

УДК 504.064.37:528.8+629.78

МНОГОУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ

© 2013 Г. П. Аншаков, А. С. Егоров, А. В. Ращупкин, В. К. Скирумунт

ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»», г. Самара

В статье рассматривается инновационный проект Самарского аэрокосмического кластера «Многоуровневая система оперативного мониторинга Земли», представлены цели и задачи.

Дистанционное зондирование Земли, гиперспектральная съёмка, многоуровневая система мониторинга, экологический мониторинг.

В 2012 году правительство Самарской области вместе с ведущими предприятиями аэрокосмической отрасли подписали соглашение о создании Самарского аэрокосмического инновационного кластера. В него вошли крупнейшие промышленные предприятия и ведущие вузы области. Данное соглашение ориентировано на системное объединение предприятий и организаций, входящих в кластер, для повышения их конкурентоспособности и эффективности.

При подготовке программы развития Самарского аэрокосмического кластера ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» и Самарский государственный технический университет выступили инициаторами проекта «Многоуровневая система оперативного гиперспектрального мониторинга Земли». Проект получил высокую оценку Министерства экономического развития, инвестиций и торговли Самарской области, представителей Министерства экономического развития РФ и вошел в пятёрку лучших инновационных пилотных проектов Самарского аэрокосмического кластера.

Проект «Многоуровневая система оперативного гиперспектрального мониторинга Земли» ориентирован на создание уникальной региональной системы оперативного гиперспектрального мониторинга физико-химического состояния природных и антропогенных объектов на основе

использования комплексных данных, получаемых от гиперспектральных датчиков космического, авиационного и наземного базирования в интересах региональной государственной власти и местного самоуправления, а также предприятий различных форм собственности при решении широкого круга социально-экономических и научно-прикладных задач.

Акцент, сделанный на использование гиперспектральной аппаратуры для мониторинга поверхности Земли, обусловлен уникальными её возможностями и перспективностью мирового и отечественного рынка гиперспектральных данных дистанционного зондирования.

Уникальность гиперспектральной аппаратуры заключается в её возможности фиксировать излучение в сотнях очень узких спектральных диапазонах [1]. В процессе гиперспектральной съёмки формируется многомерное изображение, в котором два измерения характеризуют пространственное положение точек местности, а третье – их спектральные свойства (рис.1). Каждый элементарный участок изображения, называемый «пикселем», сопровождается спектральной характеристикой излучения, дальнейшее использование которой позволяет оценить физико-химическое состояние наблюдаемых объектов.

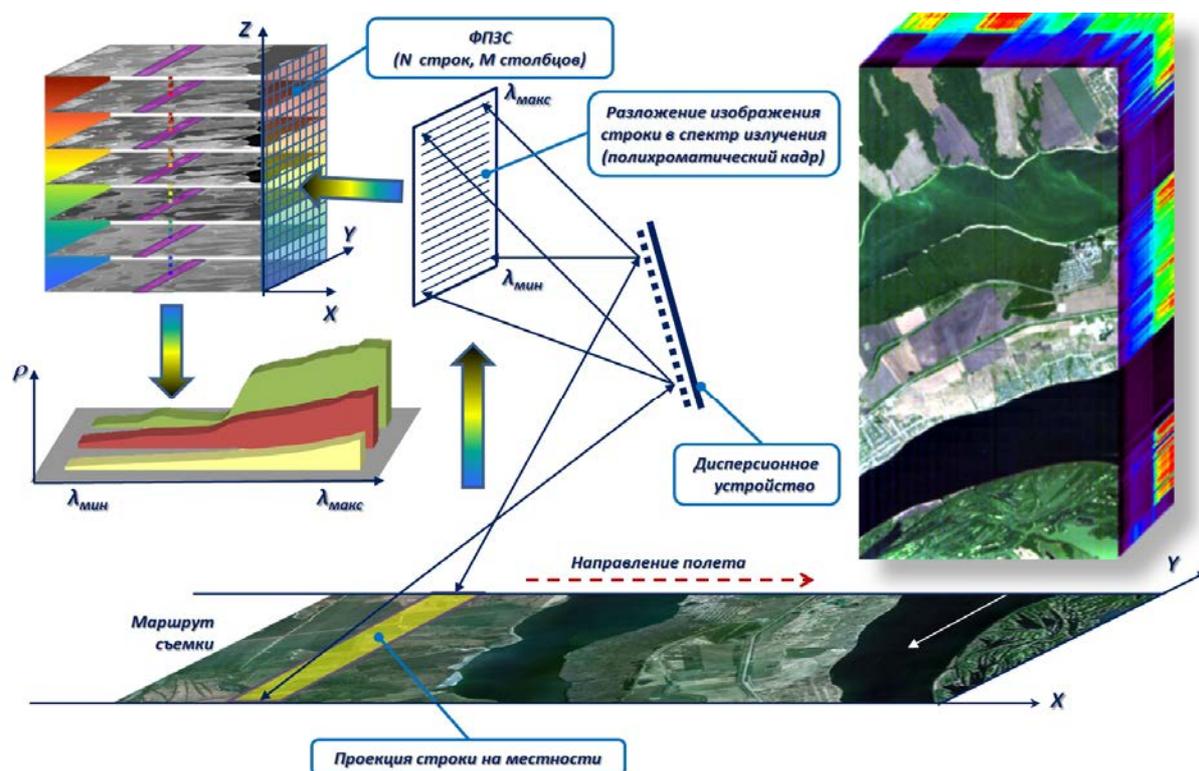


Рис.1. Принцип формирования гиперспектрального изображения

Например, на различных стадиях развития растительности форма её спектральной характеристики меняется. Знание этих характеристик и возможность их дистанционной регистрации позволяют перейти на качественно новые технологии дешифрирования и интерпретации получаемых изображений. Появляется возможность, например, не только отличать злаковые культуры от других сельскохозяйственных культур, но и проводить классификацию внутри класса, определять степень заражённости растений вредителями и т.д.

В настоящее время спрос на гиперспектральную информацию на мировом

рынке превышает предложение почти на 30%, а на российском рынке гиперспектральная информация практически отсутствует. В то же время оценка текущего состояния рынка гиперспектральных данных и его развития на ближайшую перспективу, представленная ведущими экспертами американского общества фотограмметрии и дистанционного зондирования Чарльзом Монделло и Джорджем Хепнером [2], демонстрирует устойчивую динамику роста рынка гиперспектральной информации на примере Северной Америки (табл. 1).

Таблица 1. Прогноз североамериканского рынка мультиспектральной и гиперспектральной информации (млн. долларов)

Тип данных	2009 год	2011 год	2014 год	2017 год	2020 год
Гиперспектральные	195,5	204,9	214,4	221,9	229,4
Мультиспектральные	218,0	233,0	248,0	258,5	269,0
Итого:	413,5	437,9	462,4	480,4	498,4

Проведённый экспертами опрос специалистов, принимающих непосредственное решение по приобретению данных ДЗЗ в различных государственных,

научных и коммерческих структурах США, позволяет предположить, что в 2015 году рейтинг потребности гиперспектральной информации будет уступать

лишь рейтингу мультиспектральных данных (рис. 2). К 2015 году использование гиперспектральной информации для решения различных задач по сравнению с 2010 годом увеличится на 20% (рис. 3). Это увеличение произойдет преимуще-

ственно за счёт уменьшения доли мультиспектральных данных и традиционных цветных изображений. В будущем прогнозируется замена мультиспектральных данных гиперспектральными.

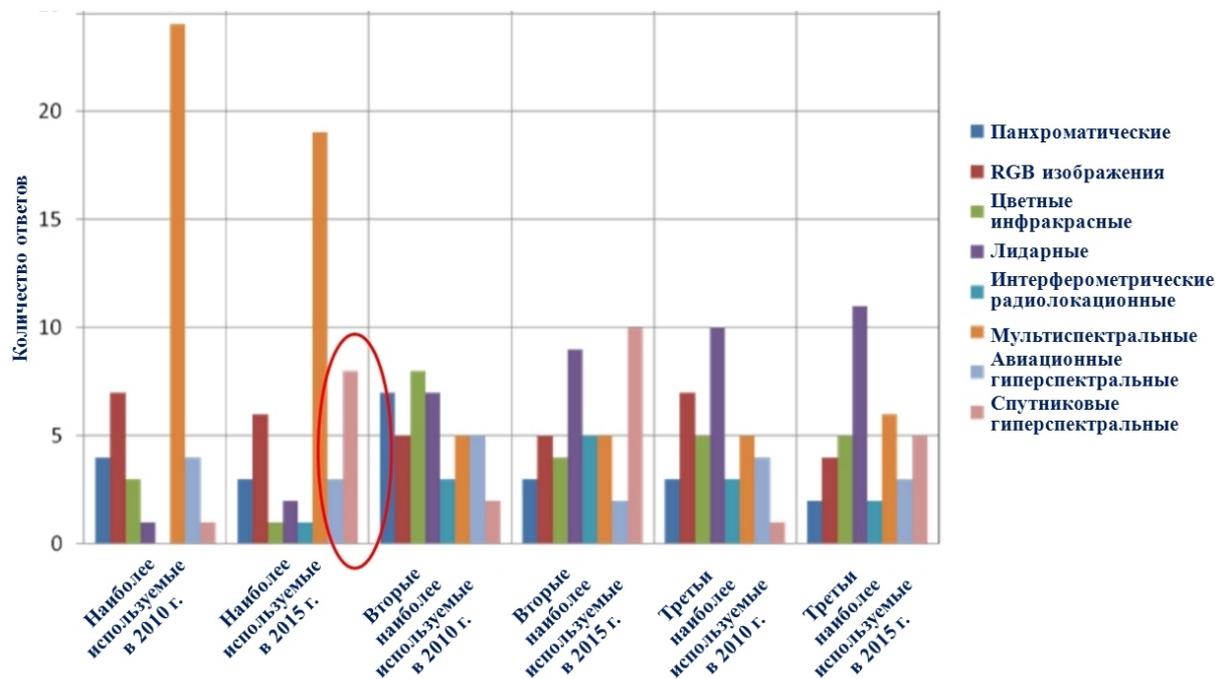


Рис. 2. Результаты экспертной оценки потребности в различных видах информации ДЗЗ

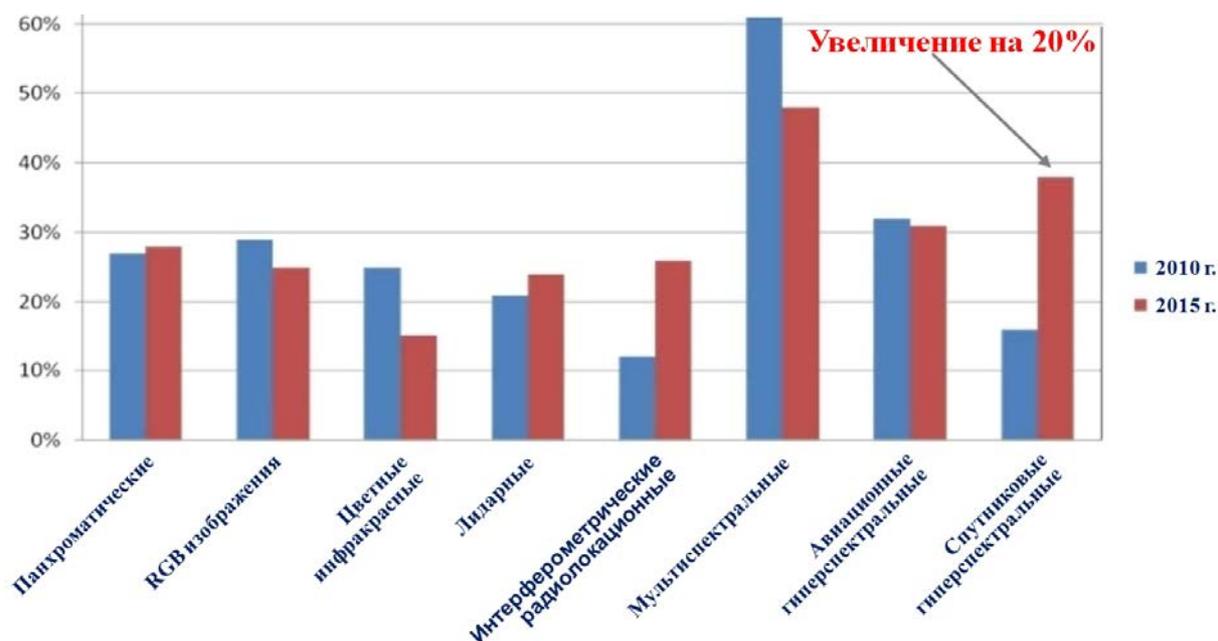


Рис. 3. Прогноз динамики потребности различного вида информации ДЗЗ

В настоящее время на рынке данных ДЗЗ гиперспектральная информация представлена только снимками, полученными аппаратурой Нурегіон космического аппарата «ЕО-1», технические возможности которого, сложность размещения и выполнения заказа не позволяют удовлетворить потребности потенциальных потребителей в этом виде информации. Учитывая, что обработка гиперспектральных снимков – будущее всех методов автоматизированного (автоматического) дешифрирования объектов и процессов, происходящих на земной поверхности, нельзя недооценивать значимость восполнения этого пробела. США, Канада, Австралия и страны Евросоюза частично компенсируют дефицит гиперспектральной информации авиационной съёмкой с использованием гиперспектральной аппаратуры (CASI, SASI, AVIRIS, HYDICE, HyMap, AISA и т.д.). Ввод в эксплуатацию КА «Ресурс-П» позволит восполнить существующий дефицит в гиперспектральной информации.

Создание многоуровневой системы мониторинга обусловлено существующими в настоящее время техническими и технологическими проблемами при разработке высокодетальной гиперспектральной аппаратуры, обеспечивающей съёмку с разрешением на уровне 5-10 метров, и отсутствием реального опыта применения гиперспектральной информации в отечественной практике ДЗЗ с использованием не только космических, но и авиационных и наземных средств наблюдения. Зарубежный опыт использования авиационной гиперспектральной съёмки совместно с наземными измерениями позволил создать эталонные библиотеки спектральных сигнатур наблюдаемых объектов и новые технологии обработки гиперспектральной информации, наличие которых обеспечивает их владельцам конкурентоспособность на мировом рынке. В России подобные базы спектральных сигнатур коммерческого назначения отсутствуют. Также отсутствуют и инструменты, обеспечивающие широкому кругу потреби-

лей решение тематических задач с использованием этого вида информации. Всё это обуславливает необходимость проведения соответствующих мероприятий, большая часть которых будет реализована в рамках предлагаемого проекта.

В предлагаемой системе реализуются три уровня гиперспектрального мониторинга: космический, авиационный и наземный (рис. 4).

Космический сегмент системы оперативного гиперспектрального мониторинга представлен космическим аппаратом «Ресурс-П» разработки ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», оснащённым тремя видами съёмочной аппаратуры, в том числе и гиперспектральной. Целевая аппаратура КА «Ресурс-П» позволяет проводить глобальный мониторинг большей части территории Самарской области и Поволжского региона за один маршрут. Синхронная съёмка территории различными видами установленной аппаратуры позволяет комплексировать получаемую информацию для улучшения их информационных свойств.

Авиационный сегмент представляет собой самолёт-лабораторию на базе доработанного ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» лёгкого многоцелевого самолёта или беспилотного летательного аппарата и предназначен (в режиме синхронной подспутниковой съёмки) для калибровки и валидации гиперспектральных данных, полученных с космического аппарата, а в режиме автономной съёмки – для получения оперативной гиперспектральной информации высокого пространственного разрешения. В состав наземного сегмента входят мобильные и стационарные физико-химические лаборатории СамГТУ для забора проб грунта и воды, их химического анализа и определения соответствия между химическим составом вещества и его спектральными отражательными характеристиками на снимках, необходимого для формирования эталонных библиотек спектральных сигнатур природных и антропогенных объектов.

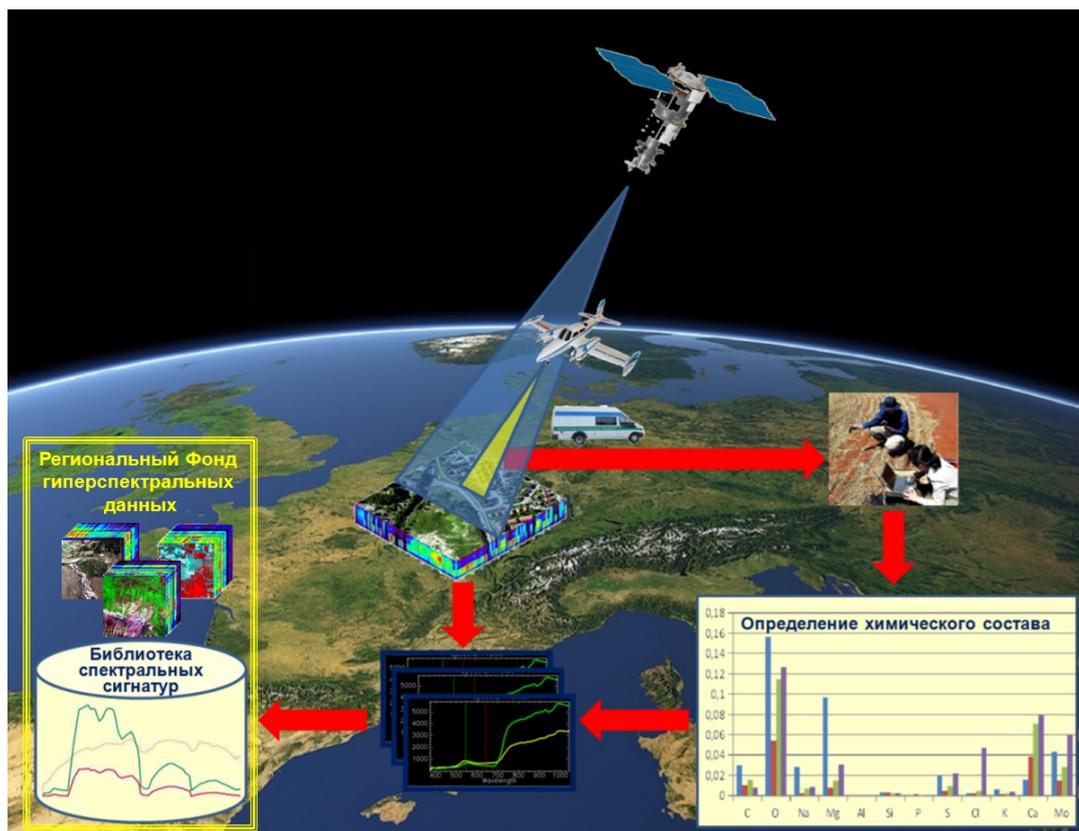


Рис. 4. Многоуровневая система гиперспектрального мониторинга

Комплексный проект «Многоуровневая система оперативного гиперспектрального мониторинга Земли» включает в себя 5 подпроектов:

- создание и испытание самолёт-лаборатории ДЗЗ, оснащённого гиперспектральной аппаратурой наблюдения и высокоточной навигационной аппаратурой, его сертификация и аттестация;

- создание регионального Фонда гиперспектральных данных ДЗЗ для хранения, обработки и представления потребителям информации, полученной с датчиков космического, авиационного и наземного базирования, с возможностью оперативного доступа через выделенный канал в сети Интернет (рис. 5);

- развитие системы наземных стационарных и мобильных аналитических физико-химических лабораторий в составе средств мобильного мониторинга;

- создание программных комплексов тематической обработки информации,

получаемой от гиперспектральной системы мониторинга;

- создание сети малых предприятий, предоставляющих услуги в области тематической обработки, маркетинга и распространения гиперспектральной информации и экологического мониторинга.

Система интегрирует мировые инновационные достижения в области создания гипер- и мультиспектральной аппаратуры наблюдения, космических и авиационных носителей аппаратуры указанного класса, высокоточных систем глобальной координатной привязки, аналитических средств физико-химического анализа состава веществ, информационных технологий тематической обработки гиперспектральных снимков и содержащейся в них информации.

Новизна предлагаемой концепции получения информации о состоянии природных и антропогенных объектов и фиксации их изменений состоит в следующем:

- определение ряда характеристик объекта в большом числе узких спектральных диапазонов;
- получение поверхностного распределения спектральных характеристик по площади объекта;
- формирование портрета объекта на основе интеграции пространственных данных и спектральных характеристик, позволяющего в последующем провести надёжную идентификацию объектов, определить их характеристики и текущее состояние;
- интеграция видеoinформации традиционной аппаратуры наблюдения с информационно-измерительным компонен-

том, роль которого выполняет гиперспектральная аппаратура.

В настоящее время проработаны варианты использования различных видов лёгкомоторных самолётов для создания самолёта-лаборатории (рис. 6). Наиболее предпочтительным представляется вариант с использованием летательного аппарата «Рысачок». Его характеристики позволяют использовать самолёт не только как средство оперативного мониторинга, но и для отработки приборов и элементов перспективных систем космического базирования в условиях, максимально приближенных к штатным.

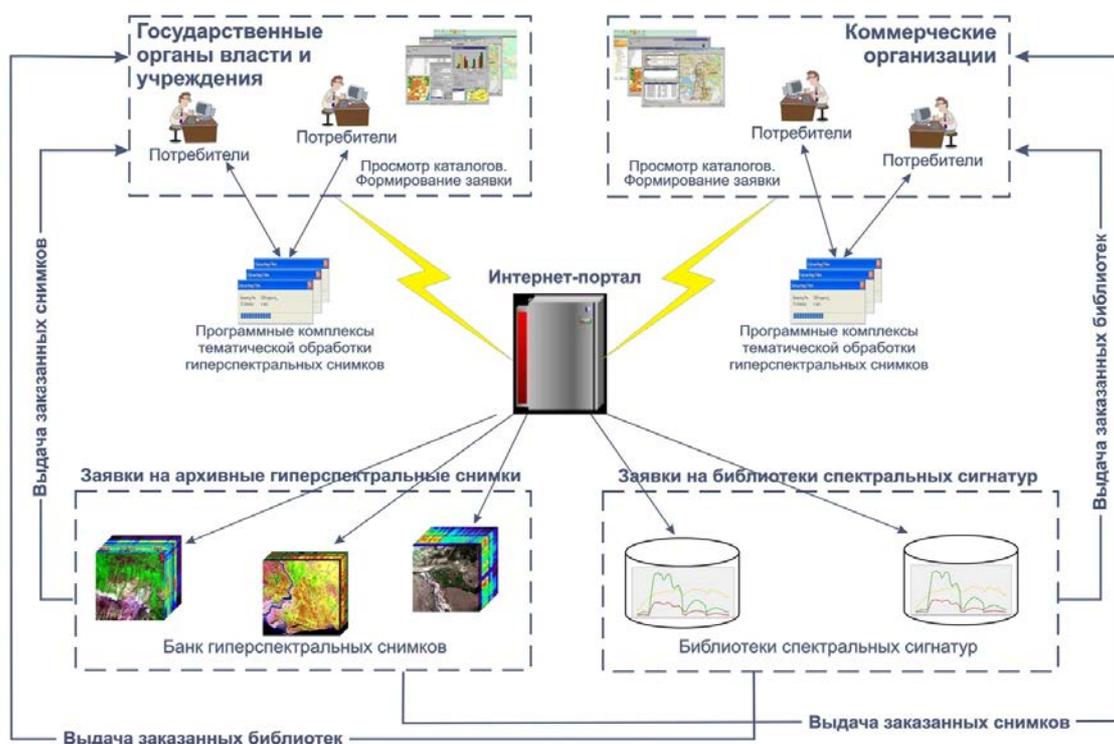


Рис. 5. Концепция построения регионального Фонда гиперспектральных данных



Рис. 6

Необходимость в источниках объективной информации для обеспечения экологической безопасности регионов Российской Федерации обуславливает актуальность создания технологий обработки гиперспектральных изображений для решения задач экологического мониторинга. Применение методов хемометрики (многомерного анализа) к информации, полученной от гиперспектральной аппаратуры, позволяет проводить дифференциацию накопительных сооружений нефтесодержащих отходов. Как правило, такие сооружения имеют сложную слоистую структуру. В донной части находится шлам, состоящий из механических примесей, древесины, металлолома, смешанных с тяжёлыми нефтепродуктами и водой. Средний слой преимущественно состоит из водной эмульсии со значительным содержанием взвешенных загрязнителей. Верхний слой представляет собой нефтепродукт, неравномерно распределённый по поверхности. Такая структура обусловлена непрерывным протеканием различных физико-химических процессов в накопительном сооружении. На рис. 7 представлены синтезированное по трём спектральным каналам цветное изображение и результат классификации таких накопителей. На снимке накопители представляются однородными. Однако даже в отсутствие априорной информации о наблюдаемом объекте обработка гиперспектрального изображения методами классификации без обучения позволяет выделить их неоднородность, определить различия структуры как между отдельными накопителями, так и внутри одного накопителя. Таким образом, появляется возможность различать участки накопителей с различными толщинами слоёв, участки выхода донных и средних слоёв на поверхность, а при наличии библиотек спектральных сигнатур нефтесодержащих веществ оценивать степень их концентрации по гиперспектральным снимкам.

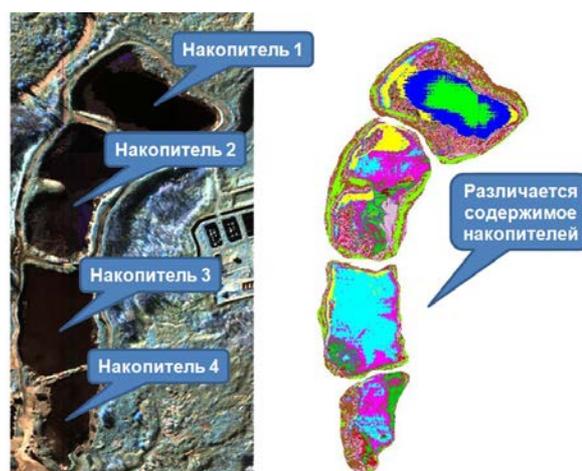


Рис. 7. Выявление границ областей различной концентрации загрязнителей

Другой важной задачей экологического мониторинга является контроль состояния водных ресурсов, который можно осуществить с использованием данных гиперспектральной съёмки. Водные объекты характеризуются высокой поглощательной способностью, поэтому их спектральная яркость падает с возрастанием длины волны солнечного излучения. В ближнем инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра солнечный свет практически полностью поглощается тонкой плёнкой воды. Поэтому на снимках, сделанных в этом диапазоне, можно дешифровать только границы и поверхность водных объектов. Информация о водной толще и находящихся в ней объектах может быть получена в видимом диапазоне спектра от 0,4 до 0,7 мкм. На рис.8 представлены спектральные характеристики водных объектов, полученные в результате обработки гиперспектральных снимков.

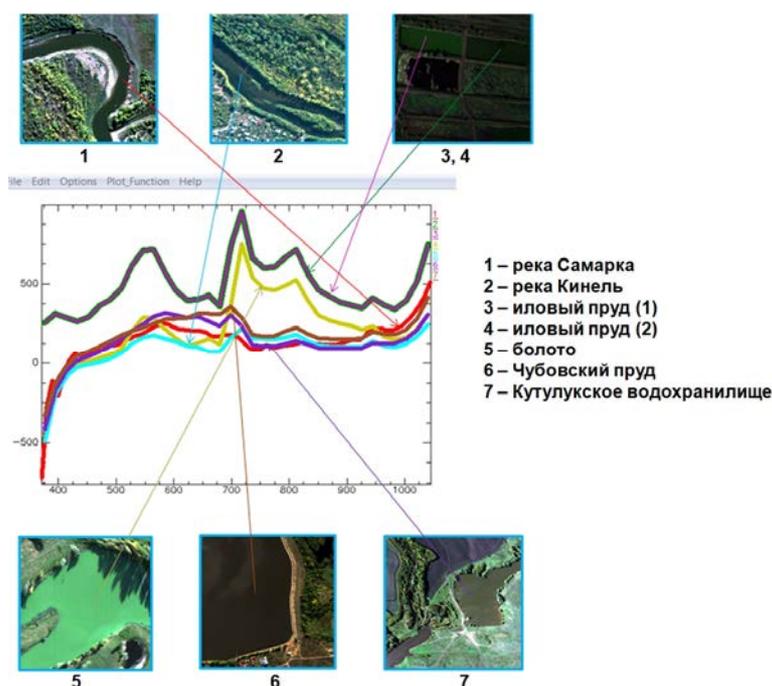


Рис. 8. Спектральные характеристики водных объектов

Для всех этих объектов спектральная кривая отражения воды постепенно поднимается в направлении от синего к границе красного диапазона электромагнитного спектра. Объясняется это сильной замутнённостью водных объектов. Солнечное излучение не только отражается поверхностью воды, но и проникает на глубину, где частично поглощается молекулами воды и растворёнными органическими веществами. При наличии в воде минеральных взвешенных частиц типичный вид кривой спектральной яркости изменяется: возрастает яркость в жёлто-зелёном участке спектра. Содержащийся в воде фитопланктон вызывает понижение яркости в синей (около 400 нм) и красной (680 нм) областях спектра. Цветение водоёмов характеризуется полосой поглощения (620 нм) и полосой свечения фикоцианина (650 нм). Гиперспектральная информация позволяет выявить эти и другие особенности и оценить биологическое и химическое состояние водных ресурсов.

Конечным информационным продуктом разрабатываемой системы являются: гиперспектральные снимки земной поверхности, база данных спектральных сигнатур природных и антропогенных

объектов, технологии обработки и программные комплексы тематической обработки гиперспектральных данных. Реализация системы оперативного гиперспектрального мониторинга позволит выпускать продукцию в виде разнообразных тематических карт и геоинформационных систем (ГИС) с сигнатурами физико-химического и экологического состава объектов наблюдения, к которым относятся:

- качество воды в водных бассейнах и реках;
- состояние снегового покрова и прогнозирование паводков;
- классификация и степень засоленности почв;
- состояние растительного покрова, сельхозугодий и лесов;
- наличие и состав техногенных и природных, химических и биологических выбросов в атмосферу, в водные бассейны и реки, прогнозирование развития их последствий;
- наличие, состав и размеры зон и территорий, засоренных шламами угледородных и химических продуктов, другими вредными веществами;

– наличие, состав и размеры свалок мусора;

– наличие утечек в магистральных трубопроводах углеводородов, аммиака и других агрессивных химических продуктов;

– экологическое состояние предприятий газовой, нефтехимической и химической отраслей, тепло- и электрогенерирующих предприятий;

– состояние, состав пород и площади открытых разработок полезных ископаемых, геологоразведка и поиск полезных ископаемых;

– наличие и состояние археологических объектов неглубокого залегания (захоронений, городищ и т.п.), мониторинг скотомогильников;

– лесные и степные пожары с прогнозированием территорий и зон их распространения;

– состояние прибрежных зон и т.д.

Основными потребителями многоуровневой системы оперативного гиперспектрального мониторинга Земли являются региональные органы государственной власти, органы местного самоуправления, экологические и природоохранные организации, предприятия нефтяной и

химической промышленности, агропромышленные комплексы и т.д.

В долгосрочной перспективе разрабатываемая система глобального сбора, хранения и коммерческого предоставления потребителям тематически обработанной гиперспектральной информации для получения данных о физико-химическом и экологическом состоянии объектов интереса на земле и ближайшем подпочвенном слое может быть распространена на другие регионы Российской Федерации.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ «ОФИ_М» №13-01-12014.

Библиографический список

1. Shaw. Spectral Imaging for Remote Sensing / Shaw, Gary. Lincoln Laboratory Journal, 2003. Volume 14, Number 1, pp. 3-28.

2. Mondello, C. Estimation of the Future US Market for Hyper X Data and Products / C. Mondello, G.F. Hepner. – URL: <http://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2009/10/Hyper-X-2010-v.1-6.pdf>.

MULTILEVEL SYSTEM OF EARTH OPERATIONAL HYPERSPECTRAL MONITORING

© 2013 G. P. Anshakov, A. S. Egorov, A. V. Raschupkin, V. K. Skirmunt

Space Rocket Center “TsSKB-Progress”, Samara

The paper presents an innovative project of Samara Aerospace Cluster “Multilevel system of Earth operational hyperspectral monitoring” the goals and tasks of the project are outlined.

Earth remote sensing, hyperspectral imaging, multilevel monitoring system, ecological monitoring

Информация об авторах

Аншаков Геннадий Петрович, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, профессор, заместитель генерального конструктора, ФГУП «ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”», г. Самара. E-mail: csdb@samspace.ru. Область научных интересов: дистанцион-

ное зондирование Земли, методы обработки информации дистанционного зондирования Земли.

Егоров Александр Святославович, инженер-конструктор 3 категории, ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»», г. Самара. E-mail: csdb@samspace.ru. Область научных интересов: дистанционное зондирование Земли, методы обработки информации дистанционного зондирования Земли.

Ращупкин Анатолий Владимирович, начальник отдела, ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»», г. Самара. E-mail: cscdb@samspace.ru. Область научных интересов: дистанционное зондирование Земли, методы обработки информации дистанционного зондирования Земли.

Скирмунт Валерий Константинович, начальник центра информационных технологий ДЗЗ, ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»», г. Самара. E-mail: cscdb@samspace.ru. Область научных интересов: обработка информации дистанционного зондирования Земли.

Anshakov Gennady Petrovich, Doctor of Engineering, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Professor, Deputy General Designer of Space Rocket Center “TsSKB-Progress”, Samara, Russian Federation. E-mail: csdb@samspace.ru. Area of Research: Earth Remote Sensing, Methods of Processing Remote Sensing Information.

Egorov Alexander Svyatoslavovich, Design Engineer, Space Rocket Center “TsSKB-Progress”. E-mail: csdb@samspace.ru. Area of Research: Earth Remote Sensing, Methods of Processing Remote Sensing Information.

Raschupkin Anatoliy Vladimirovich, Head of Department, Space Rocket Center “TsSKB-Progress”. E-mail: csdb@samspace.ru. Area of Research: Earth Remote Sensing, Methods of Processing Remote Sensing Information.

Skirmunt Valeriy Konstantinovich, IT-center chief, Space Rocket Center “TsSKB-Progress”. E-mail: csdb@samspace.ru. Area of research: Earth Remote Sensing, Methods of Processing Remote Sensing Information.