

Организация распределенной работы с данными спутниковых гиперспектральных наблюдений для решения научных и прикладных задач

И.А. Уваров¹, А.М. Матвеев¹, М.А. Бурцев¹, Е.А. Лупян¹, А.А. Мазуров¹,
А.А. Прошин¹, В.П. Саворский², О.А. Суднева¹

¹*Институт космических исследований РАН*

Москва 117997, Россия

E-mail: evgeny@iki.rssi.ru

²*Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН,*

Фрязинский филиал

Московской обл., Фрязино 141190, Россия

E-mail: savor@ire.rssi.ru

В статье обсуждаются вопросы организации работы с данными спутниковых гиперспектральных (ГС) наблюдений в различных научных проектах. Представлен обзор основных задач, в которых традиционно используются ГС данные. Показано, что в настоящее время особый интерес представляют системы и инструменты анализа ГС данных, которые позволяют организовать работу с этими данными совместно с информацией, поступающей от других спутниковых систем наблюдения Земли. В работе также описана разработанная технология, позволяющая создавать блоки работы с ГС данными в различных информационных системах, ориентированных на распределенную работу с данными дистанционных наблюдений в научных проектах. Созданная технология позволяет организовывать автоматизированное получение ГС данных из различных центров, обеспечивающих их предоставление, ввести архивы ГС данных, ориентированные на организацию быстрого доступа к информации, и создавать специализированные интерфейсы, позволяющие распределенным научным коллективам проводить поиск и анализ ГС данных. Созданная технология прошла апробацию при разработке блоков работы с ГС данными в нескольких специализированных научных информационных системах, в том числе: системе "See the Sea", ориентированной на работу с данными спутниковых наблюдений для решения задач исследования Мирового океана; системе "VolSatView", созданной для обеспечения возможностями работы со спутниковыми данными специалистов-вулканологов; системе "ВЕГА-Science", ориентированной на информационную поддержку научных исследований состояния и динамики биосферы.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, гиперспектральные спутниковые данные, информационные системы, распределенная обработка данных.

Панорамная спектрометрия как технология дистанционного зондирования была предложена и реализована впервые в начале 1980-х годов (Goetz et al., 1985). Ее отличительной чертой является регистрация электромагнитного излучения одновременно в сотнях спектральных каналов видимого и ближнего ИК диапазонов (0,5÷2,5 мкм), благодаря чему формируются непрерывные спектры отраженного излучения всех элементов разрешения зондируемого участка местности (Goetz et al., 1985). Такие изображения, формируемые спектрометрами, называются гиперспектральными изображениями, а сама процедура получения таких изображений – гиперспектральными наблюдениями.

Обладая указанными выше характеристиками, гиперспектральные изображения дают потенциальную возможность точнее идентифицировать физические объекты на зондируемой поверхности, опираясь на их спектральные особенности. Эта потенциальная

возможность гиперспектрометрии объясняет интенсивность научно-исследовательских работ по использованию методов гиперспектрального мониторинга в задачах поиска, обнаружения и уточнения состава и параметров физических объектов в зондируемой с аэрокосмических носителей зоне. Важно вместе с тем отметить, что, несмотря на интенсивность научно-исследовательских работ, за 13 лет, т.е. с момента запуска 21.11.2000 спутника НАСА EOS1 с гиперспектральной аппаратурой Hyperion, до настоящего времени так и не появилось широко используемого набора приложений для данных спутниковых гиперспектрометрических наблюдений. Это существенно разнится с положением, которое мы наблюдаем, например, для данных мультиспектральных наблюдений, в частности, для данных Landsat, Terra/Aqua Modis, что обусловлено как субъективными, так и объективными обстоятельствами.

Объективными трудностями является то, что в отличие от первых экспериментов (Goetz et al., 1985) по использованию гиперспектральных приложений для исследования минерального состава пород на участках, не покрытых растительностью или слоем осадочных пород (грунта), большинство проводимых в настоящее время исследований имеет дело со сложными композитными объектами, пространственная суперпозиция которых в поле зрения гиперспектрометра и определяет регистрируемые гиперспектрометром композитные спектры. В этих спектрах, как правило, сложно или невозможно вовсе выделить характерные линии или четко обозначенные линии поглощения, по которым можно идентифицировать спектры конечных компонентов (endmember spectra), композиции спектральных характеристик которых и формируют наблюдаемые спектры. Кроме того, существенную сложность для интерпретации результатов дистанционных гиперспектральных наблюдений представляет значительная пространственно–временная изменчивость исследуемых природных ландшафтов. Как следствие, для большинства приложений прямое физическое моделирование гиперспектральных изображений затруднено сложностью и недостаточной изученностью динамики и пространственной изменчивости большинства типов наблюдаемых ландшафтов Земли.

Именно эти сложности обусловили переход от использования гиперспектральных изображений в процедурах обнаружения и классификации, построенных на результатах модельных представлений, к эмпирическим или полуэмпирическим методам. Такие методы базируются на универсальности идеи прямого автоматизированного поиска спектральных особенностей гиперспектров без (или, по крайней мере, без части) априорных и модельных предположений о процессах формирования гиперспектров. Как показала практика последних 10-15 лет, именно такой подход, фактически опирающийся на чисто методический математический формализм выделения принципиальных особенностей гиперспек-

тральных изображений, и сделал использование данных гиперспектрометров привлекательным в широком круге практических задач ДЗЗ. Так, данные гиперспектрометров в настоящее время успешно применяются для дистанционного мониторинга роста и оценки качества важнейших сельскохозяйственных культур, например, пшеницы (Nakanishi et al., 2012), риса (Inoue et al., 2008; Shibayama, Akiyama, 1989), чая (Bian et al., 2012), классификации и определения состояния растительного покрова различных природных экосистем (White, Lewis, 2012; De Souza et al., 2012; Newnham et al., 2012; Fung et al., 1998; Torbick, Becker, 2009; Hestir et al., 2008; Zomer et al., 2009), мониторинга состояния городской застройки и инфраструктуры и определения использованных строительных материалов (Bannehr et al., 2011; Chisense, 2011, 2012; Lee et al., 2012; Mohammadi, 2011), в задачах геологии, минералогии и геологоразведки (Kurz et al., 2012; Tian, 2012), экологического мониторинга акваторий (Phil, Crisp, 1982; Almond, Samuel, 2000; Cloutis, 1989; Foudan, 2003; Heather, 2003; Ellis et al., 2001; Williams, Lawrence, 2002; Horig et al., 2001). Активно исследуются и развиваются методы привлечения данных гиперспектрометров для детектирования пожаров и газовых факелов (Roberts et al., 2003; Dennison, 2006; Dennison, Roberts, 2009; Ricco et al., 2011).

Следует учитывать, что выделение в спектрах особенностей требует тщательного анализа результатов классификации на достаточно большом ансамбле реализаций гиперспектральных наблюдений для заданного класса объектов (в заданном окружении, определяемом климатическими, сезонными, зональными, географическими характеристиками и влиянием различного рода антропогенных факторов – в совокупности все это сводится к ландшафтной таксономии). Только в этом случае можно гарантировать успешность или хотя бы целесообразность применения гиперспектральных данных для контроля (в.ч. поиска и обнаружения) целевых объектов. В противном случае получаемые в результате анализа оценки могут не являться статистически значимыми вследствие нерепрезентативности данных при малом объеме их независимых реализаций.

Основным субъективным обстоятельством, препятствующим широкому распространению применений гиперспектральных данных, является их малая доступность. Это обстоятельство тем более значимо, что доступность данных, помимо прочего, является одним из существенных факторов, позволяющих значительно повысить качество статистических оценок, необходимых для реализации процедур обнаружения и классификации. Обусловлено это тем, что при наличии широкого доступа независимых исследователей к наборам гиперспектральных данных появляются условия для проведения глубокого анализа данных дистанционного зондирования за счет привлечения большего круга исследовательских коллективов. Тем самым создается почва для ускоренного развития методиче-

ской аналитической базы и появления новых аспектов в изучении природных ресурсов Земли методами гиперспектральных наблюдений. В последнее время тенденция к расширению доступа к данным наметилась у основных поставщиков спутниковых гиперспектральных данных и центров их обработки НАСА и его контракторов. В частности, расширен доступ к данным гиперспектрометров Hyperion (EO-1, 2003) и HICO (<http://hico.coas.oregonstate.edu>), установленных на спутнике НАСА EO1 и американском сегменте Международной космической станции (МКС), соответственно. В 2013г. запущен российский космический аппарат «Ресурс-П» с отечественным гиперспектрометром ГСА Красногорского завода им. С.А. Зверева (http://planet.iitp.ru/spacecraft/resurs_p.htm), данные которого также становятся доступными для научных исследований.

Следует отметить также, что современные гиперспектрометры не могут обеспечить достаточно регулярного покрытия данными наблюдаемых территорий, и поэтому в настоящее время их использование, в основном, интересно для проведения исследовательских работ. При этом, безусловно, особый интерес также представляет и возможность совместного анализа гиперспектральных данных с данными других дистанционных систем наблюдения, в первую очередь для более четкого понимания особенностей различных явлений и объектов, постоянное наблюдение за которыми в настоящее время осуществляется широким спектром различных спутниковых систем наблюдения Земли. Поэтому безусловно актуальным является вопрос включения возможностей работы с гиперспектральными данными в различные системы, использующиеся в настоящее время для решения научных и прикладных задач. В настоящей работе описаны основные возможности технологии организации работы с данными гиперспектральных наблюдений в информационных системах семейства Созвездие-Vega (<http://sozvezdie-vega.ru/>).

Созвездие-Vega - это долгосрочный проект ИКИ РАН, направленный на создание на основе единой технологической платформы информационных систем (сервисов), обеспечивающих возможность оперативной удаленной работы различных групп пользователей с данными спутниковых наблюдений для решения задач мониторинга возобновляемых биологических ресурсов и научных биосферных исследований. Информационные системы Созвездия-Vega реализуют концепцию геопространственного информационного web-сервиса, собирающего спутниковую и другую географическую информацию из различных источников и обеспечивающего к ней доступ пользователей по всему миру. Эти системы предоставляют доступ к данным от различных поставщиков практически в режиме реального времени в виде динамического web-сервиса, работающего в распределенной среде и позволяющего находить пространственные данные по различным критериям и анализировать их с помощью web-браузера для решения научных и прикладных задач.

Подробно с возможностями различных информационных систем, входящим в Созвездие-Вега можно познакомиться в работах (Лупян, Савин и др., 2011; Барталев и др., 2012; Лупян, Матвеев и др., 2012; Гордеев и др., 2014). Для того чтобы обеспечить возможность работы в информационных системах семейства Вега с гиперспектральными данными, необходимо было решить следующие основные задачи:

- создать универсальную схему получения гиперспектральных данных, позволяющую просто организовывать схемы автоматического получения этих данных из различных источников;
- создать схему архивации гиперспектральных данных, позволяющую в автоматизированном режиме вести архивы данных в виде, обеспечивающем организацию быстрого поиска, выбора и отображения гиперспектральной информации;
- создать базовые интерфейсы, обеспечивающие возможность проведения анализа гиперспектральных данных, в том числе, совместно с другими данным, используемыми в конкретных информационных системах Созвездия-Вега.

Для решения этих задач была разработана общая схема работы с гиперспектральными данными, представленная на *рис. 1*. Ниже мы кратко рассмотрим, какие подходы были использованы для создания отдельных ее элементов.

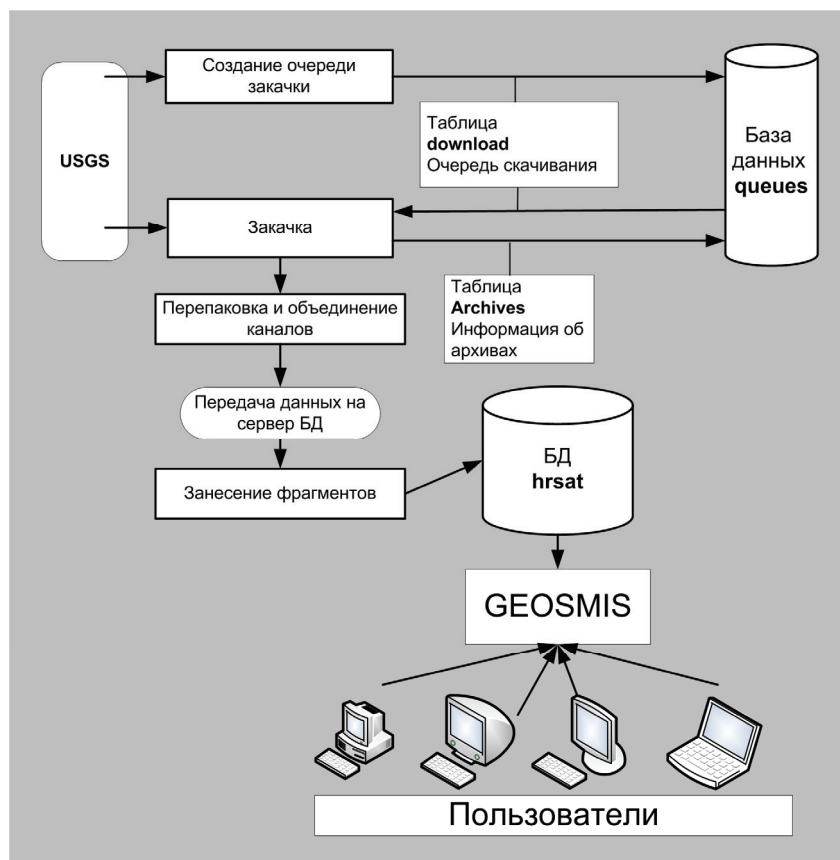


Рис. 1. Базовая схема работы с ГС данными в информационных системах Созвездие-Вега.

Как основной источник данных при создании и отладке ее основных элементов использовались архивы данных прибора Hyperion Геологической службы США (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Для получения данных из архивов была использована разработанная в ИКИ РАН технология, позволяющая организовывать обмен данных с различными архивами и центрами приема. Подробно с возможностями данной технологии можно познакомиться в (Лупян, Балашов и др., 2012). Отметим, что на основе той же схемы может быть реализовано получение гиперспектральных данных и из других центров.

Данные скачиваются в виде zip архива, в котором содержится 242 изображения в формате GeoTiff, отдельно по каждому спектральному каналу (диапазон 355,59 – 2577,8 нм), и текстовый файл с метаданными в формате MTL. Каждый файл представляет собой изображение в проекции UTM формата int16. Значение точки в изображении представляет собой поток излучения ($\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{нм})$), умноженный на 40 для каналов 1-71(VNIR) и на 80 для остальных каналов (SWIR).

Далее процедурой, созданной с использованием библиотеки GDAL (<http://www.gdal.org>), эти файлы автоматически склеиваются в 242-канальный GeoTiff с добавлением к нему 5-уровневой пирамиды масштабов, хранящейся в этом же файле. Масштабирование позволяет ускорить доступ к данным, что особенно важно при необходимости просматривать онлайн большое количество изображений. После ряда тестов был выбран наилучший алгоритм сжатия DEFLATE, это позволило сократить объем хранения на 10% по сравнению с исходным архивом. Следует также отметить, что исходное разрешение, проекция и значения внутри изображений на базовом масштабе при этом сохраняются, и, таким образом, мы получаем возможность отображать, анализировать и обрабатывать данные в дальнейших процедурах не теряя при этом исходного качества.

Одновременно с файлом данных автоматически формируется текстовая аннотация, в формате, пригодном для усвоения в специализированную базу данных. Для этого применяется базовое программное обеспечение ведения архивов спутниковой информации, разработанное в ИКИ РАН (Балашов и др., 2013). В зависимости от угла, сцены получают специальные идентификаторы продукта, характерные для дневных и ночных данных, соответственно. Подготовленная информация поступает в архив, который построен на основе технологии FDB (File Data Base), разработанной в ИКИ РАН (Ефремов и др., 2004). Архив данных Hyperion организован таким же образом, как организовано большинство архивов спутниковых данных высокого пространственного разрешения (например, данных Landsat, SPOT, Канопус-В и др.), которые используются в информационных системах Союз-Вега (см. например, (Лупян, Савин и др., 2011; Барталев и др., 2012; Лупян, Матвеев и др., 2012; Гордеев и др., 2014)). В настоящее время (весна 2014 года) в созданных в

ИКИ РАН архивах гиперспектральных данных находится более 11 000 сцен (в основном, по территории Северной Евразии). Объем архива составляет около 3,5 ТБ.

Для работы с гиперспектральными данными создан специализированный инструмент в рамках картографических web-интерфейсов, создающихся на основе технологии GEOSMIS (Толпин и др., 2011). Это позволяет интегрировать функции, обеспечивающие работу с этими данными в различных информационных системах, создающихся на основе данной технологии. Созданные инструменты позволяют как проводить анализ отдельных спектральных каналов и строить цветосинтезы произвольно выбранных каналов, так и проводить совместных анализ гиперспектральных данных с данными других спутниковых систем.

Следует отметить, что большое количество каналов у гиперспектральных изображений и значительная изменчивость спектральных яркостей в различных участках поверхности суши и моря требуют от пользователя точной настройки параметров отображения снимков в соответствии с актуальной исследовательской задачей для того, чтобы визуализировать, прежде всего, характерные особенности анализируемого объекта или явления. Для этого необходимо, в первую очередь, обеспечить пользователей возможностью выбора наиболее информативных для данной исследовательской задачи спектральных каналов. Именно такую возможность и обеспечивают созданные блоки работы с данными. В частности, в них реализованы возможности цветовой коррекции, которые позволяют настраивать передаточную функцию яркости для каждого из отображаемых спектральных каналов. Для этого автоматически вычисляются и выводятся на экран гистограммы яркостей в каждом из каналов. При этом пользователю предлагается либо установить автоматически выбираемые параметры функции, либо задать их вручную.

Совместный анализ нескольких изображений возможен как с помощью поочередного их вывода на экран, так и путем построения синтезированного из них изображения. Последнее может быть синтезировано как из различных снимков, полученных одним спектрорадиометром, так и на основе данных разных приборов. Синтезированное RGB-изображение может включать в себя любую комбинацию спектральных каналов изображений, доступных в картографическом интерфейсе на заданной территории.

Более подробный анализ спектральных характеристик объектов возможен благодаря функции построения спектральных профилей в заданной точке изображения. Пользователь может выбрать интересующие его точки изображения, а затем с помощью специализированного интерфейса анализировать характер изменения спектральной яркости в зависимости от длины волны, а также сравнивать спектральные профили разных объектов. Помимо собственно спектральной яркости, для анализа доступна рассчитываемая на ее основе спектральная отражательная способность, также отображаемая в виде графиков.

Таким образом, результатом работы является разработка базовых аналитических инструментов для работы с данными гиперспектрометров, которые могут быть использованы для интеграции данных в различные информационные системы семейства Созвездие-Вега. В настоящее время базовыми аналитическими инструментами для работы с данными гиперспектрометров уже оснащены следующие системы.

– **STS (SEE THE SEA)** (<http://ocean.smislab.ru/static/index.sht>) (Лупян, Матвеев и др., 2012) - информационная система, ориентированная на работу с данными спутниковых наблюдений для решения междисциплинарных задач исследования Мирового океана. Система STS была создана для работы с данными спутниковой радиолокации (в основном, данными, получаемыми со спутника ENVISAT), в настоящее время она дооснащена средствами работы с гиперспектральными спутниковыми данными Hyperion и HICO.

– **VolSatView** (<http://volcanoes.smislab.ru/static/index.sht>) (Гордеев и др., 2014) – система обеспечения специалистов-вулканологов оперативными спутниковыми данными и различными информационными продуктами, получаемыми на основе их обработки, для мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил. Система VolSatView была создана для работы с данными, поступающими со спутников NOAA, Terra, Aqua, Метеор М №1 и LANDSAT, в настоящее время она дооснащена средствами работы с гиперспектральными спутниковыми данными Hyperion (Лупян, Матвеев и др., 2012);

– **ВЕГА-Science** (<http://sci-vega.ru/>) (Лупян, Савин и др., 2011) - спутниковый сервис коллективного пользования, ориентированный на информационную поддержку научных исследований состояния и динамики биосферы в ее взаимодействии с другими компонентами геосистемы. Сервис **ВЕГА-Science** был создан для работы с данными, поступающими со спутников NOAA, Terra, Aqua, Метеор М №1 и LANDSAT, в настоящее время существенно расширен и включает, помимо прочего, средства работы с гиперспектральными спутниковыми данными Hyperion.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 13-07-00513 А, 13-07-12017 офи_м, 13-07-12116 офи_м, 13-07-12180 офи_м.

Литература

1. *Балашов И.В., Халикова О.А., Бурцев М.А., Лупян Е.А., Матвеев А.М.* Организация автоматического получения наборов информационных продуктов из центров архивации и распространения спутниковых и метеоданных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т.10. № 3. С.9–20.
2. *Барталев С.А, Ершов Д.В., Лупян Е.А., Толтин В.А.* Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли, 2012. Т.9. №.1. С.49–56.

3. Гордеев Е.И., О.А. Гирина, Е.А. Лупян, В.Ю. Ефремов, А.А. Сорокин, Д.В. Мельников, А.Г. Маневич, И.М. Романова, С.П. Королев, Л.С. Крамарева Возможности использования данных гиперспектральных спутниковых наблюдений для изучения активности вулканов Камчатки с помощью геопортала VolSatView // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т.11. №.1. С. 267–284.
4. Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В. Технология построения автоматизированных систем хранения спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. № 1. С. 437–443.
5. Лупян Е.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Мазуров А.А., Мальцев Д.В., Матвеев А.М., Прошин А.А., Толпин В.А., Халикова О.А., Крашенинникова Ю.С. Возможности работы с долговременным архивом данных спутников LANDSAT по территории России и приграничных стран // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т. 9. № 3. С. 307–315.
6. Лупян Е.А., Матвеев А.М., Уваров И.А., Бочарова Т.Ю., Лаврова О.Ю., Митягина М.И. Спутниковый сервис See the Sea - инструмент для изучения процессов и явлений на поверхности океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т. 9. № 2. С. 251–262.
7. Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А, Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности «ВЕГА» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли, 2011. Т.8. №.1. С. 190–198.
8. Толпин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Прошин А.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 3. С. 93–108.
9. Almond, Samuel The Remote Sensing Of Oil Slicks From Satellite Platforms. 2000. <http://www.geog.ucl.ac.uk/~salmond/essay.html>.
10. Bannehr L., Luhmann Th., Piechel J., Roelfs T., Schmidt A. Extracting roof parameters and head bridges over the city of Oldenburg from hyperspectral, thermal, and airborne laser scanning data // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2011. V.XXXVIII-4/W19. P. 17–22.
11. Bian M., Skidmore A., Schlerf M., Liu Y., Wang T. Estimating biochemical parameters of tea (camellia sinensis (L.)) using hyperspectral techniques // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2012. V.XXXIX-B8. P. 237–241.
12. Shibayama, M. and Akiyama, T. Seasonal visible, nearinfrared and mid-infrared spectra of rice canopies in relation to LAI and above-ground dry phytomass // Remote Sensing of Environment. 1989. Vol. 27, P. 119–127
13. Chisense C. Classification of roof materials using hyperspectral data // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2012. Vol. XXXIX-B7. P. 103–107.
14. Chisense, C. Classification of Roofs using Hyperspectral Data. Master thesis. 2011. University of Applied Sciences Stuttgart, Germany
15. Cloutis E. A. Spectral reflectance properties of hydrocarbons, remote-sensing implications // Science. 1989. Vol. 245. P. 165–168.
16. Dennison P. Fire detection in imaging spectrometer data using atmospheric carbon dioxide absorption // International Journal of Remote Sensing. 2006. Vol. 27. No. 4. P. 3049–3055.
17. Dennison P., Roberts D. Daytime fire detection using airborne hyperspectral data // Remote Sensing of Environment. 2009. Vol.113. No.8. P. 1646–1657.
18. De Souza E., Vicens R., Rosa A., Cruz C. Spectral analysis of different vegetation cover using the Hyperion sensor – a case study in the state of Rio de Janeiro – Brasil // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2012. V.XXXIX-B7. P.109–111.
19. EO-1 User Guide. v. 2.3. University of Cicinatty. 2003.
20. Ellis J.M., Davis H.H., Zamudio J.A. Exploring for onshore oil seeps with hyperspectral imaging // Oil and Gas Journal. 2001. No.10. P. 49–56.
21. Foudan M.F. Salem. Hyperspectral remote sensing: A new approach for oil spill detection and analysis. Doctor Dissertation. 2003. George Mason University (USA).
22. Fung, T., Ma, F.Y. and Siu, W.L. Hyperspectral data analysis for subtropical tree species recognition // Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, IGARSS '98. IEEE International. 1998.Vol.3, P. 1298–1300.
23. Goetz, A. F. H., G. Vane, J. E. Solomon, and B. N. Rock. Imaging Spectrometry for Earth Remote Sensing // Science. 1985. Vol.228. P. 1147–1153.
24. Heather Freeman. Evaluation of the use of hyperspectral imagery for identification of microseeps near Santa Barbara, California. California. Sep.26, 2003.
25. Hestir, E. L., Khanna, S., Andrew, M. E., Santos, M. J., Viers, J. H., Greenberg, J. A., Rajapakse, S. S. and Ustin, S. L. Identification of invasive vegetation using hyperspectral remote sensing in the California Delta ecosystem. // Remote Sensing of Environment .2008. Vol.112, P. 4034–4047.
26. Horig B., Kuhn F., Oschutz F., Lehmann F. HyMap hyperspectral remote sensing to detect hydrocarbons // Int. J. Remote Sensing. 2001. Vol. 22. No.8. P. 1213–1422.
27. Inoue Y., Peñuelas P., Miyata A., and Mano M. Normalized difference spectral indices for estimating photosynthetic efficiency and capacity at a canopy scale derived from hyperspectral and CO2 flux measurements in rice // Remote Sensing of Environment. 2008. Vol. 1112, P. 156–172.

28. Kurz T., Buckley S., Howell J. Close range hyperspectral imaging integrated with terrestrial lidar scanning applied to rock characterisation at centimetre scale // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2012. V.XXXIX-B5. P. 417–422.
29. Lee J.-D., Dewitt B., Lee S.-S., Bhang K.-J., Sim J.-B. Analysis of concrete reflectance characteristics using spectrometer and VNIR hyperspectral camera // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2012. Vol. XXXIX-B7. P. 127–130.
30. Mohammadi M. Road Classification and Condition Determination using Hyperspectral Imagery. Master thesis. 2011. University of Applied Sciences Stuttgart, Germany.
31. Nakanishi T., Imai Y., Morita T., Akamatsu Y., Odagawa S., Takeda T., Kashimura O. Evaluation of wheat growth monitoring methods based on hyperspectral data of later grain filling and heading stages in western Australia // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2012. Vol. XXXIX-B8. P. 295–300.
32. Newnham G., Lazaridis D., Sims N., Robinson A., Culvenor D. Assessing the significance of Hyperion spectral bands in forest classification // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2012. Vol. XXXIX-B7. P. 147–149.
33. Phil P. R. P., Crisp P. T. Surface geochemical prospecting methods used for oil and gas prospecting // *Journal of Geochemical Exploration*. 1982. Vol. 17. No. 1. P. 1–34.
34. Ricco A., Giunta G., Landi T., Migliaccio M. Remote optical observation of biomass burning: A feasibility and experimental case study with the SIM.GA hyperspectral system // *International Journal of Remote Sensing*. 2011. Vol. 32. No. 21. P. 6241–6259.
35. Roberts D., Dennison P., Gardner M., Hetzel Y., Ustin S., Lee C. Evaluation of the potential of Hyperion for fire danger assessment by comparison to the Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2003. Vol. 41. No. 6. P. 1297–1310.
36. Tian Q. Study on oil-gas reservoir detecting methods using hyperspectral remote sensing // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2012. Vol. XXXIX-B7. P. 157–162.
37. Torbick N., Becker B. Evaluating Principal Components Analysis for identifying *optimal* bands using wetland hyperspectral measurements from the Great Lakes, USA // *Remote Sensing*. 2009. Vol. 1. No. 3. P. 208–417.
38. White D., Lewis M. Mapping the wetland vegetation communities of the Australian Great Artesian Basin springs using SAM, MTMF and spectrally segmented PCA hyperspectral analysis // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2012. Vol. XXXIX-B7. P. 163–165.
39. Williams A., Lawrence G. 'The role of satellite seep detection in exploring the South Atlantic's ultra-deep water' // *Surface Exploration case Histories, etc, AAPG Studies in Geology*. 2002. Vol. 48.
40. Zomer R. J., Trabucco, A., Ustin, S. L. Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing // *Journal of Environmental Management*. 2009. Vol. 90, P. 2170–2177.

Distributed data management of hyperspectral remote sensing data for scientific purposes and applications

I.A. Uvarov¹, A.M. Matveyev¹, M.A. Burtsev¹, E.A. Loupian¹, A.A. Mazurov¹,
A.A. Proshin¹, V.P. Savorskiy², O.A. Sudneva¹

²*Space Research Institute, Russian Academy of Sciences
Moscow 117997, Russia
E-mail: evgeny@iki.rssi.ru*

²*V.A. Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics, Fryazino Department,
Russian Academy of Sciences
Fryazino, Moscow region 141190, Russia
E-mail: savor@ire.rssi.ru*

The article discusses the issues of management of hyperspectral (HS) remotely sensed data for using in various scientific projects. The main scientific problems traditionally solved with the use of HS data are overviewed. A particular interest to systems and HS data analysis tools providing joint processing with other Earth remote sensing data is emphasized. The paper describes a technology developed to build HS data processing modules to be included in various information systems aimed at distributed remotely sensed data analysis in the framework of scientific projects. The developed technology enables automated HS data acquisition from a number of data centers, HS data archiving with fast access capability, creation of specialized user interfaces providing distributed scientific teams with HS data lookup and analysis functionality. The technology is implemented in HS data processing subsystems in

the framework of several specialized scientific information systems, including the “See the Sea” system aimed at the study of the world ocean, the “VolSatView” system created to provide the remote sensing toolkit for volcanology scientists, the “VEGA Science” system which realizes information support of the biosphere state and dynamics research.

Keywords: remote sensing, hyperspectral satellite data, information systems, distributed data processing.

References

1. Balashov I.V., Khalikova O.A., Bourtsev M.A., Loupian E.A., Matveev A.M., Organizatsiya avtomaticheskogo polucheniya naborov informatsionnykh produktov iz tsentrov arkhivatsii i rasprostraneniya sputnikovyykh i meteodannykh (Organization of automatic data acquisition from satellite and meteorological data archiving and distribution centers), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol.10, No. 3, pp. 9–20.
2. Bartalev S.A., Ershov D.V., Loupian E.A., Tolpin V.F., Vozmozhnosti ispol'zovaniya sputnikovogo servisa VEGA dlya resheniya razlichnykh zadach monitoringa nazemnykh ekosistem (Possibilities of satellite service “VEGA” using for different tasks of land ecosystems monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 1, pp. 49–56.
3. Gordeev E.I., Girina O.A., Loupian E.A., Efremov V.Yu., Sorokin A.A., Mel'nikov D.V., Manevich A.G., Romanova I.M., Korolev S.P., Kramareva L.S., Vozmozhnosti ispol'zovaniya dannykh giperspektral'nykh sputnikovyykh nabludenij dlya izucheniya aktivnosti vulkanov Kamchatki s pomosh'yu geoportala VolSatView (Using satellite hyperspectral data to study the activity of Kamchatka volcanoes on the basis of the VolSatView geoportal), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol.11, No. 1, pp. 267–284.
4. Efremov V.Yu., Loupian E.A., Mazurov A.A., Proshin A.A., Flitman E.V., Tekhnologiya postroeniya avtomatizirovannykh sistem khraneniya sputnikovyykh dannykh (The technology for creation of satellite data automated storage systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2004, No 1, pp. 437–443.
5. Loupian E.A., Balashov I.V., Bourtsev M.A., Efremov V.Yu., Mazurov A.A., Mal'zev D.V., Matveev A.M., Proshin A.A., Tolpin V.A., Khalikova O.A., Krashenninnikova Yu.S., Vozmozhnosti raboty s dolgovremennym arkhivom dannykh sputnikov LANDSAT po territorii Rossii i prigranichnykh stran (Opportunities to work with long-term archive of LANDSAT satellite data on the territory of Russia and neighboring countries), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 3, pp. 307–315.
6. Loupian E.A., Matveev A.M., Uvarov I.A., Bocharova T.Yu., Lavrova O.Yu., Sputnikovyi servis See the Sea - instrument dlya izucheniya protsessov i yavlenii na poverkhnosti okeana (The satellite service “See the Sea” - a tool for the study of oceanic phenomena and processes), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No 2, pp. 251–262.
7. Loupian E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E. Sputnikovyi servis monitoringa sostoyaniya rastitel'nosti “VEGA” (Satellite service for vegetation monitoring “VEGA”) *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No.1, pp. 190–198.
8. Tolpin V.A., Balashov I.V., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Proshin A.A., Uvarov I.A., Flitman E.V. Sozdanie interfeisov dlya raboty s dannymi sovremennykh sistem distantsionnogo monitoringa (sistema GEOSMIS) (The GEOSMIS system: Developing interfaces to operate data in modern remote monitoring systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 3, pp. 93–108.
9. Almond, Samuel *The Remote Sensing Of Oil Slicks From Satellite Platforms*. 2000. <http://www.geog.ucl.ac.uk/~salmond/essay.html>.
10. Bannehr L., Luhmann Th., Piechel J., Roelfs T., Schmidt A., Extracting roof parameters and head bridges over the city of Oldenburg from hyperspectral, thermal, and airborne laser scanning data, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2011, Vol. XXXVIII-4/W19, pp. 17–22.
11. Bian M., Skidmore A., Schlerf M., Liu Y., Wang T., Estimating biochemical parameters of tea (camellia sinensis (L.)) using hyperspectral techniques, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012, Vol. XXXIX-B8, pp. 237–241.
12. Shibayama M. and Akiyama T., Seasonal visible, nearinfrared and mid-infrared spectra of rice canopies in relation to LAI and above-ground dry phytomass, *Remote Sensing of Environment*, 1989, Vol. 27, pp. 119–127.
13. Chisense C., Classification of roof materials using hyperspectral data, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012, Vol. XXXIX-B7, pp. 103–107.
14. Chisense C., *Classification of Roofs using Hyperspectral Data*, Master thesis, 2011, University of Applied Sciences Stuttgart, Germany
15. Cloutis E.A., Spectral reflectance properties of hydrocarbons, remote-sensing implications, *Science*, 1989, Vol. 245, pp. 165–168.

16. Dennison P., Fire detection in imaging spectrometer data using atmospheric carbon dioxide absorption, *International Journal of Remote Sensing*, 2006, Vol. 27, No. 4, pp. 3049–3055.
17. Dennison P., Roberts D., Daytime fire detection using airborne hyperspectral data, *Remote Sensing of Environment*, 2009, Vol. 113, No. 8, pp. 1646–1657.
18. De Souza E., Vicens R., Rosa A., Cruz C., Spectral analysis of different vegetation cover using the Hyperion sensor – a case study in the state of Rio de Janeiro – Brasil, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012, Vol. XXXIX-B7, pp.109–111.
19. EO-1 User Guide, v. 2.3., *University of Cincinnati*, 2003.
20. Ellis J.M., Davis H.H., Zamudio J.A., Exploring for onshore oil seeps with hyperspectral imaging, *Oil and Gas Journal*, 2001, No.10, pp. 49–56.
21. Foudan M.F. Salem., Hyperspectral remote sensing: A new approach for oil spill detection and analysis, *Doctor Dissertation*, 2003, George Mason University (USA).
22. Fung T., Ma F.Y. and Siu W.L., Hyperspectral data analysis for subtropical tree species recognition, *Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, IGARSS '98. IEEE International*, 1998, Vol. 3, pp. 1298–1300.
23. Goetz A. F. H., G. Vane, J. E. Solomon, and B. N. Rock., Imaging Spectrometry for Earth Remote Sensing, *Science*, 1985, Vol. 228, pp. 1147–1153.
24. Heather Freeman., *Evaluation of the use of hyperspectral imagery for identification of microseeps near Santa Barbara*, California, Sep. 26, 2003.
25. Hestir E. L., Khanna S., Andrew M. E., Santos M. J., Viers J. H., Greenberg J. A., Rajapakse S. S. and Ustin S. L., Identification of invasive vegetation using hyperspectral remote sensing in the California Delta ecosystem, *Remote Sensing of Environment*, 2008, Vol. 112, pp. 4034–4047.
26. Horig B., Kuhn F., Oschutz F., Lehmann F., HyMap hyperspectral remote sensing to detect hydrocarbons, *Int. J. Remote Sensing*, 2001, Vol.22, No. 8, pp. 1213–1422.
27. Inoue Y., Peñuelas P., Miyata A., and Mano M., Normalized difference spectral indices for estimating photosynthetic efficiency and capacity at a canopy scale derived from hyperspectral and CO₂ flux measurements in rice, *Remote Sensing of Environment*, 2008, Vol. 112, pp. 156–172.
28. Kurz T., Buckley S., Howell J., Close range hyperspectral imaging integrated with terrestrial lidar scanning applied to rock characterisation at centimetre scale, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012, Vol. XXXIX-B5, pp. 417–422.
29. Lee J.-D., Dewitt B., Lee S.-S., Bhang K.-J., Sim J.-B., Analysis of concrete reflectance characteristics using spectrometer and VNIR hyperspectral camera, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012, Vol. XXXIX-B7, pp. 127–130.
30. Mohammadi M., *Road Classification and Condition Determination using Hyperspectral Imagery*, Master thesis, 2011, University of Applied Sciences Stuttgart, Germany.
31. Nakanishi T., Imai Y., Morita T., Akamatsu Y., Odagawa S., Takeda T., Kashimura O., Evaluation of wheat growth monitoring methods based on hyperspectral data of later grain filling and heading stages in western Australia, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012, Vol. XXXIX-B8, pp. 295–300.
32. Newnham G., Lazaridis D., Sims N., Robinson A., Culvenor D., Assessing the significance of Hyperion spectral bands in forest classification, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012, Vol. XXXIX-B7, pp. 147–149.
33. Phil P. R. P., Crisp P. T., Surface geochemical prospecting methods used for oil and gas prospecting, *Journal of Geochemical Exploration*, 1982, Vol. 17, No. 1, pp. 1–34.
34. Ricco A., Giunta G., Landi T., Migliaccio M., Remote optical observation of biomass burning: A feasibility and experimental case study with the SIM.GA hyperspectral system, *International Journal of Remote Sensing*, 2011, Vol. 32, No. 21, pp. 6241–6259.
35. Roberts D., Dennison P., Gardner M., Hetzel Y., Ustin S., Lee C., Evaluation of the potential of Hyperion for fire danger assessment by comparison to the Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, Vol. 41, No. 6, pp. 1297–1310.
36. Tian Q., Study on oil-gas reservoir detecting methods using hyperspectral remote sensing, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012, Vol. XXXIX-B7, pp. 157–162.
37. Torbick N. and Becker B., Evaluating Principal Components Analysis for identifying optimal bands using wetland hyperspectral measurements from the Great Lakes, USA, *Remote Sensing*, 2009, Vol. 1, No. 3, pp. 208–417.
38. White D., Lewis M., Mapping the wetland vegetation communities of the Australian Great Artesian Basin springs using SAM, MTMF and spectrally segmented PCA hyperspectral analysis, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012, Vol. XXXIX-B7, pp. 163–165.
39. Williams A. and Lawrence G., The role of satellite seep detection in exploring the South Atlantic's ultra-deep water, Surface Exploration case Histories, etc, *AAPG Studies in Geology*, 2002, Vol. 48.
40. Zomer R. J., Trabucco A., Ustin S. L., Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing, *Journal of Environmental Management*, 2009, Vol. 90, pp. 2170–2177.