополагающими становятся модели, алгоритмы и расчетные программы преобразования исходных данных таким образом, чтобы произвести распознавание образов наблюдаемых объектов и оценить их состояние в терминах количественных параметров. Требуется увязка программно-алгоритмического обеспечения обработки данных с современными модельными представлениями об условиях формирования интенсивностей уходящего излучения, регистрируемых соответствующей аппаратурой ДЗ.

Новые задачи обработки данных, получаемых аппаратурой ДЗ нового поколения, диктуют и более высокие требования к тактико-техническим характеристикам соответствующей аппаратуры. Требуется абсолютно калиброванные данные ДЗ, что обеспечивает увязку

измерительных данных и результатов математического моделирования формирования интенсивностей регистрируемого излучения, включая тонкую структуру получаемых спектров.

В работе [1] отмечены существенные ограничения современных систем космического ДЗ для развития приложений по оценке состояния лесов. Среди этих приложений наиболее актуальны следующие: обнаружение площадей рубок леса по разновременным космическим данным; осуществление лесопожарного и лесопатологического мониторинга; инвентаризация лесов. Стоит задача не только выявления вырубки, но и оценки с заданной точностью ее параметров: ширины, длины, площади и др. Требуется не только выявить координаты и пройденные огнем площади лесного фонда или поврежденных насекомыми-вредителями насаждений, но и оценить состояние сохранившегося древостоя. При проведении лесоинвентаризационных работ по данным ДЗ и/или наземных обследований территории необходимо определять категории земель, преобладающую и составляющую древесные породы в каждом выделенном участке, класс возраста, полноту (густоту), высоту и толщину деревьев, запас древесины и другие параметры.

В работе [1] сделан вывод, что данные существующих космических систем далеко не во всех случаях обеспечивают получение надежной информации для указанных целей. При этом следует отметить, что речь идет об использовании данных традиционных фотографических и сканерных систем наблюдения, а также о дешифрировании лесов и земель лесного фонда на основе этих данных. Между тем, новые системы гиперспектрального зондирования открывают и новые приложения. Среди этих приложений, помимо специальных задач обнаружения специфических свойств объектов мониторинга, и такие, как обнаружение стрессового состояния растительности под влиянием дефицита увлажнения, загрязнений окружающей среды. При анализе тонкой структуры получаемых спектров возможно обнаружение смещений основной полосы поглощения хлорофилла всего на несколько нанометров в сторону более коротких волн, что и определяет, например, состояние загрязнений почвенного покрова, которые не обнаруживаются по данным традиционных систем ДЗ.

При реализации новых приложений возрастает роль высокопроизводительных вычислительных систем обработки больших массивов данных ДЗ. Возникают новые задачи оценки информационного содержания данных гиперспектральной съемки, обучения компьютера распознаванию множества объектов при их различном состоянии в увязке с существующими данными наземных лесотаксационных обследований с поэлементным восстановлением параметров состояния при углубленных модельных представлениях о структуре лесного полога.

В работах [2, 3] показаны первые примеры использования оригинальных алгоритмов и программ для обработки данных аппаратуры «Видеоспектрорадиометр среднего разрешения» (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer/MODIS) спутника Terra и аппаратуры «Усовершенствованный тематический картограф» (Enhanced Thematic Mapper/ETM+) спутника Landsat-7. В дальнейшем была проведена адаптация соответствующего программно-алгоритмического обеспечения к распознаванию образов объектов и оценке их состояния в применении к обработке данных летных испытаний гиперспектральной аппаратуры (разработка НПО «Лептон», г. Зеленоград) для выбранных тестовых участков Тверской области [4, 5].

Входные данные разработанных таким образом унифицированных расчетных программ: многоспектральные изображения аппаратуры MODIS (7 спектральных каналов; пространственное разрешение около 500 м), аппаратуры ETM+ (6 спектральных каналов; пространственное разрешение около 30 м), гиперспектральные изображения (около 200 спектральных каналов; пространственное разрешение около 2 м с высоты 1 км). Спектральное разрешение гиперспектральных данных около 1 нм для длин волн видимой и ближней инфракрасной области спектра. При таком высоком разрешении в исходных данных проявляются отдельные линии поглощения излучения геологическими минералами, почвенными образованиями, искусственными материалами (крыши домов, асфальтовое покрытие дорог и т.п.) и атмосферной средой (в первую очередь молекулярный кислород). Для таких высокомолекулярных соединений, как хлорофилл – основной пигмент фитоэлементов (листья/хвоя деревьев и др.), заметны целые

полосы поглощения. Возникают новые условия для обнаружения объектов со специфическими спектральными свойствами по данным дистанционного аэрокосмического зондирования. Проблема интерпретации тонкой структуры гиперспектральных данных тем самым становится составной частью направления «Нанотехнологии для систем безопасности» Национальной нанотехнологической сети («Поиск», №52 (1022), 26 декабря 2008 г.).

Некоторые результаты перечисленных приложений данных гиперспектрального ДЗ для тестовых участков территории Тверской области приведены в работе [6]. Здесь рассмотрим результаты сравнительного анализа данных летных испытаний двух типов гиперспектрометров. В работах [4-6] приведены примеры обработки данных первой версии гиперспектральной аппаратуры с числом спектральных каналов, равным 198. В усовершенствованной версии данной аппаратуры число спектральных каналов равно 157, но в процессе доработки была проведена коррекция виньетирования (потемнения крайних строк регистрируемой матрицы), улучшены другие конструктивные особенности аппаратуры. В доработанной версии аппаратуры уменьшены пространственные искажения регистрируемых матриц.

Исходные данные

Входные данные расчетных программ:

- цифровые матрицы спектральной интенсивности зарегистрированного излучения в виде отдельных элементов разрешения (строки $i = 1, 2, \dots, I$; столбцы $j = 1, 2, \dots, J$) многоспектральных и/или гиперспектральных изображений для каждого из дискретных $k = 1, 2, \dots, K$ измерительных каналов. Каждый элемент отображается K -мерным вектором образов ($K = 6$ для данных аппаратуры ЕТМ+);
- гиперкуб данных спектральной интенсивности зарегистрированного излучения, в котором наряду с цифровыми матрицами по пространственным координатам для каждого элемента разрешения (строки-столбцы i, j) представлены практически непрерывные данные по третьей координате – длине волны излучения ($K \sim 200$).

Используются данные обоих типов гиперспектрометров в абсолютных энергетических единицах Вт/(см² мкм стер) для каждого элемента разрешения. Исходные данные представлены в wgs-формате (разработчики аппаратуры заимствовали его из исследований генома), которые с помощью специальной программы преобразуются в seg-формат, с помощью которого, подводя пересечение горизонтальной и вертикальной линий привязки к определенному элементу разрешения, исходные данные с помощью программного обеспечения MATLAB можно отобразить в виде спектров. Обработка данных в среде MATLAB требует большой оперативной памяти, что замедляет процесс массовой обработки получаемых изображений и спектров. Повышение расчетной эффективности обработки данных было достигнуто путем перевода трехмерного массива гиперкуба данных seg-формата в стандартный цифровой формат, аналогичный формату, используемому при обработке данных аппаратуры ЕТМ+.

Разработчики гиперспектральной аппаратуры, создавая программное обеспечение регистрации и поэлементной визуализации спектров, ориентировались на возможности использования программной среды MATLAB. Эта среда позволяет соответствующим образом отображать регистрируемые спектры для каждого элемента разрешения аппаратуры, реализовывать стандартные процедуры распознавания образов объектов природно-техногенной сферы. Требуется, однако, создание специального программного обеспечения, предназначенного для автоматизации разрабатываемых вычислительных алгоритмов при обработке исходного гиперкуба данных.

Постановка задачи

В процессе реализации предлагаемых новых подходов осуществлялась привязка гиперспектральных данных к синхронным данным аэрофотосъемки и данным наземных лесотаксационных обследований выбранной территории. Решается задача поэлементного распознавания образов макрообъектов почвенно-растительного покрова и количественной оценки их состояния (объем зеленой фитомассы, породный состав лесной растительности, типы межкромной растительности). Распознавание образов объектов осуществляется на основе выбранной меры близости (минимального евклидова расстояния в пространстве образов) предъявляемых векторов спектральных образов некоторым «эталонным объектам». Далее решается задача поэлементного восстановления указанных количественных параметров состояния объектов на основе обращения основного функционала расклассифицированных на первом этапе данных.

Выходная продукция обработки данных как многоспектрального, так и гиперспектрального ДЗ:

- результаты классификации объектов на обрабатываемых изображениях (облака, водоемы, почвогрунты, разные типы растительности и др.);
- отображение каждого элемента изображений, относящегося к классу «растительность», в терминах количественных параметров состояния;
- обоснование точности решения задач распознавания образов наблюдаемых объектов и оценки их состояния;
- оценка информационного содержания обрабатываемых данных с оптимизацией числа спектральных каналов и их расположения по оси длин волн.

Важным результатом работы стало обоснование информационного содержания гиперспектральных данных для разных дат съемки и разных тестовых участков территории (лесничество, городская свалка, песчаный карьер, заполненный водой и др.). Оценка информационного содержания данных проведена на основе суммирования частот появления разных градаций регистрируемых интенсивностей излучения в каждом из спектральных каналов с логарифмом этих частот. Наиболее информативные каналы определялись по характерным перегибам и резким изменениям выбранной информационной меры по оси длин волн [6]. Окончательный вывод об оптимальном числе измерительных каналов, обеспечивающих решение задачи распознавания объектов с заданной точностью, делается в процессе исследования достоверности полученных результатов классификации и оценки состояния объектов.

Классические исследования достоверности используемых математических процедур обработки многоспектральных и гиперспектральных данных ДЗ сводятся к анализу ошибок классификации объектов на соответствующих изображениях. При случайной выборке отдельных элементов разрешения определяется матрица ошибок, которая рассчитывается по контрольным участкам (не совпадающим с эталонными участками, которые использовались для создания обучающих выборок). Столбцы матрицы – классы объектов, установленные по наземным или эталонным данным. Строки матрицы – классы объектов, полученные в результате предлагаемых этапов обработки гиперспектральных изображений. На главной диагонали – количество элементов правильной классификации, вне диагонали – ошибочной классификации. Рассчитывается количество элементов разрешения, ошибочно не попавших в данный класс («ошибка пропуска цели»), а также ошибочно присоединенных к данному классу («ошибка ложной тревоги»). Соответственно, достоверность – процент правильно классифицированных элементов разрешения от общего количества проверяемых элементов.

Отмеченные классические представления о достоверности используемых процедур распознавания образов объектов по их многоспектральным (гиперспектральным) изображениям основаны на предположении, что имеется абсолютно точное описание территории, с которой сравниваются результаты распознавания данных ДЗ. На практике для сравнения наиболее часто используются данные наземных лесотаксационных обследований выбранной территории, которые имеют свои ограничения.

Лесоустроительные работы регулярно проводятся соответствующими службами в пределах отдельных кварталов, внутри которых уточняются контура распределения (называются выделами) древостоев, занимаемых площадями конкретными породами, определенного возраста, качества древесины и т.п. В лесоведении приняты характерные записи указанных распределений в виде условного номера соответствующего выдела, среднего возраста древостоев в его пределах, площади выдела и бонитета (качества древесины). Бонитет леса – показатель его продуктивности, зависит от условий произрастания. Определяется по средней высоте деревьев главной породы с учетом среднего возраста. Лесные насаждения по бонитету делят на классы, к первому классу относят наиболее продуктивные. Для каждого выдела в соответствии с преобладающей породой древостоев сосняки отображаются коричневым цветом, ельники – фиолетовым цветом, березняки – синим цветом (более возрастной состав всех типов древостоев имеет более темный цвет), болота – зеленым цветом, вырубки обозначаются горизонтальными цветными полосами и т.д.

Если вернуться к оценке достоверности результатов обработки гиперспектральных данных, то отмеченного стандартного использования данных наземной лесотаксации оказывается не достаточно для решения поставленной задачи. Как отмечено выше, при построении планов лесотаксационных работ для каждого выдела, наряду с перечисленными характеристиками (возраст, площадь, бонитет), учитывается состав древостоя. Это означает, что принимается во внимание, какая часть выдела покрыта основной породой (площадь более 50%) и каков вклад остальных пород. Соответственно, при проведении наземных обследований специалистами выдаются таблицы, характеризующие отдельные выделы по суммарному запасу древесины с разделением по составляющим породам. В этом смысле при классификации того или иного выдела, например, как «сосняк», могут иметь место случаи и стопроцентного заполнения выдела сосновыми насаждениями и лишь незначительного преобладания сосновых насаждений над другими породами деревьев, среди которых могут быть ельники, березняки и т.п. Наличие смешанных классов дополнительно усложняет разрабатываемые подходы к распознаванию образов соответствующих объектов по данным гиперспектрального дистанционного зондирования.

Возможно проведение более углубленных лесотаксационных обследований территории с характеристикой внутренней структуры отдельных выделов. В этом случае специалисты по наземным обследованиям для каждого выдела определяют состав, средний возраст и высоту древостоев, тип леса (сосняки-брусничники, долгомошники, лишайниковые и т.п.). Однако такие обследования весьма трудоемки и осуществляются специалистами лишь в отдельных случаях. Именно эти результаты и представляют наибольший интерес с точки зрения обоснования достоверности развиваемых здесь подходов по распознаванию образов объектов класса «лесная растительность» и оценке их состояния.

Обсуждение результатов

На рис. 1 приведен типичный пример отображения данных наземных лесотаксационных обследований выбранной территории к западу от линии н.п. Крупшево – н.п. Орша (к востоку от г. Тверь). Рамка зеленого цвета соответствует иллюстрируемому ниже результатам гиперспектральной и аэрофотосъемки (первая версия гиперспектрометра) на дату 30.09.2007 г. Высота съемки в пределах этой рамки с легкомоторного самолета Як-12 около 1 км, время съемки: между 14 и 15 часами местного времени. Рамка синего цвета соответствует данным усовершенствованной версии гиперспектрометра на дату 20.09.2008 г. Высота съемки в пределах этой рамки с самолета Ан-2 около 1.5 км, время съемки: между 13 и 14 часами местного времени.

На рис. 1 заметны характерные контуры р. Орша голубого цвета, которая протекает в верхней центральной части в направлении нижнего правого угла рис. 1. Черным цветом на рис. 1 выделены кварталы с номерами 73-79. Также черным цветом обозначена дорога в нижней части рис. 1. Тропинки в лесных массивах показаны пунктиром, как и границы выделов. О принятом в лесотаксации цветовом отображении отдельных выделов указанных кварталов сказано выше:

более возрастной состав соответствующих пород отображается более темными цветами. Четыре цифры в некоторых из указанных выделов характеризуют: номер квартала, возраст наиболее ценной породы, площадь выдела, бонитет. Отметим, в частности, выдел под номером 1 в квартале 79 (в виде горизонтальных красных линий, что означает вырубку в принятых обозначениях лесотаксации). Как видно из данных рис. 1, одна из тропинок идет от р. Орша (выдел под номером 14 квартала 75), проходит вблизи упомянутой вырубке в направлении дороги, пересекая ее в квартале 79 (выделы 14 и 17).

Данные рис. 2 представляют собой аэрофотоснимки выбранных районов съемки. На рис. 2а приведены результаты аэрофотосъемки в направлении пролета самолета Як-12 от н.п. Крупшево

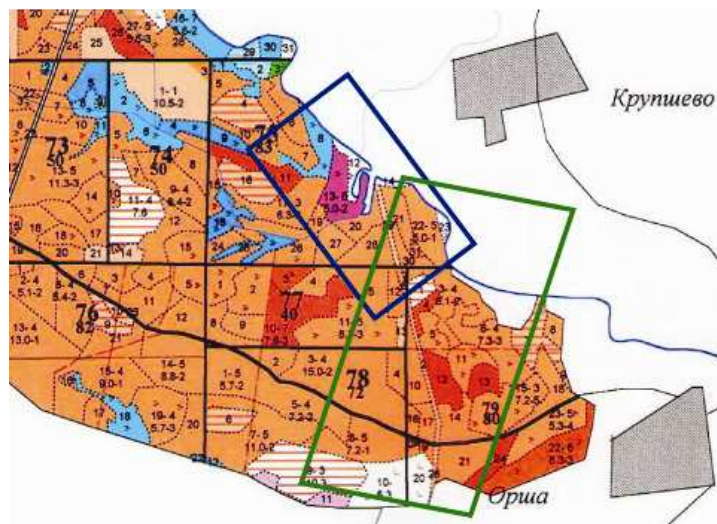


Рис. 1. Данные наземных лесотаксационных обследований выбранной территории в виде отдельных кварталов и выделов. Рамка зеленого цвета характеризует район летних испытаний начальной версии гиперспектрометра на дату съемки 30.09.2007 г., а рамка синего цвета – на дату съемки 20.09.2008 г. (усовершенствованная версия гиперспектрометра)

(справа) поперек р. Орша в направлении р. Волга (слева). Направление течения р. Орша в этой рамке – сверху вниз. Снимок повернут приблизительно на 90 градусов относительно направления рамки зеленого цвета на рис. 1 (на рис. 2 соответствующая территория отображена рамкой красного цвета). На рис. 2б показаны результаты аэрофотосъемки в направлении пролета самолета Ан-2 вдоль р. Орша. Здесь рамка охватывает территорию, отображенную рамкой синего цвета на рис. 1.

Характерные ориентиры на данных рис. 2а: уже упомянутая затененная асфальтированная дорога ближе к левой части рамки;

р. Орша ближе к правой части рамки; вырубка, которая видна ближе к верхней центральной части рис. 2а; тропинка в лесу, идущая с верхнего правого угла рамки, через эту вырубку в направлении асфальтированной дороги. Видна также еще одна вырубка в верхнем левом угле рамки – это выдел под номером 9 квартала 78 (рис. 1), а между этими двумя вырубками в соответствии с данными рис. 1 преобладают сосняки. Эта же вырубка под номером 1 квартала 79 видна вблизи верхнего левого угла рамки на рис. 2б, как и отмеченная тропинка в лесу с преобладанием сосняков, проходящая вблизи этой вырубке в направлении р. Орша. Рамка рис. 2б, помимо преобладающих сосняков в ее левой части, захватывает также ельник (выдел под номером 13 квартала 75), прогалины (выделы под номером 12 и 14 того же квартала), березняк (выдел номер 8 того же квартала) в правой верхней части рамки.

На рис. 3 приведены примеры обработки данных двух рассматриваемых типов гиперспектрометров для территорий, охваченных зеленой и синей рамками рис. 1, соответственно. Размерность пространственной матрицы данных рис. 3а – 350 x 400 элементов разрешения, данных рис. 3б – 400 x 1800 элементов. Иллюстрируемые цвета отображения объектов на рис. 3 соответствуют цветам, принятым в лесотаксации (рис.1). При обработке использовалось минимальное число выбранных эталонов – всего 7: водные поверхности, сосняки, ельники, березняки, травянистая растительность, почвогрунты, сильно затененные объекты на рис. 3а против болотной растительности на рис. 3б.

На данных рис. 3а преобладание фиолетовых оттенков в пределах верхних и нижних строк матрицы – это артефакт, следствие несовершенства данного варианта гиперспектрометра, в

котором не было устранено потемнение крайних строк регистрируемой матрицы. Серый цвет соответствует затененным объектам: слева направо – та же асфальтовая дорога; часть водной поверхности р. Орша при затенении ее правого берега (Солнце падает слева на данных рис.3 а); участки затененной травянистой растительности в правой части рис. 3а. Две упомянутые вырубki (выдел номер 1 квартала 79 и выдел номер 9 квартала 78) отображаются как лиственная растительность (преимущественно березняки). При этом наличие чистых березняков заметно в нижней правой части рис.3а, что соответствует данным рис. 2а, где видны достаточно большие по протяженности массивы лесной растительности желтого цвета. Пятна травянистой растительности по данным рис. 3а перемежаются с этими массивами березняков вблизи левого берега р. Орша. Другой массив преобладающих желто-голубых цветов в данных рис. 3а – прогалина (выдел 10 квартала 78 и выдел 20 квартала 79). В районе этих двух последних выделов заметны и открытые почвы (коричневый цвет на данных рис. 3а). Просвечивание почвенного покрова сквозь сосняки в соответствии с иллюстрируемыми результатами можно наблюдать также в правой части рис. 3а относительно основной тропинки, проходящей слева от вырубki (выдел под номером 1 квартала 79). На остальной части рис. 3а для территории, ограниченной зеленой рамкой на рис. 1 и красной рамкой на рис. 2, преобладают сосняки в полном соответствии с данными наземной лесотаксации (рис. 1). Правда, сосняки ближе к центральной части рис. 3а в некоторых местах перемежаются с ельниками.

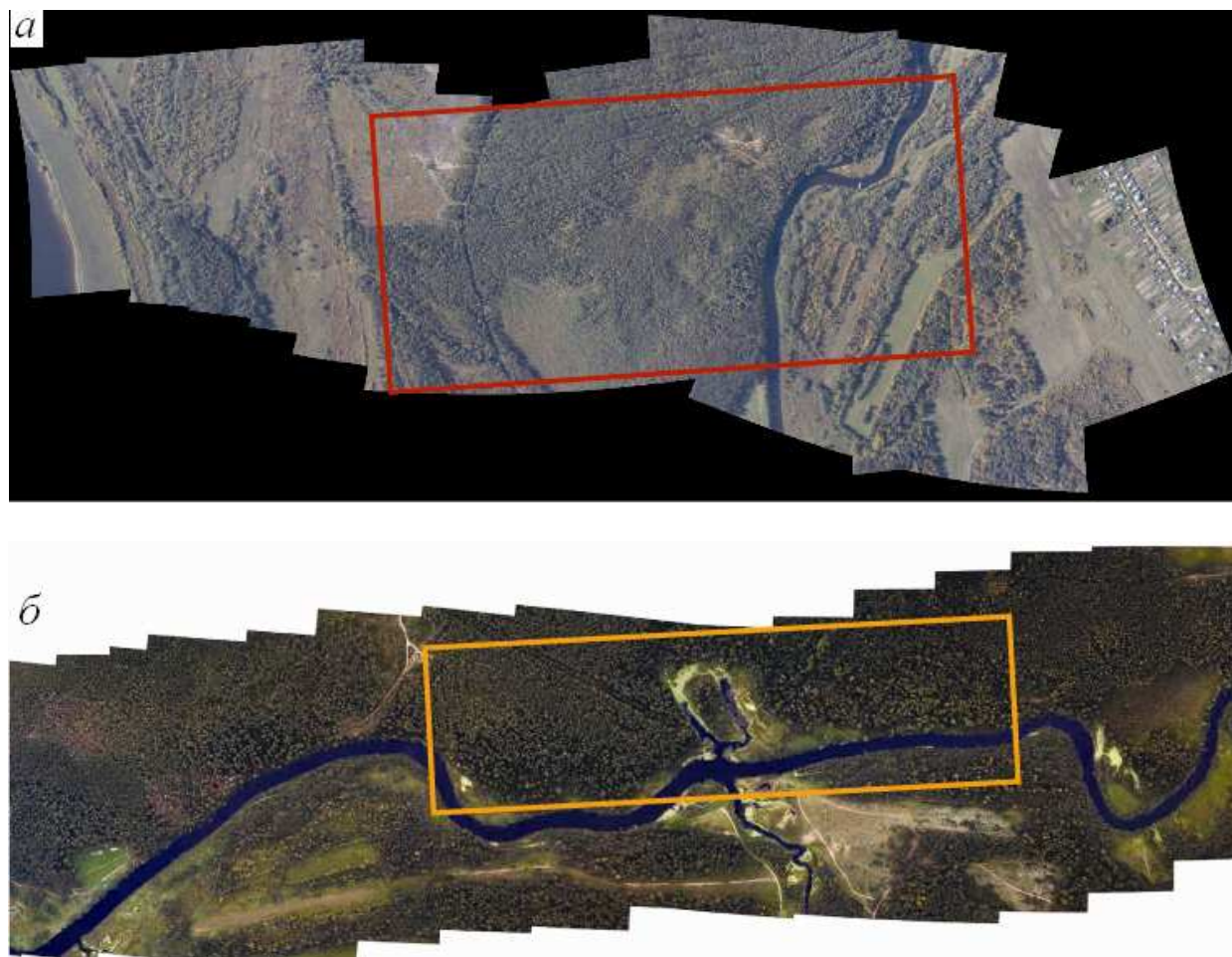


Рис. 2. Аэрофотоснимки выбранной территории на дату съемки 30.09.2007 г. (а) и на дату съемки 20.09.2008 г. (б) с выделенными рамками, соответствующими данным рис. 1

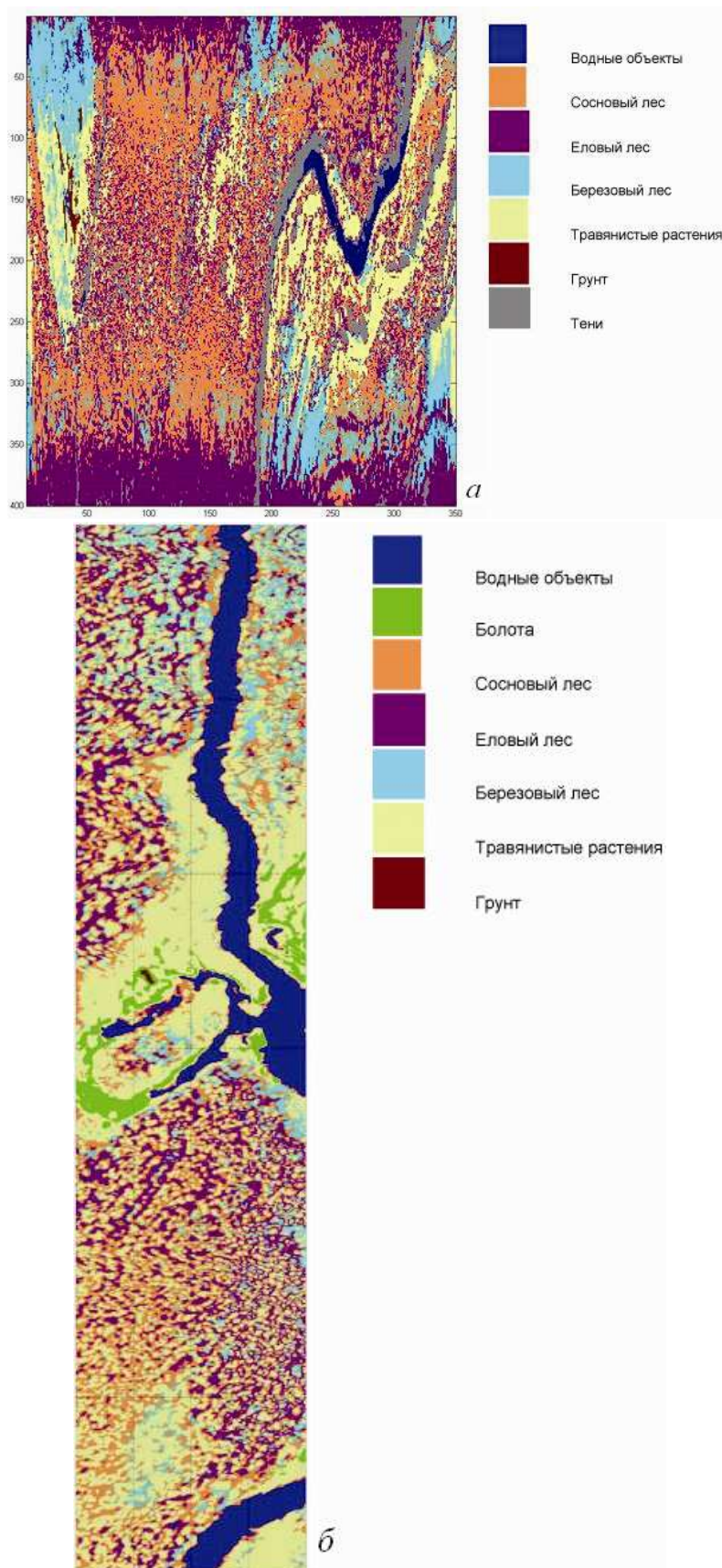


Рис. 3. Результаты обработки данных начальной версии гиперспектрометра (а) и его усовершенствованной версии (б) на указанные даты съемки

Данные рис. 3б характеризуют другой из иллюстрируемых участков рассматриваемой территории (в пределах синей рамки рис. 1). Здесь нет потемнения строк к краям исходной матрицы, а на водной поверхности р. Орша, как и на остальной части территории, охваченной данными рис. 3б, отсутствуют заметные затенения (съемка проводилась практически в полдень). На этом фрагменте в его центральной части можно видеть заболоченные территории (зеленый цвет) и травянистую растительность (желтый цвет). По данным рис. 3б можно отметить присутствие березняков (обозначены синим цветом) не только в пределах выдела 8 квартала 75 (рис. 1), но и в других частях данного изображения. В частности, явные признаки присутствия березняков (пятна пожелтевшей листвы) можно отметить и в той части аэрофотоснимка рис. 2б, которая соответствует нижней части рис. 3б. Получается, что по данным аэрофотосъемки, синхронной с анализируемыми данными рис. 3б гиперспектрального зондирования, заметно присутствие березняков, которые отсутствуют на данных наземной лесотаксации (рис. 1), где соответствующие выделы отмечены исключительно как сосняки (преобладающая порода). Ельники преобладают в левой верхней части рис. 3б в полном соответствии с данными лесотаксации (выдел номер 13 квартала 75). Ближе к левому нижнему углу рис.3б преобладают сосняки в полном соответствии с данными рис. 1.

Следует отметить, что для анализа достоверности полученных результатов обработки гиперспектральных изображений большую ценность, чем отмеченные данные лесотаксации, представляют уточненные наземные данные характеристики выделов, которые были переданы авторам специалистами Технопарка Тверского государственного университета. Данные представлены в виде таблиц для каждого выдела и квартала. В таблицах содержится информация не только о площади выделов, возрасте и бонитете древостоев, но и составе древостоев, их средней высоте, типе леса по травяному покрову (например, сосняки ягодные: черничники, брусничники, долгомошники и т.д.), запасе древесины в десятках кубометров и других параметрах. В частности, упомянутый выдел номер 13 квартала 75, обозначенный на рис.1 как ельник, в действительности содержит лишь 60% ельников по площади, 30% площади составляют березняки, а на остальных 10% площади произрастает ольха и сосняки.

Дальнейшие исследования по оценке достоверности полученных результатов обработки данных гиперспектральных изображений будут основаны именно на уточненных данных наземных обследований территории.

Заключение

Были показаны новые приложения разработанного программно-алгоритмического обеспечения обработки многоспектральных и гиперспектральных аэрокосмических изображений для решения прикладных задач распознавания образов наблюдаемых объектов. В процессе реализации предлагаемых методов вычислительной математики создается экспертная система интеллектуальной интерпретации данных аэрокосмического мониторинга как существенное дополнение существующего программного обеспечения, поставляемого, в основном, зарубежными фирмами. Развиваемые приложения охватывают как традиционные данные многоспектрального зондирования, так и достаточно уникальные в настоящее время данные гиперспектрального зондирования с целью нанодиагностики состояния наблюдаемых объектов.

Исследования проводятся в рамках проекта ориентированных фундаментальных исследований по целевому направлению «Космос» Российского Фонда Фундаментальных исследований (проект РФФИ №08-07-13515_офи_ц). Авторы благодарят НПО «Лептон» и Технопарк Тверского государственного университета за исходные данные гиперспектральных измерений и наземных обследований, которые использовались для демонстрации полученных здесь результатов.

Литература

1. Сухих В.И. Основные направления развития дистанционных методов изучения лесов и оценки их состояния в России // 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.352-357.

2. Козодеров В.В., Кондранин Т.В., Косолапов В.С., Головкин 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.

3. 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.

4. Козодеров В.В., Борзяк В.В., Дмитриев Е.В., Егоров В.Д. Алгоритмическое и программное обеспечение технологии восстановления параметров состояния природных объектов по их многоспектральным космическим изображениям // 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.498-511.

5. 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 природно-техногенной 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.

6. 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 природно-техногенных объектов // Исследование Земли из космоса, 2009. №2. С.50-68.

Natural and anthropogenic objects pattern recognition and their condition assessment using multispectral and hyperspectral airspace remote sensing data

V.V. Kozoderov¹, V.V. Borzyak¹, E.V. Dmitriev², V.D. Egorov²

¹*M.V. Lomonosov Moscow State University*

²*Institute of Numerical Mathematics of Russian Academy of Sciences*

Examples are considered of the previously elaborated algorithm and software tools adaptation concerning multispectral space imagery processing to develop applications on the soil-vegetation cover objects pattern recognition using the hyperspectral instrument in-flight testing results. New opportunities are open up for the thin structure analysis of the obtained spectra with spectral resolution within a nanometer unit to solve problems of the remotely sensed nano-diagnostics of the observed objects. The pattern recognition computational procedures are based on finding a Euclidean distance minimum in a pattern space for the relevant objects relative to some specific objects to be selected during geo-referencing of particular pixel on the hyperspectral images to the synchronized data of the area air photo survey. Comparison is given of the gained results with data of ground forest taxation observations for the selected area. A conclusion is made about an urgent necessity to collect the accurate data about the forest density parameters within separate plots to account for reliability of the obtained results.

Keywords: natural and anthropogenic objects, multispectral and hyperspectral imagery processing, pattern recognition, computational mathematics techniques, ground forest taxation observations.