

Среди основных тенденций развития технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) можно отметить стремление ведущих мировых операторов космических аппаратов все более совершенствовать их техническое оснащение и, соответственно, возможности.

На орбите появились оптико-электронные системы сверхвысокого разрешения нового поколения. Если сравнительно недавно пространственное разрешение космических снимков в 1 м казалось чем-то невероятным, то в настоящее время на орбите работает аппарат GeoEye-1, позволяющий получать изображения с разрешением 0,41 м.

Однако не все характеристики объектов можно изучать по панхроматическим снимкам, даже имеющим высокое разрешение. Все большее внимание привлекают мультиспектральные данные, разрешение которых, как правило, ниже, но которые обладают рядом других неоспоримых преимуществ. Мультиспектральные снимки позволяют исследовать многие характеристики объектов на земной поверхности (или даже скрытые от глаз), которые не проявляются в панхроматическом режиме. Эти особенности находят применение в сельском и лесном хозяйстве, в геологии, при поиске полезных ископаемых и т. д. Например, можно различать здоровые посевы сельскохозяйственных культур от больных, хвойные леса от лиственных, скалистые породы по содержанию металла или глины.

Здесь же следует отметить, что особенно перспективно совместное использование панхроматических снимков сверхвысокого и высокого пространственного разрешения и мультиспектральных изображений. Примером этому может служить новый продукт компании «Совзонд» ОРТОРЕГИОН + МОНИТОРИНГ.

Совершенствование программного обеспечения для обработки, дешифрирования и анализа данных ДЗЗ (такого, например, как программный комплекс ENVI), также значительно повышает возможность работы с данными мультиспектральных съемок, делает этот вид съемок еще более привлекательным и востребованным.

Эффективное решение целого ряда актуальных задач методами дистанционного зондирования Земли с использованием мультиспектральной съемки дало тол-

чок дальнейшему развитию этого направления. На орбите появляются отдельные спутники и их созвездия, снабженные оптико-электронной аппаратурой высокого пространственного разрешения, позволяющей проводить съемку не только в традиционных четырех зонах спектра.

Так, например, мультиспектральная камера каждого спутника группировки RapidEye ведет съемку в пяти спектральных каналах, причем впервые в мировой практике коммерческих съемок используется канал «крайний красный» (red-edge), который оптимально подходит для наблюдения и анализа состояния растительного покрова (оценка содержания хлорофилла, протеина и азота).

Спутник WorldView-2, планируемый к запуску 6 октября 2009 г., помимо четырех основных спектральных каналов, будет использовать четыре дополнительных – «крайний красный», «фиолетовый», «желтый» и «ближний инфракрасный-2» (red-edge, coastal, yellow и near-infrared-2). Это позволит улучшить дешифрирование и анализ снимков, значительно увеличит возможности идентификации и классификации объектов. Так, использование диапазонов «желтый» и «крайний красный» особенно полезно будет в сельском хозяйстве, а основным назначением диапазона «фиолетовый» является батиметрические исследования и картографирование морского дна.

Учитывая уникальные возможности мультиспектральной съемки и большой интерес к ней, мы решили посвятить номер журнала, который Вы держите в руках, именно этой теме. В дальнейших выпусках журнала «ГЕОМАТИКА» эта тема получит развитие, в частности, будут опубликованы статьи, показывающие возможности использования мультиспектральных данных при реализации проектов в различных сферах деятельности.



Содержание

Новости	4
---------------	---

Актуальное интервью

Интервью с Андреа Берсан, региональным директором по продажам (EMEA/Россия) компании DigitalGlobe (США)	11
---	----

Данные дистанционного зондирования

Б.А. Дворкин Группировка спутников ДЗЗ RapidEye: уникальные возможности для решения задач мониторинга	14
Компания «Совзонд» провела семинары и вебинар, посвященные группировке спутников RapidEye	22

Обработка данных ДЗЗ

О.Н. Колесникова, А.С. Черепанов Возможности ПК ENVI для обработки мультиспектральных и гиперспектральных данных	24
А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы	28
И.А. Ембаев, А.В. Абросимов Инвентаризация охотничьих угодий по результатам классификации мультиспектральных изображений	33
В.А. Панарин, Р.В. Панарин Применение космических снимков в муниципальном управлении урбанизированных территорий для задач территориального планирования	40
М.Ю. Жилев Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке	56

Использование данных ДЗЗ

А.С. Черепанов Технология выявления медленных изменений в лесах по мультиспектральным космическим снимкам (на примере вымокания лесов)	66
И.В. Кондаков, Е.Ю. Безрукова Принципы создания центров визуализации данных дистанционного зондирования Земли с использованием технологий трехмерного моделирования	76
А.Л. Чуркин Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» со спутником «Метеор-М»	79
Д.М. Трофимов, Ю.В. Денисов Возможности космических методов при прогнозировании и оценке ловушек углеводородов в нефтегазоносных районах Восточной Сибири	86

Наши конференции

Итоги III Международной конференции «Космическая съемка – на пике высоких технологий»	93
---	----

Справочный раздел

Всемирная орбитальная группировка космических аппаратов ДЗЗ	100
Сокращенные наименования космических аппаратов ДЗЗ, их разработчиков и операторов	104

Content

News.....4

Hot interview

Interview with Andrea Bersan
(Director, Commercial Sales EMEA/Russia, DigitalGlobe, USA)11

Remote sensing data

B. Dvorkin
Constellation of remote sensing satellites RapidEye: unique opportunities to address monitoring challenges14
Sovzond Company held several workshops and webinar on RapidEye satellites22

Remote sensing data processing

O. Kolesnikova, A. Cherepanov
New ENVI software opportunities for processing multispectral and hyperspectral data24
A. Cherepanov, E. Druzhinina
Spectral characteristics of vegetation and vegetation indexes28
I. Embaev, A. Abrosimov
Inventory of hunting areas by classification of multispectral images33
V. Panarin, R. Panarin
Space imagery application in municipal management of urban areas
for the purpose of regional planning40
M. Zhilenev
Overview of application multispectral remote sensing data and combinations of data for digital processing56

Application of remote sensing data

A. Cherepanov
Forest slow changes detection technology through multispectral remote sensing data
(by the example of forest damping-off)66
I. Kondakov, E. Bezrukova
Principles for creation centers of remote sensing data visualization
using 3-D technology76
A. Churkin
Hydro-meteorological and oceanographic space complex «Meteor-3M»
with «Meteor-M» satellite79
D. Trofimov, U. Denisov
Space-based methods abilities for prospecting and valuation hydrocarbon traps
in the oil-and-gas bearing areas of Western Siberia86

Our conferences

Results of the III International conference «Remote sensing – the Synergy of High Technologies»93

References

Worldwide orbital constellation of remote sensing satellites100
Abbreviated names of remote sensing satellites, their developers and operators104



**Учредитель – Компания
«Совзонд»**

**Издатель – Информационное
агентство «ГРОМ»**

Редакционная коллегия

М.А. Болсуновский,
А.М. Ботрякова,
В.В. Groшев,
Б.А. Дворкин (главный редактор),
С.А. Дудкин,
О.Н. Колесникова,
С.В. Любимцева,
М.С. Романчикова,
М.А. Элердова

Ответственный за выпуск

А.М. Ботрякова

Дизайн макета и обложки

И.А. Петрович

Информационно-рекламная служба

А.М. Ботрякова
А.Е. Цейрова

Почтовый адрес:

115446, г. Москва,
ул. Шипиловская, 28а,
компания «Совзонд»

Тел.: +7 (495) 988-7511,
+7 (495) 988-7522,
+7 (495) 514-8339

Факс: +7 (495) 988-7533,
+7 (495) 623-3013

E-mail: geomatics@sovzond.ru

Интернет: www.geomatica.ru

Перепечатка материалов без
разрешения редакции запрещается.

Тираж 2000 экз.
Цена свободная

Номер подписан в печать
27.08.2009 г.

Предпечатная подготовка
Информационное агентство «ГРОМ»

Печать
Издательство «Проспект»

Свидетельство о регистрации
в Росвязькомнадзор
ПИ №ФС77-34855 от 13.01.2009 г.

ГРУППИРОВКА СПУТНИКОВ RAPIDEYE ПРОДОЛЖАЕТ СЪЕМКУ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

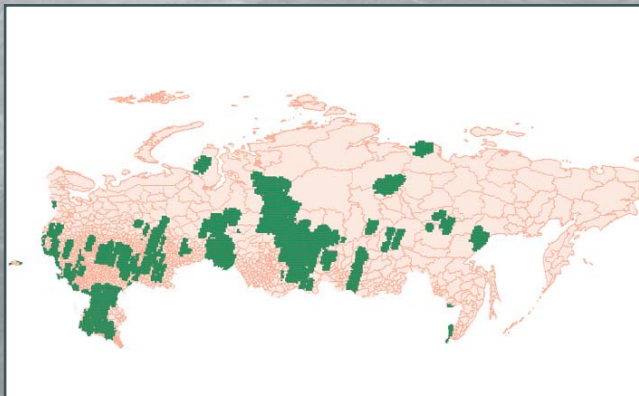


Схема покрытия территории России космическими снимками, полученными с помощью группировки спутников RapidEye за период с 01.02.2009 г. по 01.06.2009 г.

Космическая съемка территории России группировкой спутников RapidEye (Германия) выполняется с 1 февраля 2009 г. согласно базовой программе съемки, сформированной компанией «Совзонд» на основании запросов от заказчиков.

На территорию Иркутской области и Республики Бурятия, Свердловской и Омской областей, Краснодарского и Ставропольского краев, Ростовской и Волгоградской областей, Красноярского края, Калининградской и Костромской областей, Республики Саха (Яку-

тия) и других регионов получены космические снимки, имеющие небольшое облачное покрытие.

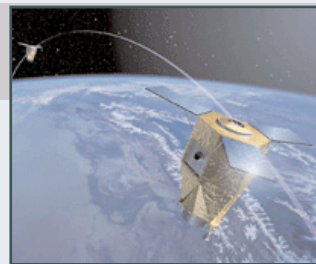
В ходе реализации проекта по мониторингу территории Прибайкальского национального парка в режиме ежедневной съемки были получены данные ДЗЗ с группировки спутников RapidEye. Космическая съемка выполнялась в период с 31 мая по 11 июня 2009 г. За 12 дней было получено 8 космических снимков в 5 спектральных каналах, что подтверждает высокую производительность и уникальные возможности группировки спутников ДЗЗ RapidEye.



ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДГОТОВКА К ЗАПУСКУ СПУТНИКА ДЗЗ PLEIADES-1

Во Франции проходят технические испытания космического аппарата ДЗЗ Pleiades-1. Начиная с марта 2009 г., компания Intespace (Франция) проводит тестирование систем, моделируя условия запуска и полета в космосе. Первая серия тестов имитиро-

вала запуск ракеты-носителя «Союз», с помощью которой весной 2010 г. будет запущен спутник. Замерялся уровень вибрации аппарата при разных режимах ускорения. Вторая серия испытаний в круглосуточном режиме проверяла способность противостояния



тепловым и электромагнитным воздействиям.

Главная съемочная система Pleiades-1 была собрана в компании Thales Alenia Space и смонтирована на спутниковую платформу в специальной лаборатории компании Astrium в Тулузе (Франция) в сентябре 2008 г. В течение последующих шести месяцев все системы космического аппарата, в том числе и съемочная камера, подвергались техническим испытаниям, которые успешно завершились.

Pleiades – новое поколение космических аппаратов ДЗЗ сверхвысокого пространственного разрешения (50 см) с широкой полосой съемки (20 км). Программа двойного назначения, разработка

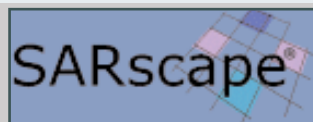
которой началась в 2001 г., включает в себя запуск двух спутников весом 1000 кг каждый, синхронизированные на одной орбите таким образом, чтобы иметь возможность обеспечить ежедневную съемку одного и того участка земной поверхности.

Космические аппараты Pleiades-1 и Pleiades-2 оборудованные современными системами, использующими технологии нового поколения, такими как опико-волоконные системы гиростабилизации, будут обладать беспрецедентной маневренностью. Они смогут проводить съемку 800-километровой полосы в любом месте земного шара быст-

рее, чем за 25 секунд с точностью геопозиционирования меньше 3 м, без использования наземных опорных точек. Спутники способны снимать более 1 млн км² в день в панхроматическом и мультиспектральном режимах. Компания SpotImage намерена обеспечить высокую оперативность заказа съемки и получения необходимых данных. Планирование съемки будет осуществляться трижды в день, поэтому заказчик сможет получить необходимые снимки уже через несколько часов после запроса.

Запуск спутника Pleiades-1 запланирован на весну 2010 г., а Pleiades-2 – в 2011 г.

ВЫХОД НОВОЙ ВЕРСИИ SARSCAPE – ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ



Компания «Совзонд» сообщает о выходе новой версии программного модуля SARscape, предназначенного для обработки радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли. SARscape является дополнительным модулем программного комплекса ENVI (ITT VIS, США).

Основное внимание при подготовке новой версии 4.1.001.P04 модуля SARscape было уделено расширению спектра поддерживаемых съемочных космических систем, а также различных типов и форматов данных, из числа представленных на рынке. Последняя версия SARscape позволяет выполнять обработку всех типов данных, доступных для заказа

пользователям, и обеспечивает наиболее полную поддержку данных с существующих радиолокационных сенсоров в различных форматах среди программных продуктов такого же класса. SARscape обеспечивает поддержку данных с аппаратов: TerraSAR-X, COSMO-SkyMed, RADARSAT-1/2, ALOS-PALSAR, ENVISAT, ERS и др. С полным перечнем поддерживаемых типов и форматов данных можно ознакомиться по ссылке: http://envisoft.ru/Download/sensors_in_sarscape.pdf.

Также в появившейся версии SARscape расширены возможности модуля Persistent Scatterers, предназначенного для выявления вертикальных смещений объектов с

высокой точностью. Если до недавнего времени была возможна обработка только данных ERS и ENVISAT (разрешение 25–30 м), то теперь также поддерживаются сенсоры ALOS/PALSAR и RADARSAT-1 (разрешение 7-8 м), данные TerraSAR-X, COSMO-SkyMed и RADARSAT-2 (разрешение 1–3 м), что позволяет существенно увеличить точность измерений.

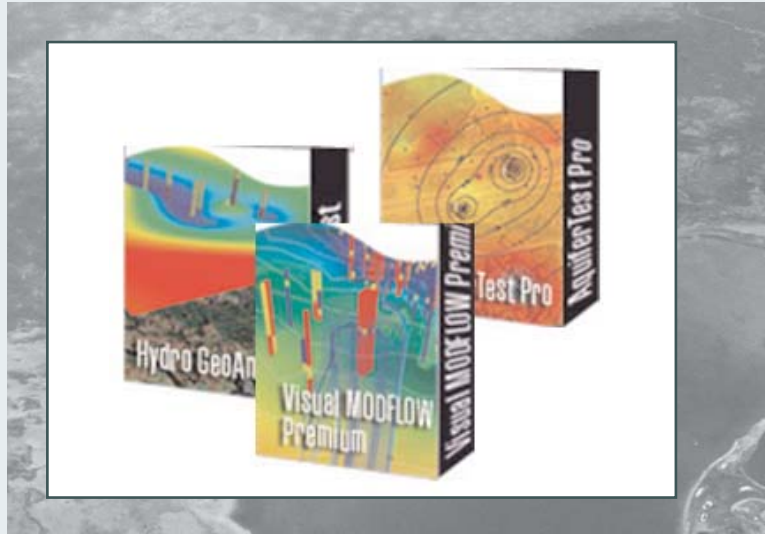
По вопросам обновления или приобретения программного модуля SARscape можно обращаться в компанию «Совзонд», которая является его эксклюзивным дистрибьютором на территории России и стран СНГ, по тел: +7 (495) 514-83-39, 988-75-11 или e-mail: software@sovzond.ru.

КОМПАНИЯ «СОВЗОНД» СТАЛА ОФИЦИАЛЬНЫМ ДИСТРИБЬЮТОРОМ КОМПАНИИ SCHLUMBERGER WATER SERVICES (КАНАДА)

В июле 2009 г. компания «Совзонд» подписала дистрибьюторское соглашение с компанией Schlumberger Water Services (Waterloo Hydrogeologic Division), в соответствии с которым получила право на распространение программных средств Schlumberger Water Services на территории России.

Компания Schlumberger – одна из крупнейших нефтесервисных компаний в мире, предоставляющая полный спектр технологий и услуг для развития и поддержки инфраструктуры нефтяной и газовой промышленности. На российском рынке компания Schlumberger присутствует с 1929 г. и в настоящее время представлена во всех нефтедобывающих регионах страны.

Schlumberger Water Services – одно из подразделений Schlumberger, специализирующееся на решении задач управления и эксплуатации водных ресурсов. Программное обеспечение, поставляемое Schlumberger Water Services, используется при моде-



лировании движения подземных и поверхностных вод, управлении эксплуатацией подземных скважин, оценке качества подземных вод, построении карт и т. д. Программное обеспечение поставляется в виде отдельных модулей (Visual MODFLOW, Hydro GeoAnalyst, AquaChem, Aquifer Test Pro, GW Contour и т. д.), предназ-

наченных для решения узкоспециализированных задач.

Более подробную информацию о программном обеспечении компании Schlumberger Water Services и условиях его поставки можно получить, обратившись в компанию «Совзонд» по тел: +7 (495) 514-83-39, 988-75-11 или e-mail: software@sovzond.ru.

КОМПАНИЯ «СОВЗОНД» ПРИНЯЛА АКТИВНОЕ УЧАСТИЕ В КОНФЕРЕНЦИИ «ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ»

В Екатеринбурге 3–4 июня 2009 г. прошла региональная научно-техническая конференция «Данные дистанционного зондирования Земли для решения практических задач развития территорий». Орга-

низаторами конференции выступили: Минэкономразвития России, Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии, ФГУП «Уралгеоинформ» при содействии компании «Совзонд».

Целью проведения конференции являлось рассмотрение практических результатов, обмен опытом применения данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса для поддержки управленчес-

ких решений на территории Уральского федерального округа по направлениям:

- мониторинг территорий и объектов управления (городских территорий; сельскохозяйственных угодий, лесного хозяйства, окружающей среды и потенциально опасных объектов; развития нефтегазовой отрасли);
- ведение градостроительного, земельного, лесного, водного кадастра;
- корректировка генеральных планов, схем территориального планирования;
- цифровое 3D-моделирование и визуализация пространственной информации;
- фотограмметрическая обработка космических снимков;
- тематические (отраслевые) геопорталы для решения задач эффективного управления территорией.

С докладами на конференции выступили руководители и специалисты ФГУП «Уралгеоинформ» (Екатеринбург), НАЦРН им. В.И. Шпилемана (Тюмень), Западно-Сибирского филиала ФГУП «Рослесинфорг» и др.

Компания «Совзонд» в статусе партнера приняла активное участие в конференции. С докладами выступили специалисты компании. Так, О.Н. Колесникова ознакомила участников конференции с современны-



ми космическими данными ДЗЗ и программными комплексами для их анализа и обработки, а М.В. Лютивинская – с технологиями обработки данных ДЗЗ в комплексных проектах компании «Совзонд».

На конференции проходила выставка современных технологий и программных средств. На стенде компании «Совзонд» была представлена информация о новой группировке из пяти мини-спутников высокого разрешения RapidEye (Германия), предназначенной для ведения ежесуточного мониторинга поверхности и обладающей уникальными возможностями для наблюдения за

растительным покровом; об аппаратах сверхвысокого разрешения WorldView-1 и GeoEye-1 (США), имеющих колоссальную производительность (в том числе в режиме стереосъемки), беспрецедентную точность и пространственное разрешение – до 40 см. Специалисты компании «Совзонд» также продемонстрировали возможности программных комплексов ENVI (ITT VIS, США), INPHO (INPHO, Германия) для обработки данных ДЗЗ и MicroStation (Bentley Systems, США) для создания ГИС-проектов и геопорталов. Была продемонстрирована работа тематических геопорталов.

КОМПАНИИ ITT VIS И ESRI, INC. ОБЪЯВИЛИ О СТРАТЕГИЧЕСКОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ ПО ИНТЕГРАЦИИ СВОИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Компании ITT VIS (США) и ESRI, Inc. (США) объявили о начале стратегического сотрудничества, целью которого станет интеграция предоставляемых компаниями технологий.

ITT VIS – производитель программных средств, предназначенных для обработки и анализа изображений, визуализации данных. Программный комплекс ENVI, раз-

работанный компанией ITT VIS, занимает одну из лидирующих позиций в области обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).



Компания ESRI – мировой лидер в сфере создания и продвижения геоинформационных систем (ГИС). Платформа ArcGIS, поставляемая ESRI, включает широкий спектр приложений для решения различных задач управления, хранения и анализа геопространственных данных.

Первым и значительным шагом в развитии сотрудничества ITT VIS и ESRI станет появление нового программного модуля **ENVI EX**, разработанного компанией ITT VIS. Благодаря ENVI EX, пользователи ArcGIS получат возможность встраивать процедуры обработки изображений в технологические цепочки создания, поддержки и использования ГИС.

ENVI EX во многом сохранит технологии и принципы работы, которые были заложены в программном комплексе ENVI, а также в дополнительном модуле ENVI FX, хорошо зарекомендовавших себя

среди специалистов по обработке данных ДЗЗ за годы существования ПК ENVI. Точные и научно обоснованные процедуры обработки данных теперь станут доступными ГИС-специалистам. Пользователи при этом смогут оценить простой интерфейс ENVI EX, а также удобный мастер подсказок.

В ENVI EX будут реализованы основные функции, необходимые для решения стандартных задач ГИС-проектов: географическая привязка изображений, выявление объектов интереса на изображениях, покрывающих большие территории, выявление изменений в интересующей области (путем сравнения различных изображений), классификация почвенно-растительного покрова, выявление аномалий в заданной области и т. д.

Пользователи смогут легко осуществлять обмен данными и файлами между ArcGIS и ENVI EX, «перетаскивая» данные из одного окна в другое. При этом будут сохраняться стили, векторные данные, информационные слои.

Дж. Д. Ангермонд (J. Dangermond), президент ESRI, Inc., так прокомментировал создание программного модуля ENVI EX: «То, что удалось достигнуть ITT в ENVI EX – это поистине прорыв для ГИС-сообщества. ITT использовала свой многолетний опыт и дополнила платформу ArcGIS высокоэффективными инструментами и алгоритмами, которые позволяют ГИС-специалистам легко извлекать важную информацию из изображений и использовать ее для напол-

нения геоинформационных баз данных».

Помимо ENVI EX, идея интеграции технологий ITT VIS и ESRI получит развитие и в уже существующих разработках ITT VIS. В новую версию ENVI 4.7, выход которой ожидается в августе 2009 г., будет включена поддержка слоев и параметров отображения ArcGIS; появится возможность непосредственного доступа к ArcGIS Desktop с помощью инструментария ENVI для создания и публикации карт.

Компании ITT VIS и ESRI, Inc. объявляют о действии специального предложения для пользователей программного комплекса ENVI. Пользователи, оплатившие техническую поддержку ENVI, смогут получить бесплатную **лицензию ArcView на 1 рабочее место сроком действия 1 год**, с возможностью перехода на постоянную лицензию по истечении года при оплате суммы технической поддержки (данное предложение действует с момента выхода версии ENVI 4.7 до конца 2009 г.).

Кроме того, пользователи смогут воспользоваться следующими дополнительными возможностями:

- бесплатное on-line-обучение по ArcGIS;
- скидка 5% на обучение в ESRI, проходящее в США;
- скидка 10% на приобретение программных средств компании ESRI.

Компания «Совзонд» является эксклюзивным дистрибьютором программных средств компании ITT VIS на территории России и стран СНГ.

SOVZOND



СОВЗОНД

КОНСАЛТИНГОВЫЙ ЦЕНТР КОМПАНИИ “СОВЗОНД”



Компанией "Совзонд" был создан Консалтинговый центр в 2006 году.

Основной отличительной особенностью предлагаемых семинаров является их ориентация на решение практических задач. При выполнении упражнений используются данные со спутников WorldView-1, QuickBird, Ikonos, OrbView-3, Cartosat-1, Formosat-2, Resourcesat, Alos, Spot, Landsat, Radarsat, Envisat и др. При формировании очередного семинара обязательно учитываются пожелания обучаемых и особенности реализации их реальных проектов.

В настоящее время прошли обучение более 200 специалистов.

Приглашаем на курсы обучения по темам:

- «Использование программного комплекса ENVI для обработки и анализа космических данных дистанционного зондирования Земли»;
- «Курс обучения по обработке данных радиолокационных съёмок в дополнительном модуле программного комплекса ENVI SARscape»;
- «Курс обучения MicroStation V8 XM Edition для задач картографирования и геоинформатики»;
- «Курс обучения по базовым модулям фотограмметрической системы компании INPHO»;
- «Возможности языка программирования IDL. Дополнительные модули».

По окончании обучения выдается сертификат международного образца.

Тел.: +7(495) 514-8339, 988-7511, 988-7522

Факс: +7(495) 988-7533, 623-3013

E-mail: software@sovzond.ru

Web-site: www.sovzond.ru

Deeper Analysis.

Faster Insight.

With DigitalGlobe's
**WORLD IMAGERY
SOLUTIONS**

Космические снимки компании DigitalGlobe – это самое доступное и удобное средство для наиболее точного и детального визуального представления информации о земной поверхности.

Группировка спутников DigitalGlobe представляет собой высокоэффективную мониторинговую систему дистанционного зондирования Земли, в которую входят спутники QuickBird и WorldView-1.

Спутники выполняют съемку поверхности Земли объемом 1 млн. км² в сутки, ежедневно пополняя самую обширную на сегодняшний день библиотеку данных дистанционного зондирования Земли.

Снимок может быть доставлен пользователю посредством электронной связи, в автономном режиме на мобильное устройство или непосредственно в ГИС-среду.

Компания «Совзонд» является официальным дистрибьютором компании DigitalGlobe по распространению данных дистанционного зондирования, получаемых со спутника QuickBird, аппарата нового поколения WorldView-1, а также перспективного WorldView-2.

Компания DigitalGlobe:
www.digitalglobe.com
Corporate (U.S.): 303-684-4561
800-496-1225
London: +44-20-8899-6801
Singapore: +65-6389-4851

Компания «Совзонд»:
www.sovzond.ru
Тел: +7-495-988-75-11
+7-495-988-75-22
+7-495-514-83-39
Факс: +7-495-988-75-33

DIGITALGLOBE®

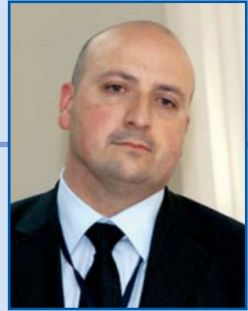


Спутник WorldView-2

Дата запуска: 6 октября 2009 г.

- Первый коммерчески доступный спутник сверхвысокого разрешения (50 см) с 8-ю спектральными каналами;
- Пополнит группировку спутников DigitalGlobe (WorldView-1 и QuickBird), повысив ее производительность в 2 раза;
- Обеспечит возможность проведения группировкой спутников DigitalGlobe ежедневной съемки Земли для решения мониторинговых задач.

Восемь спектральных каналов WorldView-2: расширенные возможности для более глубокого анализа и интерпретации изображений



С этого номера журнала мы начинаем публиковать интервью с представителями ведущих российских и зарубежных организаций, работающих в области ДЗЗ. Серию интервью открывает представитель компании DigitalGlobe (США). На сегодняшний день компания DigitalGlobe занимает лидирующие позиции на мировом рынке операторов ДЗЗ. За 2-й финансовый квартал, завершившийся 30 июня 2009 г., доходы компании DigitalGlobe составили 70 млн дол., что на 2,6 млн дол. больше по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. Чистая прибыль в эти периоды составила 8,4 и 11,6 млн дол. соответственно. Коллекция космических снимков (ImageLibrary) компании DigitalGlobe на 30 июня 2009 г. покрывает около 730 млн кв. км. 6 октября 2009 г. с авиабазы Ванденберг планируется запуск третьего спутника компании DigitalGlobe – спутника WorldView-2 и с 2010 г. группировка спутников QuickBird, WorldView-1 и WorldView-2 будет единственной коммерческой группировкой в мире, обладающей мощностью выполнения новой съемки в более чем 2,2 млн. кв. км в день.

В преддверии запуска спутника ДЗЗ WorldView-2 редакция журнала «ГЕОМАТИКА» задала несколько вопросов об особенностях нового космического аппарата и уникальных возможностях его мультиспектральной аппаратуры Андреа Берсану, региональному директору по продажам (ЕМЕА/Россия) компании DigitalGlobe (США), являющейся разработчиком и оператором спутника.

Редакция: Андреа, нам известно, что спутник WorldView-1 работает только в панхроматическом режиме. Почему компания DigitalGlobe решила добавить мультиспектральный режим на спутнике WorldView-2?

А. Берсан: WorldView-2 – это первый коммерческий аппарат с восьмиканальным мультиспектральным режимом (MS) съемки высокого разрешения. В нем также предусмотрен панхроматический режим (Pan). Восьмиканальный спектрометр включает традиционные спектральные каналы в диапазонах: красный, зеленый, синий и ближний инфракрасный-1 (NIR-1), а также четыре дополнительных спектральных канала в диапазонах: фиолетовый (или прибрежный – coastal), желтый, «крайний красный» (red-edge), ближний инфракрасный-2 (NIR-2). Спектральные каналы КА WorldView-2 могут обеспечить более высокую точность при детальном анализе состояния растительности, выделение объектов, анализе береговой линии и прибрежной акватории. Сочетание традиционных и новых диапазонов, а также высокое разрешение съемки, которое обеспечивает WorldView-2, позволяют повысить точность анализа данных. Каждый КА компании DigitalGlobe обладает уникальным набором технических

характеристик, которые соответствуют различным требованиям рынка ДЗЗ.

Р.: Почему были добавлены четыре дополнительных спектральных канала? В чем заключается уникальность данной системы, если сравнивать ее с большинством существующих спутниковых систем дистанционного зондирования Земли?

А.Б.: Традиционные коммерческие системы ДЗЗ имеют четыре мультиспектральных и один панхроматический канал. КА WorldView-2 имеет четыре дополнительных – фиолетовый, желтый, «крайний красный» и ближний инфракрасный-2, в дополнение к традиционным спектральным зонам: синей, зеленой, красной и ближней инфракрасной-1. Следует иметь в виду, что на спутнике WorldView-2 панхроматический канал не распространяется на ближний инфракрасный диапазон. Вследствие этого визуально панхроматические снимки будут восприниматься как снимки на черно-белой фотопленке. Высокое разрешение съемки, которое обеспечивает КА WorldView-2, и восемь спектральных каналов позволяют повысить точность и качество выделения объектов.

Р.: Спасибо. Не могли бы Вы рассказать об особенностях использования результатов съемки в фиолетовом, желтом, «крайнем красном» и ближнем инфракрасном-2 спектральных каналах? В каких сферах они найдут применение?

А.Б.: Фиолетовый спектральный канал в сочетании с синим позволяет определять глубину водоемов до 13,5 м. Его применение возможно при съемке дна и береговой зоны, выявлении отмелей, оценки состояния водоемов, исследовании флоры водоемов. Этот спектральный канал подвержен влиянию атмосферы и может быть использован для коррекции влияния атмосферы на результаты съемки в остальных спектральных каналах.

Желтый (585-625 нм) — используется для определения характеристик «желтизны» объектов, имеет важное значение для оценки состояния растительности. Этот канал также может быть использован при коррекции цветов в синтезе «натуральные цвета», привычном для восприятия глаза.

«Крайний красный» (705-745 нм) — используется при анализе состояния растительности. Отражает содержание хлорофилла а и b.

Ближний инфракрасный-2 (860-1040 нм) частично перекрывается с каналом NIR-1. Поэтому он может использоваться для решения тех же задач, что и традиционный ближний инфракрасный канал — картографирование и анализ состояния растительного покрова, оценка биомассы и продуктивности. Основное его преимущество над каналом NIR-1 заключается в том, что он менее подвержен влиянию атмосферы.

Р.: Какие сочетания спектральных диапазонов наиболее эффективны для контроля за окружающей средой и сельскохозяйственными угодьями?

А.Б.: В течение десятилетий картографирование и анализ состояния растительности были основными направлениями использования спутниковых систем ДЗЗ. Метод оценки состояния растительного покрова путем расчета вегетационного индекса NDVI, уже ставший традиционным при проведении таких работ, считается достаточно успешным. В последнее время появляется все больше экспериментальных работ, указывающих на то, что добавление спектральной зоны в области ближнего инфракрасного «склона» спектральной кривой растительности, так называемый «крайний красный», позволяет существенно улучшить точность оценки состояния растительности, и выявлять нарушения даже на ранних стадиях их появления. В основном все подобные работы сейчас выполняются толь-

ко по снимкам с гиперспектральных съемочных систем. КА WorldView-2 — единственный коммерческий мультиспектральный спутник, который обеспечит доступ к данным со сверхвысоким пространственным разрешением, и будет иметь спектральный канал в диапазоне «крайний красный». Расчет индекса NDVI — традиционный способ оценки состояния растительности. Использование индекса опирается на то, что хлорофилл в клетках растений сильно поглощает энергию в синей и красной областях спектра, и отражает в зеленой. Другая характерная особенность здоровой растительности — высокие значения коэффициентов отражения в ближней инфракрасной области спектра. Эти спектральные зоны — красная и ближняя инфракрасная — и используются при расчете индекса. Помимо них может использоваться и зеленая спектральная зона. Сочетание спектральных каналов зеленого, желтого, красного, двух ближних инфракрасных и «крайнего красного» позволяет лучше разделять типы и состояние растительности, определять искусственные сооружения, оголенную почву и водные поверхности и т. п. Кроме того, такой набор спектральных зон позволяет использовать методики для расчета положения точки red-edge. Положение точки red-edge, так называемой red edge position, меняется в зависимости от содержания хлорофилла, биомассы, влаги, возраста растительности, состояния растения. Использование комбинации спектральных каналов NIR-2, красного и «крайнего красного» позволило добиться определенных успехов при картографировании растительности: высокая степень детализации позволяет определить не только виды растений, но и их типы, а также возраст деревьев и их состояние.

Использование желтого и «крайнего красного» спектральных каналов обеспечивает надежный мониторинг за состоянием окружающей среды. Так, «крайний красный» обеспечивает мониторинг жизнеспособности растений и содержания хлорофилла, а желтый — может служить для определения повышения концентрации CO₂, что говорит о снижении содержания хлорофилла в листьях. Сочетание этих спектральных каналов позволяет делать соответствующие выводы о причинах и результатах воздействия на окружающую среду. Например, ухудшение состояния растений в районе прохождения газопровода будет свидетельствовать об утечке газа.

Диапазон «крайний красный» позволяет использовать данные ДЗЗ для решения задач определения незначительных отклонений в состоянии растений, т. е. обеспечивается возможность раннего предупреждения техногенного воздействия различных источников загрязнений.

Например, подземные трубопроводы, по которым перекачивают природный газ, имеются во всех частях земного шара (они проходят по удаленным и труднодоступным регионам). Утечки газа на таких трубопроводах неблагоприятно воздействуют на окружающую растительность. С помощью методов дистанционного зондирования, основанных на использовании этого спектрального канала, специалисты могут идентифицировать растения, испытывающие физическое воздействие, даже в тех районах, где прямое воздействие невозможно увидеть.

Р.: Известно уже, будут ли предоставляться синтезированные изображения в разных сочетаниях спектральных каналов?

А.Б.: Снимки со спутника WorldView-2 будут предоставляться в четырехканальном и восьмиканальном вариантах. Поставщики и пользователи смогут получать синтезированные изображения в тех наборах спектральных каналов, которые предусмотрены для конкретного типа снимков.

Р.: Будет ли введена специальная политика цен для изображений со спутника WorldView-2?

А.Б.: Мы предполагаем, что цены на различные виды снимков с КА WorldView-2 будут объявлены в начале осени 2009 г.

Р.: Какова производительность съемки со спутника WorldView-2?

А.Б.: Спутник WorldView-2 будет функционировать на высоте 770 км, что позволит проводить съемку до 975 млн км² в день.

Р.: Андреа, как Вы думаете, какие задачи и проекты будут осуществляться при помощи данных со спутника WorldView-2?

А.Б.: Имеется четыре обширных области использования данных ДЗЗ с КА WorldView-2: классификации материалов и объектов, анализ состояния растительности, признаков, батиметрические исследования и выявление изменений. Эта информация может быть использована для решения всего круга проблем в рамках традиционных приложений данных дистанционного зондирования Земли: городское планирование, анализ растительного покрова, контроль состояния окружающей среды, оценка состояния недвижимого имущества, строящихся объектов и эксплуатируемых элементов инфраструктуры, например, дорог, а также создание и обновление цифровых

карт и решение задач обороны и разведки. Высокое пространственное, спектральное и радиометрическое разрешения снимков со спутника WorldView-2 повышают степень достоверности многих приложений и расширяют возможности их применения в новых областях.

Повышение уровня точности классификации, в свою очередь, позволяет повысить точность выделения и картографирования объектов. Соответствующий уровень детализации информации, используемой правительством страны в рамках инициативы составления цифровых карт или для картографических порталов, может быть обеспечен за счет использования данных дистанционного зондирования со спутника WorldView-2. Эти данные позволяют идентифицировать размеры и тип дорог (бетонные, асфальтовые, грунтовые), условия их прохождения, объекты инфраструктуры и места, представляющие интерес для пешеходов.

Р.: Как компания DigitalGlobe намерена выстроить стратегию предоставления и порядок получения снимков со спутника WorldView-2?

А.Б.: Компания DigitalGlobe предусматривает различные варианты предоставления снимков, включая конкретные запросы клиентов, с разным уровнем предоставляемых услуг, а также выделенные каналы доступа для основных правительственных заказчиков. Особое внимание будет уделено стратегическим данным по районам, представляющим повышенный интерес, таким как крупные города с пригородами (в разных странах), основные экономические районы, страны, которые вызывают повышенное внимание, а также месторождения природного газа и нефти.

Р.: А что Вы думаете по вопросу включения данных со спутника WorldView-2 в сервис ImageConnect? Каким будет формат и пространственное разрешение снимков?

А.Б.: Снимки с КА WorldView-2 будут доступны в режиме on-line на коммерческой основе. Предполагается, что это будет реализовано через 90 дней после успешного запуска спутника. Услуги ImageConnect будут включать предоставление снимков с КА WorldView-2 с учетом предъявляемых к ним конкретных требований в рамках существующих норм (стандартов).

Снимки со спутника WorldView-2 с разрешением до 50 см также будут доступны для клиентов, не являющихся заказчиками правительства США, в различных форматах и режимах доступа, включая режимы on-line и off-line.

Б.А. Дворкин (Компания «Совзонд»)

В 1974 г. окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова по специальности «картография». Работал в ПКО «Картография», ООО «Картография Хубер», ГИС-Ассоциации, Научном геоинформационном центре РАН. В настоящее время – аналитик компании «Совзонд». Кандидат географических наук.

Группировка спутников ДЗЗ RapidEye: уникальные возможности для решения задач мониторинга

Мониторинг изменений, происходящих на земной поверхности в результате действия природных и техногенных факторов – одно из быстро развивающихся направлений дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. Оптимальным решением для задач

мониторинга является работа на орбите группировок спутников. Впервые такая идея была одобрена Германским аэрокосмическим центром (DLR) в 1996 г. Уже через два года была создана компания RapidEye AG (Германия), которая приступила к разработке спутников и наземного комплекса, главной миссией которых стало бы оперативное обнаружение, дешифрирование и картографирование изменений в любом месте Земли в оперативном режиме. Группировка из пяти миниспутников RapidEye была запущена с космодрома Байконур одной ракетой-носителем «Днепр» (Украина) 29 августа 2008 г. Каждый из спутников, созданных компанией MDA (Канада) совместно SSTL (Великобритания), оснащен мультиспектральной оптико-электронной камерой производства Jena Optronics GmbH (Германия) для съемки из космоса с пространственным разрешением 6,5 м. Вес одного спутника RapidEye составляет 150 кг (рис. 1). RapidEye – первый в Германии коммерческий гражданский проект дистанционного зондирования Земли. Расчетный срок пребывания спутников на орбите составляет 7 лет.

Съемка земной поверхности ведется в пяти спектральных каналах. Уникальным для спутников высокого разрешения является канал «крайний красный» (red-edge), который



Рис. 1.
Схема спутника RapidEye



Рис. 2.
Спутники RapidEye на космодроме Байконур

оптимально подходит для наблюдения за изменениями состояния растительного покрова.

Каждый из спутников назван греческим именем – Tachys (Быстрый), Mati (Глаз), Choma (Земля), Choros (Космос) и Trochia (Орбита) (рис. 2).

Спутники равномерно распределены на орбите высотой около 630 км (рис. 3). Облетая Землю в направлении с севера на юг, они пересекают экватор в 11 часов по местному времени с дистанцией около

660 км и интервалом 20 минут.

Съемка выполняется сеансами с максимальной длиной полосы 3000 км. В пределах одного сеанса спутник может снять участок поверхности Земли шириной 77 км и длиной до 1500 км (рис. 4). Таким образом, группировка RapidEye способна обеспечивать ежедневную съемку земной поверхности площадью в 4 млн км². Основные технические характеристики каждого спутника представлены в табл.1.



Рис. 3.
Расположение спутников RapidEye на орбите

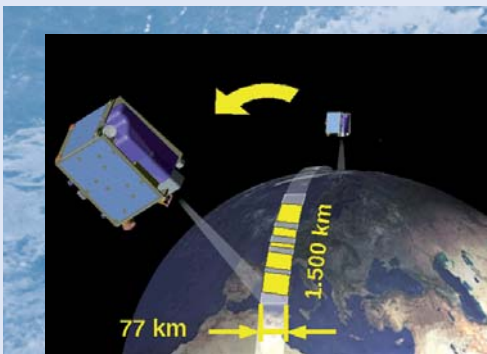


Рис. 4.
Схема сеанса съемки спутником RapidEye

Таблица 1

Основные технические характеристики спутников RapidEye

Наименование параметра	Значение параметра
Режим	Мультиспектральный
Спектральный диапазон, мкм	0,440–0,510 (синий); 0,520–0,590 (зеленый); 0,630–0,685 (красный); 0,690–0,730 (крайний красный); 0,760–0,850 (ближний ИК)
Пространственное разрешение в надире, м	6,5 и 5 (после обработки)
Радиометрическое разрешение, бит на пиксель	12
Точность геопозиционирования, м	2,5–50
Ширина полосы съемки, км	77
Формат файлов	GeoTIFF, NITF
Обработка	Коррекция (радиометрическая, сенсорная и геометрическая); приведение к картографической проекции
Периодичность съемки, ч	24

Таблица 2

Основные характеристики продукции с уровнем обработки Level 1B и Level 3A

Наименование параметра	Уровни обработки	
	Level 1B	Level 3A
Формат файла	NITF, JFIF, GeoTIFF, XML (метаданные)	
Ориентация	Соответствует ориентации спутника (сенсора)	Север-Юг
Кадрирование	Проводится по регионам, которые задаются географическими координатами двух углов снимка. Заказы принимаются на полигоны произвольной формы	Проводится по фрагментам (Tile). Фрагменты размером 24x24 км определяются по единой на весь мир сетке. С учетом перекрытия в 500 м каждый окончательный фрагмент имеет размер 25x25 км
Пространственное разрешение	6,5 м	5 м
Битовая глубина	Для снимков с радиометрической коррекцией – 16 бит (в целых числах без знака), с атмосферной коррекцией – 16 бит (в целых числах со знаком)	
Размер файла	До 462 Мбайт / 25 км для пяти спектральных диапазонов	Для фрагмента 25x25 км 250 Мбайт для пяти спектральных диапазонов при разрешении в 5 м
Геометрическая коррекция	Не выполняется	Выполнена. Для ортотрансформирования использованы наземные опорные точки и высокоточная ЦМР
Точность геопозиционирования	2,5–50 м	50 м (по России)
Система геодезических координат	WGS-84	
Картографическая проекция	Не используется	Универсальная поперечная проекция Меркатора
Выравнивание контрастности	Не проводится	По коэффициентам CC, NN или MTF

УРОВНИ ОБРАБОТКИ И ВИДЫ ПРОДУКЦИИ

В настоящее время компания RapidEye AG предлагает снимки со следующими уровнями обработки: Level 1B и Level 3A.

Level 1B – снимки с базовым уровнем обработки (RapidEye Basic Product). Уровень обработки включает радиометрическую и сенсорную коррекции.

Level 3A – ортотрансформированные снимки (RapidEye Ortho Product). Уровень обработки включает радиометрическую, сенсорную и геометрическую коррекции. Для увеличения точности геопозиционирования используются наземные опорные точки. Ортотрансформирование проводится с использованием DTED (Digital Terrain Elevation Data) Level 1 SRTM DEM.

Основные характеристики продукции с различным уровнем обработки представлены в табл. 2.

При поставке заказчику продукции с уровнем обработки Level 3A заказчик получает целые фрагменты, размером 25x25 км, которые обеспечивают покрытие интересующей заказчика области (AOI – рис. 5).

При заказе уровня обработки 1B заказчик получает целые фреймы из пролета, обрезанные по крайним

границам AOI (рис. 6). Ортотрансформирование и другую дальнейшую обработку данных выполняет компания «Совзонд» или заказчик самостоятельно.

ПРИМЕРЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СПУТНИКОВ RAPIDEYE

1. Ортотрансформированные изображения, полученные съемочной аппаратурой, установленной на борту спутников RapidEye, могут быть использованы как пространственная основа для решения целого класса задач по среднемасштабному топографическому и тематическому картографированию местности. Объединенные в единое бесшовное растровое покрытие отдельные ортотрансформированные изображения могут быть использованы при создании картографических WEB-сервисов (рис. 7).

Ортотрансформирование снимков RapidEye выполняется как с использованием наземных опорных точек, так и без них с помощью алгоритмов ортотрансформирования по RPC-коэффициентам, входящим в комплект поставки данных. Точность ортотрансформирования составляет 2,5-10 м с использованием опорных точек и 50 м – без использования опорных точек.

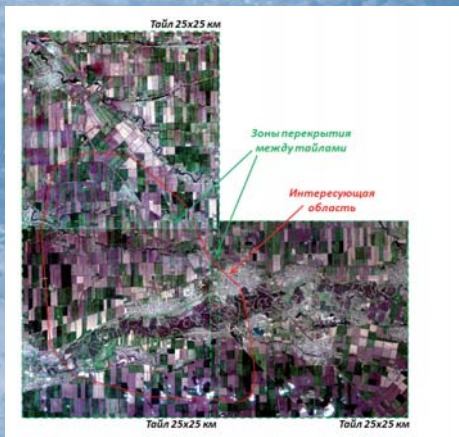


Рис. 5. Схема поставки снимков при уровне обработки Level 3A



Рис. 6. Схема поставки снимков при уровне обработки Level 1B



Рис. 7.
Ортотрансформированный снимок с RapidEye (в естественных цветах; пространственное разрешение 6,5 м)



Рис. 8.
Фрагмент цветного синтезированного изображения (пространственное разрешение 2,5 м)

2. Возможно создание цветного синтезированного изображения с пространственным разрешением 2,5 м (рис. 8) за счет передачи спектральных характеристик изображений с RapidEye с размером пикселя 5 м ортотрансформированным панхроматическим изображениям, сформированным оптической системой PRISM космического аппарата ALOS, с пространственным разрешением 2,5 м. Полученные в результате такой процедуры цветные изображения являются высокоточной основой для картографирования территорий в масштабе 1:25 000. Результатом синтеза изображений являются цветные ортотрансформированные изображения. Точность ортотрансформирования: 2,5-10 м (в плане) с использованием опорных точек; 50 м (в плане) без использования опорных точек.

3. Применение методов спектрального анализа при обработке снимков с КА RapidEye позволяет извлекать информацию, обеспечивающую решение большого числа задач в различных отраслях народного хозяйства, а также для создания карт сельскохозяйственных и лесных угодий, экологических, дежурных карт и т. д. (рис. 9).

4. Уникальные возможности спутниковой системы RapidEye позволяют превратить выявление изменений на земной поверхности в стандартную производ-

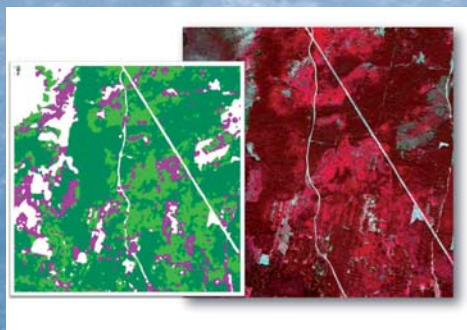


Рис. 9.
Фрагмент снимка с RapidEye (синтезированное изображение: ближний инфракрасный — красный — зеленый; разрешение 5 м) и карта классификации леса по преобладающей породе, составленная на его основе

ственную задачу мониторинга. Серии мультивременных композитов (растровых изображений с ярко контрастирующими на общем фоне изменениями, произошедшими с даты одной съемки до даты другой) – продукция автоматизированной обработки снимков с КА RapidEye (рис. 10). На их базе могут оперативно создаваться: серии векторных ГИС-покрытий, отображающих произошедшие изменения; серии ведомостей координат, произошедших изменений; серии статистических выкладок/отчетов о произошедших на территории изменениях.

ПРОДУКТ ОРТОРЕГИОН+МОНИТОРИНГ

Учитывая популярность продукта ОРТОРЕГИОН (см. ГЕОМАТИКА. – 2009. – № 2. – С. 47-53), компания «Совзонд» в рамках дальнейшего расширения этого вида продукции разработала новый – ОРТОРЕГИОН + МОНИТОРИНГ (рис. 11). Как и ОРТОРЕГИОН, он базируется на ортомозаиках ALOS/PRISM, наследуя все его геометрические и дешифровочные свойства. В то же время – это качественно новый вид продукции. Таковым его делает поставляемая вместе с базовой мозаикой серия космических снимков группировки космических аппаратов RapidEye, обеспечивающих мониторинг интересую-

щей заказчика территории с требуемой периодичностью (от недели до нескольких месяцев) и согласованным числом повторных съемок.

Снимки RapidEye с пространственным разрешением 5 м и пятью спектральными каналами обладают высокими геометрическими и радиометрическими характеристиками, что наряду с возможностями повторяемости съемки до 1 суток делают их наиболее совершенным инструментом космического мониторинга территорий на современном мировом рынке данных ДЗЗ. Возможность геопозиционирования снимков с КА RapidEye, благодаря поставляемым вместе с ними коэффициентам PRC на ортомозаику ALOS/PRISM с точностью не хуже 10 м, существенно увеличивает ценность продукта ОРТОРЕГИОН + МОНИТОРИНГ.

Как и при покупке ОРТОРЕГИОН, заказчик оплачивает только интересующую его территорию, и получает готовую к обработке информацию.

Предлагается несколько вариантов этого вида продукции в зависимости от степени законченности решения:

- ОРТОРЕГИОН (на базе снимков ALOS/PRISM) + серия ортотрансформированных мозаик RapidEye (за конкретные даты съемки).



Рис. 10.
Фрагмент снимка RapidEye (естественные цвета; пространственное разрешение 5 м). Вновь появившиеся сплошные и выборочные рубки, новая дорога



Рис. 11.
Продукт ОРТОРЕГИОН + МОНИТОРИНГ

- ОРТОРЕГИОН + серия ортотрансформированных мозаик RapidEye + серия мультिवременных композитов (растровых изображений с ярко контрастирующими на общем фоне изображения изменениями, произошедшими с даты одной съемки до даты другой).
- ОРТОРЕГИОН + серия ортотрансформированных мозаик RapidEye + серия мультिवременных композитов + серия векторных ГИС-покрытий (отображающих произошедшие изменения).
- ОРТОРЕГИОН + серия ортотрансформированных мозаик RapidEye + серия мультिवременных композитов + серия векторных ГИС-покрытий + серия статистических выкладок/отчетов о произошедших на территории изменениях.

В отличие от ОРТОРЕГИОН заказчик получает не единовременную ортомозаику, а заключает договор в рамках которого, помимо этой (базовой) ортомозаики, через оговоренные промежутки времени получает наборы данных, содержащие оперативно созданные продукты в одном из четырех вышеуказанных вариантов.

В зависимости от отраслевой направленности организации-заказчика основной упор при выявлении изменений может быть сделан на изменениях в инфраструктуре, транспортной и коммуникационной сети, лесном фонде (вырубки, гари, погибшие и поврежденные насаждения), нарушенных и загрязненных землях, землях поселений и объектах промышленности.

ОРТОРЕГИОН + МОНИТОРИНГ, позволяя осуществлять многоцелевой мониторинг и контроль, может заинтересовать региональные и муниципальные администрации, производственные, эксплуатирующие, коммерческие, контролирующие организации лесного, водного, сельского хозяйства, транспорта, ТЭК и многих других отраслей.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ СПУТНИКОВ RAPIDEYE

Маневренность, большие площади съемки и возможность ежедневной съемки одной и той же территории, а также высокое пространственное разрешение делают использование данных, полученных с группировки спутников RapidEye, особенно перспективным для решения различных задач мониторинга.

Параметры системы спутников RapidEye оптимизированы для обеспечения данными многих отраслей, но в первую очередь, это – сельское и лесное хозяйство; нефтегазовый комплекс, энергетика, телекоммуника-

ции; тематическое и специальное картографирование; экология и охрана окружающей среды; управление чрезвычайными ситуациями.

Сельское хозяйство. В сельскохозяйственном производстве для принятия своевременных и обоснованных решений очень важна информация о текущем состоянии посевов. Немаловажную помощь в этом оказывают уникальные данные RapidEye. Мультиспектральная камера каждого спутника ведет съемку в пяти спектральных диапазонах, причем впервые в мировой практике используется канал «крайний красный», который оптимально подходит для наблюдения и анализа состояния растительного покрова (оценка содержания хлорофилла, протеина и азота).

Космические снимки RapidEye наиболее эффективны для решения следующих задач:

- определение площадей, занятых разными культурами;
- определение границ полей;
- контроль состояния посевов и наблюдение за созреванием растений;
- оценка содержания хлорофилла (с использованием диапазона «крайний красный»);
- контроль плотности посевов;
- прогноз урожая;
- планирование времени начала сбора урожая.

Лесное хозяйство. Данные ДЗЗ все больше используются для инвентаризации лесов, определения воздействий на лесной покров природных факторов и лесохозяйственной деятельности. RapidEye может обеспечить лесную отрасль наиболее актуальной информацией о состоянии лесов.

Космические снимки RapidEye особенно эффективны для решения задач:

- оперативного картографирования лесов;
- выявления площадей, пострадавших от пожаров, вредителей и других экологических бедствий;
- определения состава пород лесных массивов;
- инвентаризации лесов;
- оперативного мониторинга на предмет выявления очагов пожаров;
- контроля лесовосстановительных работ;
- выявления несанкционированных вырубок.

Нефтегазовый комплекс, энергетика, телекоммуникации. Нефтегазодобывающие и электроэнергети-

ческие компании имеют в своем распоряжении обширные сети трубопроводов, линий электропередачи и другие объекты инфраструктуры. Контроль состояния и защита этих объектов — важнейшая задача отрасли. RapidEye может поставлять данные на большие территории с разрешением в 5 м и с частой повторяемостью, что наилучшим образом подходит для этой цели. Для телекоммуникационных компаний данные RapidEye (включая и цифровые модели рельефа) помогут оптимальным образом устанавливать антенны, что гарантирует максимальную эффективность работы.

Космические снимки RapidEye используются при:

- мониторинге инфраструктуры объектов добычи и транспортировки нефти и газа;
- мониторинге электрических сетей;
- выявлении мест повреждений трубопроводов и линий электропередачи;
- мониторинге экологического состояния территории;
- планировании развития телекоммуникационных сетей.

Тематическое и специальное картографирование. Для того, чтобы карты отвечали потребительским запросам, они должны быть максимально актуальными. В нашем быстро меняющемся мире постоянно требуется обновленная пространственная информация, получаемая путем наблюдения за Землей из космоса. RapidEye обеспечивает заказчиков специальной информацией, которая необходима для:

- мониторинга изменений ландшафта и оперативное их картографирование;
- обновления дорожных, навигационных и других специальных карт.

Экология и охрана окружающей среды. Ученые отмечают существенное изменение климата и увеличение количества стихийных бедствий в последние десятилетия. В результате этого во всем мире обостряются экологические проблемы. Все больше органам государственной власти, а также коммерческим компаниям необходима информация о степени воздействия на определенные территории природных и техногенных факторов. Данные RapidEye как нельзя лучше подходят для этих целей.

Космические снимки RapidEye наиболее эффективны для решения следующих задач:

- мониторинг опасных природных проявлений (заболочивание, опустынивание, засоление и т. д.);

- наблюдение за быстро меняющимися экосистемами и антропогенными объектами;
- выявления локальных источников загрязнения вод и почв;
- изучение экологического состояния атмосферы.

Управление чрезвычайными ситуациями. Мониторинг зон стихийных бедствий и организация спасательных и восстановительных работ — важнейшие задачи в современном мире. Параметры системы спутников RapidEye оптимально подходят для решения задач управления чрезвычайными ситуациями.

Космические снимки RapidEye наиболее эффективны для:

- прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их последствий;
- мониторинга чрезвычайных ситуаций, связанных с природными и техногенными воздействиями;
- планирования аварийно-спасательных работ в районах стихийных бедствий и антропогенных катастроф.

За первые 100 дней работы на орбите группировки спутников RapidEye снято 69 млн км² земной поверхности, причем 80% снимков — безоблачные. Общая площадь покрытия земной поверхности снимками составила больше 36 млн км², что приблизительно составляет четверть территории суши Земли, причем многие регионы снимались по несколько раз. На территорию России доступны снимки на Санкт-Петербург и его окрестности, Краснодарский край, Калининградскую область, Байкальский регион, Приморский край и другие районы.

В начале 2009 г. Компания «Совзонд» подписала дистрибьюторское соглашение с компанией RapidEye AG по распространению космических снимков в России и странах СНГ. Согласно соглашению, компания «Совзонд» стала эксклюзивным дистрибьютором с правами на размещение заказов на новую съемку и поставку архивных космических снимков со спутников RapidEye в России, Белоруссии, Армении, Азербайджане, Грузии, Казахстане, Таджикистане, Узбекистане, Киргизии и Туркмении. В настоящее время разработана партнерская программа, в соответствии с которой компанией «Совзонд» принимаются заявки от ведущих предприятий России и стран СНГ выступить в качестве эксклюзивного дилера в своем регионе по поставке данных со спутников RapidEye, дилера или технологического партнера.

Компания «Совзонд» провела семинары и вебинар, посвященные группировке спутников RapidEye

Специалисты компании «Совзонд» 25 и 26 июня 2009 г. провели в Москве два специализированных семинара, посвященных новой группировке спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) RapidEye (Германия).

В первом семинаре приняли участие потенциальные заказчики, а во втором – представители коммерческих компаний и государственных организаций, работающих на рынке ДЗЗ (рис. 1).

Спутниковая группировка RapidEye вызывает большой интерес, поэтому на приглашение принять участие в семинарах откликнулись более 25 организаций и компаний, использующих данные ДЗЗ в своей деятельности. Среди них: ОАО «Газпром космические системы», «ВНИИГАЗ», Почвенный институт им. В.В. Докучаева, организации МЧС и др.

Для представителей компаний-поставщиков данных была дополнительно предложена тема развития партнерской программы RapidEye:

- дилерская программа;
- программа эксклюзивных партнеров;
- программа технологических партнеров.

Интерес к партнерской программе проявили представители «РНИИ КП», ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, Госцентра «Природа», ИТЦ «СканЭкс», компаний «Ракурс», «Гео-Альянс», «Иннотер» и др. Они приняли активное участие в обсуждении различных вопросов, связанных с условиями поставки данных RapidEye в России и странах СНГ.

В программе семинаров были рассмотрены следующие вопросы:

- RapidEye – возможности выполнения ежедневного мониторинга;



Рис. 1.
Директор по развитию бизнеса компании «Совзонд» проводит семинар, посвященный группировке RapidEye

- основные характеристики спутников RapidEye;
 - уровни обработки, комплект поставки, новая концепция съемки;
 - ортотрансформирование – точностные характеристики;
 - данные ДЗЗ КА RapidEye для выполнения тематических проектов;
 - канал «крайний красный»: новые возможности для наблюдения и анализа состояния растительного покрова (оценка содержания хлорофилла, протеина и азота);
 - условия поставки данных с КА RapidEye.
- Особое внимание было уделено уровням обработки снимков, условиям планирования съемки и особенностям заказа космических снимков. Было отмечено, что для потребителей, которые собираются самостоятельно работать со снимками, в том числе

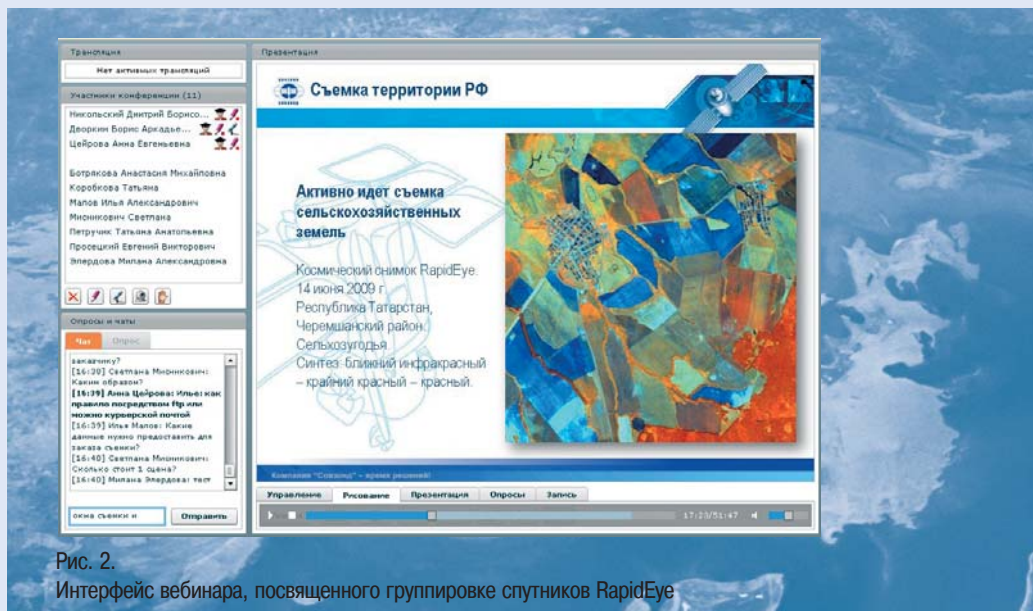


Рис. 2.

Интерфейс вебинара, посвященного группировке спутников RapidEye

проводить ортотрансформирование, предпочтительно использовать снимки базового уровня обработки 1В (одна из названных причин такой рекомендации – данные сопровождаются коэффициентами RPC, в отличие от уровня 3А, для которого уже проведено ортотрансформирование). Интересна также система поставки данных, базирующаяся на единой сетке квадратов 25х25 км на весь мир. В ходе семинаров были затронуты и некоторые аспекты ценовой политики компании RapidEye.

Для участников семинаров специалисты компании «Совзонд» продемонстрировали образцы снимков RapidEye с использованием программно-аппаратного комплекса TouchTable, рассмотрели особенности использования снимков в различных сферах деятельности (лесное и сельское хозяйство, экологический мониторинг, нефтегазовый комплекс и др.).

По откликам участников семинары отличались большой содержательностью и прошли в деловой и доброжелательной атмосфере. Была отмечена несомненная польза в проведении таких специализированных краткосрочных семинаров и желание продолжить это начинание.

28 июля 2009 г. впервые в российском сегменте отрасли ДЗЗ специалистами компании «Совзонд» был проведен открытый вебинар (рис. 2).

Вебинар – это семинар, проводимый в режиме реального времени с использованием сети Интернет. Таким образом, несмотря на то, что все участники физически находятся далеко друг от друга, образуется виртуальная «аудитория», объединяющая всех.

Вебинар был также посвящен уникальной спутниковой группировке RapidEye. Принять участие в вебинаре были приглашены потенциальные заказчики данных со спутников RapidEye – специалисты в области сельского и лесного хозяйства, нефтегазовой отрасли, охраны окружающей среды, управления чрезвычайными ситуациями и др. Вебинар прошел в деловой обстановке. Участники (а их набралось около 25, не только из России, но и из Казахстана и Белоруссии) проявили большую активность, было задано много вопросов. Большинство специалистов отметили несомненную пользу такой формы общения и обмена информацией.

Б.А. Дворкин (Компания «Совзонд»)

О.Н. Колесникова (Компания «Совзонд») В 2001 г. окончила Московский государственный университет природообустройства. После окончания университета работает в компании «Совзонд», в настоящее время – руководитель отдела программного обеспечения.

А.С. Черепанов (Компания «Совзонд») В 2005 г. окончил Курганский государственный университет, в 2008 г. – аспирантуру МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «картография». С 2006 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время – старший инженер по тематической обработке данных ДЗЗ. Кандидат географических наук.

Возможности ПК ENVI для обработки мультиспектральных и гиперспектральных данных

МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫЕ И ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

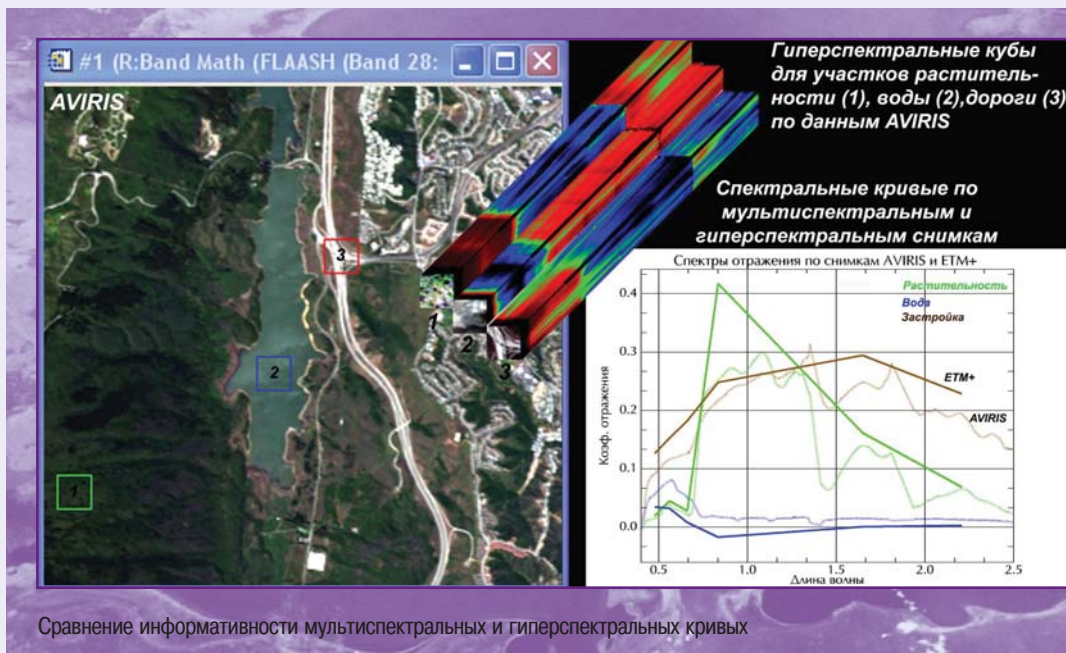
В последние годы все большее внимание привлекают мультиспектральные (или многозональные) и гиперспектральные снимки, которые позволяют исследовать многие качественные характеристики объектов на земной поверхности (или даже скрытые от глаз). Эти особенности находят применение в сельском и лесном хозяйстве, в геологии и при поиске полезных ископаемых и т. д.

Современная мультиспектральная и гиперспектральная сканирующая аппаратура, с помощью которой выполняют космическую съемку, представляет собой радиометрически откалиброванные многоканальные видеоспектрометры. Для каждого пикселя изображения регистрируется набор яркостей в 4, 6, десятках или сотнях каналов, охватывающих диапазон электромагнитных волн от видимого до теплового. Значения яркости, зафиксированные съемочной системой для одного объекта в разных спектральных зонах, и их графическое отображение в виде спектральных кривых позволяют уверенно отличать и выделять данный объект на снимке. Большое количество спектральных зон позволяет получить более сложную спектральную кривую и делает возможным при-

менения сложных алгоритмов субпиксельного анализа.

Мультиспектральные съемочные системы формируют несколько отдельных изображений для широких спектральных зон в диапазоне электромагнитных излучений от видимого до инфракрасного. Наибольший практический интерес в настоящий момент представляют мультиспектральные данные с космических аппаратов (КА) нового поколения, среди которых GeoEye-1 – 4 спектральных зоны, RapidEye – 5 зон и WorldView-2 – 8 зон.

В отличие от мультиспектральных, гиперспектральные съемочные системы одновременно формируют изображения для узких спектральных зон на всех участках спектрального диапазона. Для гиперспектральной съемки важно не количество спектральных зон (каналов), а ширина зоны (чем меньше, тем лучше) и последовательность измерений, т. е. съемочная система с 20 каналами будет гиперспектральной, если она покрывает диапазон 500-700 нм, при этом ширина каждой спектральной зоны не более 10 нм, а съемочная система с 20 отдельными каналами, покрывающими видимую область спектра, ближнюю, коротковолновую, среднюю и длинноволновую ИК-области, будет считаться мультиспектральной.



Анализ гиперспектральных изображений стал одной из самых эффективных и быстро развивающихся направлений при использовании ДДЗ. Гиперспектральные снимки, в отличие от других данных ДЗЗ, позволяют извлекать более точную и детальную информацию. Данные о величине отражения энергии от объектов земной поверхности дают обширный материал для подробного анализа и создания на их основе новой производной продукции. Гиперспектральные снимки доступны не так широко, как другие данные ДЗЗ. Космических аппаратов, на борту которых установлены гиперспектральные съемочные системы, немного. Среди них следует отметить Hyperion на борту КА EO-1 (NASA, США) и CHRIS на борту КА PROBA (EKA). В настоящее время гиперспектральные снимки активно используются для изучения и съемки объектов земной поверхности.

Мультиспектральные снимки в синей, зеленой, красной и ближней инфракрасной и других спектральных зонах могут быть использованы для получения цветного изображения (RGB-синтез). Различные варианты синтеза отдельных изображений (например «красный-зеленый-синий», «ближний ИК-красный-зеленый» и т. д.) позволяют решать многочис-

ленные тематические задачи и облегчают процесс визуального дешифрирования снимков.

ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАБОТКИ В ПК ENVI

Программный комплекс (ПК) ENVI, благодаря языку программирования IDL (Interactive Data Language), способен обеспечить полный комплекс работ по обработке снимков с мультиспектральных и гиперспектральных съемочных систем. Многие алгоритмы анализа изображений в программном комплексе ENVI были специально разработаны для обработки больших объемов информации, содержащихся в гиперспектральных снимках. Большинство этих алгоритмов также можно использовать, хотя и в несколько ограниченном виде, для работы с мультиспектральными снимками.

Алгоритмы радиометрической коррекции Инструменты для создания производных (MNF, PCA, Tasseled Cap) и индексов изображений (вегетационные индексы)

В программном комплексе ENVI предлагается 27 вегетационных индексов, большинство из которых (22) разработаны специально для анализа гиперспектральных данных. Используемые в ENVI вегетационные ин-

дексы и их назначение детально описаны в другой статье этого номера журнала (А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина «Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы», с. 28).

Классификация и определение материалов и объектов, входящих в состав одиночного пикселя

Алгоритмы классификации, работающие с «целыми» пикселями, детально описаны в другой статье этого номера журнала (В.А. Панарин, Р.В. Панарин «Применение космических снимков в муниципальном управлении урбанизированных территорий для задач территориального планирования», с. 40).

Алгоритмы субпиксельного анализа. Субпиксельный анализ позволяет определять доли искомого материала в каждом пикселе изображения. Результат его применения – поиск на снимке объектов, размер которых гораздо меньше размера пикселя. В случае достаточного контраста между объектом и фоном, при анализе можно найти материалы, занимающие 1-3% пикселя. Алгоритмы субпиксельного анализа включают линейное спектральное разделение (linear spectral unmixing) и фильтр по эталонам (matched filtering). Оба алгоритма позволяют определять материалы, образующие спектр пикселя на основе эталонных спектральных кривых.

Линейное спектральное разделение (Linear spectral unmixing)

В основе использования линейного спектрального разделения лежит тот факт, что частота любого пикселя является результатом линейных математических комбинаций частот отражения всех характерных объектов в пределах данного пикселя, где вес частот отражения каждого характерного объекта непосредственно пропорционален занимаемой данным объектом области частот пикселя. Если спектры всех характерных объектов, находящихся на снимке, известны, то их содержание в пределах пикселя может быть вычислено по спектральной кривой каждого пикселя. Результаты применения алгоритма линейного спектрального разделения включают одно изображение для каждого материала. Значения пикселей в этих изображениях показывают процент от их площади. Например, если пиксель в изображении распространности для кварца имеет значение яркости 0,90, то 90% области пикселя содержат кварц.

Фильтр по эталонам (Matched filtering) – тип линейного разделения, в котором на карте клас-

сификации отображаются только материалы, выбранные пользователем.

В отличие от полного разделения, здесь нет необходимости указывать эталоны для всех характерных объектов на снимке, чтобы выполнить анализ. Фильтр по эталонам изначально развивался для определения наличия материалов, которые редко встречаются на снимке.

Модуль атмосферной коррекции

В процессе дистанционного зондирования отражение электромагнитных волн от объектов и земной поверхности, прежде чем оно регистрируется съемочной системой, проходит через атмосферу. Данные дистанционного зондирования включают информацию не только о поверхности, но и о состоянии атмосферы. При необходимости количественного анализа поверхностного отражения устранение влияния атмосферы – важный шаг предварительной обработки.

Атмосфера может влиять на значения яркости, регистрируемые съемочной системой, двумя способами: путем рассеяния и поглощения энергии электромагнитных волн. Рассеяние имеет место, когда излучение в атмосфере отражается или преломляется частицами от молекул газов, составляющих атмосферу, крупинками пыли и большими водяными каплями. При наличии многократного рассеяния в атмосфере часть энергии может выходить за пределы поля зрения съемочной системы. Если поле зрения небольшое, фактически все рассеянное излучение будет теряться. В этом случае рассеяние вызывает потускнение изображения. Если поле зрения очень большое, то часть рассеянного излучения все же будет восприниматься съемочной системой и в этом случае происходит усиление сигнала и яркость изображения повышается.

Для выполнения атмосферной коррекции часто необходимо знать такие параметры, как количество водяного пара, распределение аэрозолей, видимость и др. Поскольку прямое измерение этих свойств атмосферы редко доступно, разрабатываются методы получения их из спектральных значений яркости. Полученные коэффициенты используются для задания высокоточных моделей атмосферной коррекции, которые и используются для обработки данных.

Модуль ACM (Atmospheric Correction Module) включает два алгоритма для устранения влияния атмосферы, которые могут применяться при обработ-

ке как мультиспектральных, так и гиперспектральных снимков: Quick Atmospheric Correction (QUAC) и Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH). Оба алгоритма были разработаны специалистами корпорации Spectral Sciences при поддержке U.S. Air Force Research Laboratory.

Quick Atmospheric Correction (QUAC)

QUAC обеспечивает автоматизированную коррекцию влияния атмосферы для мультиспектральных и гиперспектральных снимков в диапазоне частот 400-2500 нм. Он также включает специальные настройки для обработки снимков, полученных съемочными системами: AISA, ASAS, AVIRIS, CAP ARCHER, COMPASS, HYCAS, HYDICE, HyMap, Hyperion, IKONOS, Landsat TM, LASH, MASTER, MODIS, MTI, QuickBird, RGB, и обобщенный подход при работе с неизвестной съемочной аппаратурой.

В отличие от других алгоритмов коррекции влияния атмосферы, данный алгоритм рассчитывает корректирующие параметры непосредственно из изображения (спектральные кривые анализируемых пикселей) без привлечения какой-либо дополнительной информации. В основе алгоритма QUAC лежит эмпирический поиск среднего коэффициента отражения для различных групп материалов (классов объектов). При этом используется алгоритм извлечения характерных спектральных кривых. QUAC выполняет более обобщенную коррекцию влияния атмосферы, нежели FLAASH. Использование данного алгоритма позволяет рассчитывать коэффициенты отражения с погрешностью $\pm 15\%$.

Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH)

FLAASH – алгоритм коррекции влияния атмосферы на основе заданных моделей. Модели, используемые в FLAASH, позволяют выполнять обработку снимков, полученных любыми мультиспектральными или гиперспектральными съемочными системами в диапазоне частот 400-3000 нм, в том числе и снимков, полученных при большом отклонении от надира. Алгоритм FLAASH позволяет получать более точные данные при коррекции снимков, чем алгоритм QUAC, но и требует дополнительной информации для их обработки.

В отличие от многих других алгоритмов коррекции влияния атмосферы, которые интерполируют значения переданного излучения из предваритель-

но рассчитанных баз данных, FLAASH включает исходный код модели MODTRAN4.

При выборе любой стандартной модели атмосферы MODTRAN (лето в средних широтах, зима в средних широтах и т. п.) и состава аэрозолей (для сельской местности, города, морских территорий) представленной на снимке, будут рассчитаны параметры MODTRAN именно для данной сцены. FLAASH поддерживает обработку снимков с гиперспектральных съемочных систем AVIRIS, HYDICE, HYMAP, CASI, HYPERION, AISA и мультиспектральных ASTER, MODIS, AVHRR, QuickBird, IKONOS, IRS LISS1, IRS LISSIII, SeaWiFS, Landsat MSS 4, MSS 5, TM 4, TM 5, TM 7, SPOT 1, 4, 5. Кроме того, с помощью модели неизвестной мультиспектральной или гиперспектральной аппаратуры можно описать модель любой съемочной системы и обработать ее снимки.

Алгоритм FLAASH включает следующие возможности, качественно отличающие его от аналогичных алгоритмов, использующих модели MODTRAN4:

- коррекцию эффекта смежности, который возникает из-за смешивания яркостей соседних пикселей;
- инструмент для расчета примерной видимости сцены (содержание аэрозолей и наличие дымки) по частотам, равным 660 и 2100 нм на основе метода, предложенного Кауфманом.
- модели, учитывающие многократное рассеяние энергии электромагнитных волн, величина которых зависит от наличия дымки и состава аэрозолей (MODTRAN содержит модели многократного рассеяния ISAACS и DISORT);
- настраиваемый инструмент для сглаживания спектральных кривых и подавления выбросов и помех (используется при работе с гиперспектральными снимками).

Результатом работы алгоритма QUAC или FLAASH является изображение со значениями пикселей в безразмерных коэффициентах отражения, умноженных на 10 000. Умножение на 10 000 выполняется в ходе работы алгоритмов для перевода дробных значений пикселей (вещественный тип – float point) в целые числа (two-byte signed integers). Данная процедура позволяет уменьшить место, занимаемое файлом на жестком диске, что также ускоряет процесс дальнейшей обработки снимка. Увеличение значений в 10 000 раз позволяет сохранить информацию в пятом знаке после запятой, что более чем достаточно для проведения исследований.

А.С. Черепанов (Компания «Совзонд»)

В 2005 г. окончил Курганский государственный университет, в 2008 г. – аспирантуру МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «картография». С 2006 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время – старший инженер по тематической обработке данных ДЗЗ. Кандидат географических наук.

Е.Г. Дружинина (PE INTERNATIONAL, Германия)

В 2005 г. окончила Международный университет природы, общества и человека «Дубна», в 2005-2007 гг. работала в компании «Совзонд». В 2009 г. окончила магистратуру Университета Калифорнии (США) по специальности «Науки о Земле и менеджмент». В настоящее время работает в компании PE INTERNATIONAL (Германия) специалистом по консалтингу по вопросам окружающей среды.

Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы

Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. Знания о связи структуры и состояния растительности с ее спектрально отражательными способностями позволяют использовать аэрокосмические снимки для картографирования и идентификации типов растительности и их стрессового состояния.

Для работы со спектральной информацией часто прибегают к созданию так называемых «индексных» изображений. На основе комбинации значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта, и расчета по этим значениям «спектрального индекса» объекта строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что и позволяет выделить исследуемый объект или оценить его состояние. Спектральные индексы, используемые для изучения и оценки состояния растительности, получили общепринятое название вегетационных индексов.

В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов. Они подбираются экспериментально (эмпирическим путем), исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв.

Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной способности растений (рис. 1). На красную зону

спектра (0,62-0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75-1,3 мкм) максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. Т. е. высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с большой фитомассой растительности) ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной. Как это хорошо известно, отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов.

При обработке космических снимков в программном комплексе ENVI с помощью инструмента Band Math могут быть рассчитаны любые спектральные индексы. Кроме того, имеется специальный калькулятор вегетационных индексов ENVI (калькулятор VI ENVI), который позволяет рассчитать 27 вегетационных индексов, используемых для оценки состояния растительности, содержания пигментов, азота, углерода, воды. Формулы, по которым рассчитываются индексы из калькулятора VI ENVI, описаны в ENVI Help, поэтому здесь мы не будем их дублировать. При выборе снимка в калькуляторе VI ENVI программа предложит список индексов, которые можно рассчитать для данного набора спектральных зон. Например, по снимкам, где есть только красная и ближняя инфракрасная спектральные зоны, программа предложит рассчитать два индекса – NDMI и RVI. При работе с гиперспектральным снимком будет предложен расчет всех 27 индексов.

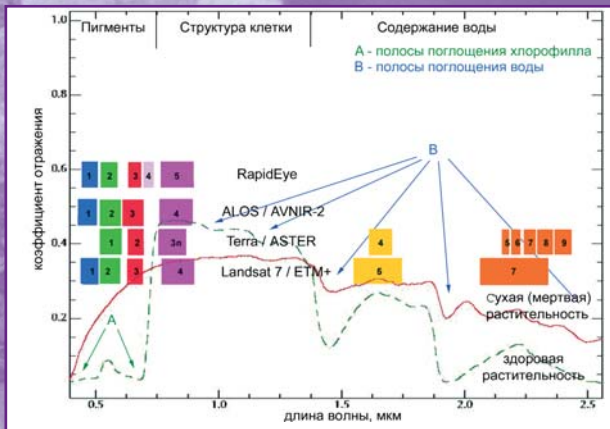


Рис. 1.

Обобщенная кривая спектральной отражательной способности сосудистых растений и съемочные зоны аппаратуры RapidEye, AVNIR-2, ASTER, ETM+ (на участке от 0,4 до 2,5 мкм)

Индексы сгруппированы в категории по свойству растительности, которое они характеризуют:

- **Broadband Greenness** (5 индексов): индексы «зелености», рассчитываемые по данным в широких спектральных зонах;
 - **Narrowband Greenness** (7 индексов): индексы «зелености», рассчитываемые по данным в узких спектральных зонах;
 - **Light Use Efficiency** (3 индекса): индексы эффективности использования света;
 - **Canopy Nitrogen** (1 индекс): индекс содержания азота в растительном покрове;
 - **Dry or Senescent Carbon** (3 индекса): индексы содержания углерода в виде лигнина и целлюлозы;
 - **Leaf Pigments** (4 индекса): индексы содержания пигментов – каротиноиды и антоцианины;
 - **Canopy Water Content** (4 индекса): индексы для оценки содержания влаги в растительном покрове.
- Рассмотрим особенности каждой группы вегетационных индексов.

Broadband Greenness

Индексы этой группы отражают общее количество растительности и используются для оценки ее состояния при решении широкого круга задач. Они суммируют и отражают влияние таких факторов, как содержа-

ние хлорофилла, площадь листовой поверхности, сомкнутость и структура растительного покрова. Вегетационные индексы этой группы хорошо коррелируют с индексом фотосинтетически активной радиации (fAPAR) и индексом листовой поверхности (LAI).

Их можно использовать при работе с любыми мультиспектральными аэрокосмическими снимками высокого, среднего или низкого разрешения, у которых есть спектральные каналы в красной (0,60-0,75 мкм) и ближней инфракрасной (0,75-1,3 мкм) зонах.

Основное назначение этих индексов – картирование растительного покрова, выявление площадей покрытых и непокрытых растительностью, оценка и мониторинг состояния растительного покрова, оценка продуктивности и урожайности.

Narrowband Greenness

Индексы этой группы также отражают общее количество и состояние растительности. Все, сказанное для предыдущей группы индексов (Broadband Greenness), справедливо и здесь. Отличие в том, что для расчетов этих индексов используются значения коэффициентов отражения на участке спектра от 0,690 до 0,750 мкм, т. е. рассматривается область ближнего инфракрасного склона спектральной кривой растительности (red edge).

Использование значений коэффициентов отражения в узких спектральных зонах позволяет с помощью индексов фиксировать даже небольшие изменения состояния растительности. Расчет индексов возможен только по гиперспектральным аэрокосмическим снимкам.

Light Use Efficiency

Индексы этой группы отражают эффективность, с которой растительность способна использовать поступающий свет для фотосинтеза. Они хорошо коррелируют с эффективностью усвоения углерода и с активностью роста, а также тесно связаны с поглощением фотосинтетически активной радиации.

Вегетационные индексы учитывают соотношение между различными типами пигментов для оценки общей эффективности использования света.

Индексы помогают оценить рост и продуктивность растений, что актуально при решении сельскохозяйственных задач.

Canopy Nitrogen

Этот индекс отражает концентрацию азота в растительном покрове. Азот входит в состав белков, хлорофилла и многих других органических соединений. Высокие концентрации обычно наблюдаются в быстрорастущей растительности. При азотном голодании листья приобретают бледно-зеленую окраску, мельчают, уменьшается ветвление побегов. При избытке азота усиливается рост, ткани образуются рыхлые, цветение задерживается. Вегетационные индексы, чувствительные к хлорофиллу, часто одновременно отражают содержание азота. Для расчета относительного содержания азота в растительном покрове используется средний инфракрасный диапазон (SWIR).

Dry or Senescent Carbon

Эти индексы разработаны для учета общего количества «сухого» углерода в виде лигнина и целлюлозы. Такой углерод в больших количествах присутствует в древесине и в мертвых или сухих растительных тканях. Увеличение этих показателей может отражать процесс «старения» и отмирания растений. Для расчета относительного содержания азота в растительном покрове используется средний инфракрасный диапазон (SWIR). Эти индексы широко используются при оценке пожарной опасности на территории.

Leaf Pigments

Индексы этой группы оценивают пигменты, характерные для растений в состоянии стресса. К ним относятся каротиноиды и антоцианины, которые наблюдаются в значительных количествах у угнетенной растительности. Индексы не учитывают хлорофилл, так как он измеряется с использованием индексов «зелености». Областями применения индексов Leaf Pigments является сельское хозяйство (мониторинг состояния полей и оценка урожайности), а также выявление участков растительного покрова, находящихся в стрессовом состоянии.

Часто индексы могут показать стрессовое состояние растительности еще до того, как оно будет заметно «невооруженным глазом». Для их расчета используются данные в узких спектральных зонах видимого диапазона.

Canopy Water Content

Эти индексы разработаны для оценки содержания влаги в растительном покрове. Содержание воды – важный показатель, высокое содержание влаги характерно для здоровой растительности, которая быстрее растет и более устойчива к пожарам. Для расчетов индексов используется ближний и средний инфракрасный диапазоны. Индексы широко применяются при оценке пожарной опасности на территории вместе с индексами группы Dry or Senescent Carbon.

Каждая из перечисленных групп индексов предназначена для оценки какого-либо из свойств растительного покрова и содержит несколько индексов. Для конкретных природных условий и различных задач одни индексы из группы могут дать более точные результаты, чем другие. Сравнивая результаты расчетов индексов с полевыми данными, можно выбрать индекс, максимально точно отражающий исследуемое свойство. Таким образом существенно повышается точность результатов при последующей обработке.

ИНДЕКС NDVI

Расчет наиболее популярного и часто используемого индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) дополнительно вынесен в отдельный инструмент ENVI. NDVI – нормализованный разностный индекс растительности был впервые описан Rouse V.J. в 1973 г. –



Рис. 2.
Исходный снимок с QuickBird

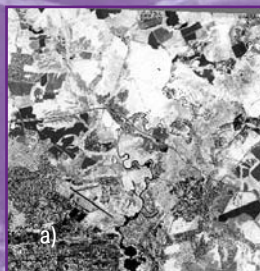


Рис. 3.
Результат расчета индекса NDVI:
а) индексное изображение в полутоновом варианте;
б) индексное изображение, раскрашенное в псевдоцвета

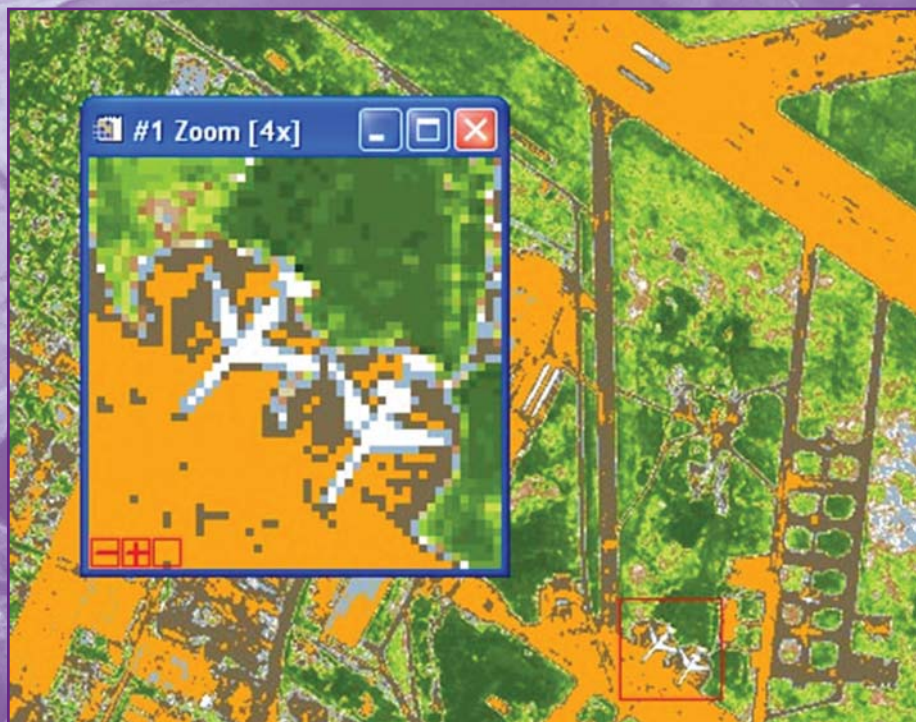


Рис. 4
Увеличенный фрагмент индексного изображения, раскрашенного в псевдоцвета

простой количественный показатель количества фитомассы. Говоря вегетационный индекс, часто подразумевают именно его.

Индекс вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{\rho_{БИК} - \rho_{КР}}{\rho_{БИК} + \rho_{КР}},$$

где $\rho_{КР}$ – коэффициент отражения в красной спектральной зоне, $\rho_{БИК}$ – коэффициент отражения в ближней инфракрасной спектральной зоне.

Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, и чем больше зеленая фитомасса, тем они выше. На значения индекса влияет также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью. Индекс умеренно чувствителен к изменениям почвенного фона, кроме случаев, когда густота растительного покрова ниже 30%. Индекс может принимать значения от -1 до 1. Для зеленой растительности индекс обычно принимает значения от 0,2 до 0,8.

Приведем примеры расчета индекса NDVI, наглядно показывающие его информативность. В качестве исходных данных был взят снимок со спутника QuickBird на район Казани (рис. 2).

Полученное индексное изображение (рис. 3а) можно «раскрасить». Существует стандартизированная шкала NDVI, она используется достаточно редко. В данном

случае собственная шкала дала более наглядный результат (рис. 3б).

Оранжевый цвет характерен для дорог, строений и других искусственных объектов, коричневый – для открытых почв, голубой – для воды, а различные оттенки зеленого – для растительности. Обратите внимание, как четко видны самолеты (рис. 4).

Открытая почва по NDVI занимает промежуточное положение между растительностью / не растительностью и водой. Часто участки открытой почвы отражаются как вода или как искусственный материал, имеют значения индекса около 0 или даже <0 (рис. 5).

Главным преимуществом вегетационных индексов является легкость их получения и широкий диапазон решаемых с их помощью задач. Так, NDVI часто используется как один из инструментов при проведении более сложных типов анализа, результатом которых могут являться карты продуктивности лесов и сельскохозяйственных земель, карты ландшафтов и природных зон, почвенные, аридные, фито-гидрологические, фенологические и другие эколого-климатические карты. Также на его основе возможно получение численных данных для использования в расчетах оценки и прогнозирования урожайности и продуктивности, биологического разнообразия, степени нарушенности и ущерба от различных стихийных бедствий, техногенных аварий и т. д.

В заключение следует отметить, что любые вегетационные индексы не дают абсолютных количественных показателей

исследуемого свойства, и их значения зависят от характеристик сенсора (ширина спектральных каналов, разрешения), условий съемки, освещенности, состояния атмосферы. Они дают только относительные оценки свойств растительного покрова, которые могут быть интерпретированы и с привлечением полевых данных пересчитаны в абсолютные.

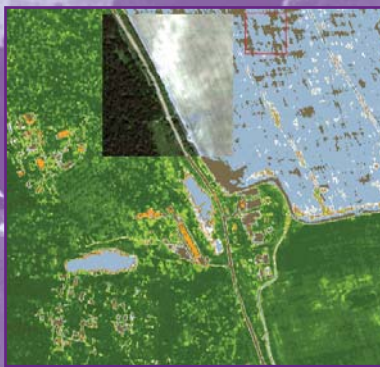
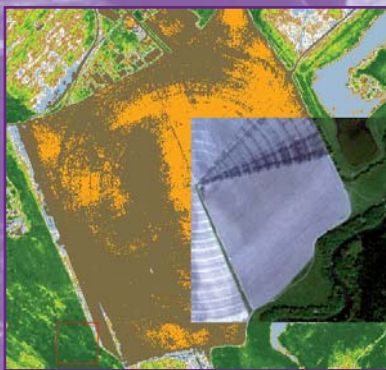


Рис. 5
Отображение растительности и открытой почвы

И.А. Ембаев (ООО «Курган-Охота»)

В 1988 г. окончил Иркутский сельскохозяйственный институт по специальности «биология (охотоведение)». В настоящее время – штатный охотовед ООО «Курган-Охота».

А.В. Абросимов (Компания «Совзонд»)

В 1992 г. окончил географический факультет Удмуртского государственного университета по специальности «география». Работал руководителем вузовско-академической лаборатории Курганского государственного университета и Института географии РАН. В настоящее время – заместитель главного инженера компании «Совзонд». Кандидат географических наук.

Инвентаризация охотничьих угодий по результатам классификации мультиспектральных изображений

Как это ни парадоксально в эпоху покорения космоса и развития нанотехнологий, последним со времени изобретения кульманов и ризографов «революционным» решением при разработке некоторых проектных материалов, содержащих пространственную информацию, до сих пор остается использование текстовых редакторов и электронных таблиц. Такая технология еще нередко применяется и при создании проектов внутрихозяйственного устройства охотничьих хозяйств – охотустройств.

В то время как близкие по сути задачи, где важнейшим элементом также является необходимость использования геопро пространственной информации, такие как создание проектов лесо- и землеустройства, уже давно решались с применением ГИС-технологий, многие охотустроители типы охотничьих угодий выделяли по бумажным лесотаксационным планам, площади рассчитывали на калькуляторе с использованием палетки, а карты с экспликацией угодий раскрашивали вручную.

Современное качественное охотустройство невозможно без использования ГИС-технологий. Фактически, проект охотустройства является схемой территориального планирования, в которой подавляющая часть информации имеет географическую составляющую, т. е., охотустройство является специфической геоинформационной системой.

Проект охотустройства включает в себя различные и весьма специфические разделы. Одним из первых

этапов разработки проекта охотустройства всегда является **инвентаризация** охотничьих угодий – выявление основных типов среды обитания, свойственных различным видам животных, охота на которые разрешена на данной территории [1]. В данной статье на примере территории Курганской области нами исследована возможность использования для таких целей мультиспектральных изображений и результатов их классификации.

При традиционном подходе некоторый участок территории охотничьего хозяйства относят к тому или иному типу угодий, прежде всего, в зависимости от характеристик растительного покрова (состава, возраста, ярусности, густоты и т. д.), определяющих кормовые и защитные свойства среды обитания различных видов животных. По типам угодий должна быть распределена вся территория хозяйства. Обычно для этого используются планы лесных насаждений, земельные планы, карты сельскохозяйственного кадастра и тому подобные материалы, доступные для разработчиков. Результаты типологизации актуализируются и корректируются по данным выборочных полевых обследований.

С ростом доступности для конечных потребителей данных дистанционного зондирования и средств работы с ними, для оценки типов и качества охотничьих угодий все чаще стали применяться снимки различных космических аппаратов. Нами использова-

лись космические снимки, полученные съемочной системой AVNIR-2 с КА ALOS [2] и поставленные компанией «Совзонд». Выбор этого вида данных дистанционного зондирования обусловлен наличием четырех спектральных каналов, высокой актуальностью съемки (2007–2008 гг.), а также доступной практически для любого охотпользователя стоимостью. Наличие синего канала позволяет синтезировать изображения территории в «привычных глазах» натуральных цветах. Синтез с использованием инфракрасного канала дает возможность выполнять визуальный анализ территории и предварительную оценку состояния растительного покрова.

Десятиметровое пространственное разрешение съемочной системы AVNIR-2 на местности является, на наш взгляд, близким к оптимальному для целей

выявления типологии охотничьих угодий методом классификации растрового изображения. С одной стороны, различимы достаточно мелкие детали местности, такие как небольшие прогалины в лесных массивах, мелкие колки и водоемы, русла небольших ручьев и другие особенности ландшафта, которые могут иметь определенное охотхозяйственное значение, а с другой – нивелируются ненужные для указанных целей мелкие подробности, приводящие к нецелесообразному увеличению объема информации и неизбежным трудностям в работе с результатами классификации.

Даже простой визуальный анализ снимков с ALOS/AVNIR-2, особенно в синтезе каналов NIR-R-G, при наличии некоторого опыта интерпретации цветовой и текстурной гаммы изображения, позволяет

составить достаточно полное представление о типологии угодий охотничьего хозяйства. Для более точной интерпретации изображений отдельных участков территории удобно использовать плановые материалы масштаба 1:10 000–1:25 000, а также снимки высокого разрешения, доступные, например, на сервисах ImageAtlas или GoogleMaps [3, 4]. Лучшим, по нашему мнению, способом для визуальной интерпретации мультиспектральных изображений, особенно с учетом возможности построения различных цветовых синтезов является фиксация координат наземных контрольных точек с одновременным фотографированием окружающего ландшафта в ходе натурного обследования территории. При анализе данных можно наложить

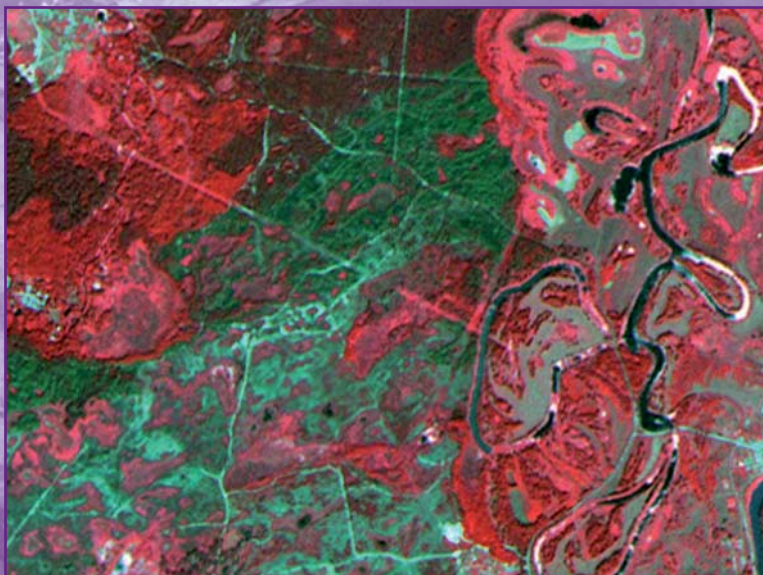


Рис. 1.

Мультиспектральное изображение участка территории охотничьего хозяйства с высоким разнообразием и мозаичностью ландшафтов, полученное системой AVNIR-2 (синтез каналов NIR-R-G). Присутствуют разнотипные лесные, полевые, водно-болотные ландшафты, имеется участок речной поймы, степные и солончаковые участки, пойменные озера с разными типами зарастания. Некоторые сельхозугодья зарастают травянистой растительностью и молодняком лиственных пород деревьев

слой нумерованных точек на снимок и сопоставить фотографии местности с соответствующими участками снимка.

Именно такой подход был использован на первом этапе работы с изображениями, полученными системой AVNIR-2. Предварительное понимание того, какие ландшафты или типы угодий визуально видны на снимке, особенно важно для последующего выделения необходимой типологии. Дело в том, что большинство типов охотничьих угодий, которые должен выделить охотустроитель, имеют весьма широкий спектральный диапазон пикселей изображения, отвечающего этому типу. Например, элемент мультиспектрального изображения, соответствующий участку типа «болото лесостепное», включает участки прибрежной растительности, воды, кустарников. Участки типа угодий «редколесье лиственное» включают кроны деревьев различной плотности и возраста, а также луговые фрагменты с различным составом растительности. Таким образом, спектральная картина целевых участков ландшафта может быть достаточно сложной, что существенно усложняет задачу (рис. 1).

Цель охотустроителя состоит в выделении участков мультиспектральных изображений, соответствующих определенным типам ландшафта и включающих порой почти весь спектральный диапазон данных. Эта задача противоречит самой идеологии классификации, состоящей в выделении участков изображения, сходных по спектральным характеристикам. В данном случае скорее необходимо обозначить участки изображения, которые бы соответствовали типам угодий, уже определенным в ходе предварительного натурного обследования территории, нежели выделить некоторое количество спектрально однородных классов и затем пытаться идентифицировать их как тот или иной тип угодий. Известно, что спектрально однородные классы хорошо коррелируют с характером растительного покрова, типом и влажностью почв, однако каждый такой класс в отдельности невозможно сопоставить с каким-то определенным типом угодий или ландшафтом.

Очевидно, что строгое решение такого рода задачи требует многоуровневой обработки исходных данных с применением принципиально отличных методов анализа изображения, при этом классификация по спектральным характеристикам — только один из

ее этапов. Тем не менее, опыт нашей работы показывает возможность получения достаточно корректной картины типологии охотничьих угодий, с использованием в качестве основы только результатов классификации.

В проекте охотустройства, как правило, выделяют три крупных класса охотничьих угодий: лесные, полевые и водно-болотные. Каждый из них должен быть конкретизирован до более узких типов угодий, определяющих особенности среды обитания данной территории. Например, в классе «Леса» возможно выделение типа «Сосновые леса», а также более узкого типа, например, «Спелые сосняки ягодниково-разнотравные».

Для целей выделения типов охотничьих угодий средней полосы лучше подходят снимки, сделанные в июле–сентябре. В этот период растительный покров уже (и еще) достаточно развит, можно наблюдать различные фазы его развития, обрабатываемые сельскохозяйственные угодья также имеют характерную цветовую гамму и текстурный рисунок, вследствие чего общая цветовая контрастность таких снимков выше тех, что получены весной или ранним летом. Широкий спектральный диапазон изображения в целом дает больше информации о типологии территории, позволяя выделить более узкие интересные классы охотугодий.

Классификация растрового изображения проводилась как методом итерационного самоорганизующегося анализа (ISODATA), так и с указанием обучающих выборок — методами спектрального угла и расстояния Махаланобиса. Работы выполнялись в программном комплексе ENVI [5]. Были использованы данные системы AVNIR-2 с уровнем обработки 1B2R, прошедшие атмосферную коррекцию в компании «Совзонд». Пространственная привязка космических снимков осуществлялась по наземным точкам, координаты которых были определены на местности с помощью GPS-навигатора.

Установлено, что для целей выделения типологии охотничьих угодий, алгоритмы классификации с обучением и без обучения приводят к принципиально равнозначным результатам. В том и другом случае необходима постклассификационная обработка, а также работа с производными векторными данными. Тем не менее, оба подхода имеют свои достоинства и недостатки.

Так, метод ISODATA позволяет без создания обучающих выборок, которое может занять достаточно длительное время, получить заданное количество классов и в дальнейшем проводить их обработку. С ростом доступности многоядерных процессоров и наличием оптимизации распределения загрузки доступных ядер в пакете ENVI, длительность итерационной процедуры уже не является фактором, лимитирующим использование метода ISODATA. Так, классификация снимка территории, площадью 25 тыс. га (площадь среднего охотничьего хозяйства в Курганской области), на 25 классов по четырем каналам с пределом сходимости 0,5% на персональном компьютере с четырехъядерным процессором частотой 2,4 ГГц занимает порядка 20–30 минут. И хотя с результатами неконтролируемой классификации требу-

ется несколько больший объем последующей работы (как с растровым изображением, так и с векторными полигонами, полученными на его основе), общее время обработки исходных данных до конечного векторного слоя практически сопоставимо с таковым при использовании классификации с обучением.

К недостаткам неконтролируемой классификации можно отнести невозможность априорного определения оптимального количества классов, на которое следует разбить изображение для выделения всех интересных особенностей ландшафтов. Это количество зависит от:

- характеристик конкретной сцены (сезона и времени съемки, распределения облачности и др.);
- характера и разнообразия ландшафтов конкретной территории;

- задач, сформулированных в ходе натурального обследования территории.

В общем случае можно сказать, что для рассматриваемых целей необходимое число классов может составлять от 15 до 25. Подбор оптимального числа классов неконтролируемой классификации требует значительного времени. Поскольку заранее неизвестно, сколько и каких классов окажется «лишними», т. е., не требуется для формирования окончательного векторного слоя и будет элиминировано, предпочтительно иметь их избыток.

Методы контролируемой классификации позволяют тонко отрегулировать спектральный состав получаемых классов и задать их целевое количество в соответствии с результатами натурального обследования. Как и следовало ожидать, прямое указание контуров участков це-

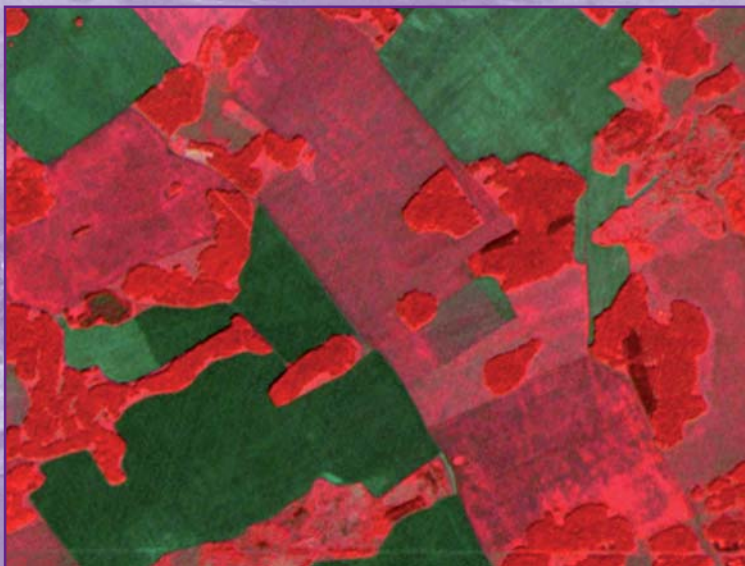


Рис. 2.

Мультиспектральное изображение участка территории охотничьего хозяйства с высоким разнообразием и низкой мозаичностью ландшафтов, полученное системой AVNIR-2 (синтез каналов NIR-R-G). Леса относительно однородные, полевые угодья представлены лугами, обрабатываемыми сельскохозяйственными угодьями, некоторые из них зарастают молодняком лиственных пород

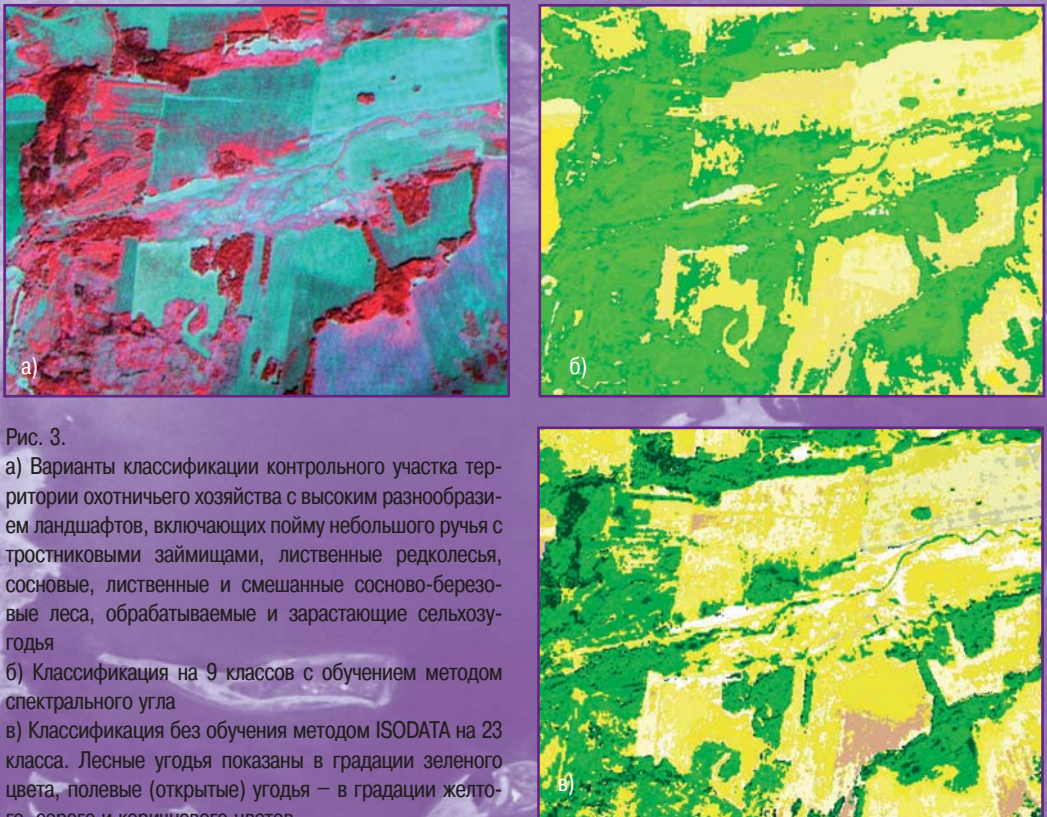


Рис. 3.

- а) Варианты классификации контрольного участка территории охотничьего хозяйства с высоким разнообразием ландшафтов, включающих пойму небольшого ручья с тростниковыми займищами, лиственные редколесья, сосновые, лиственные и смешанные сосново-березовые леса, обрабатываемые и зарастающие сельхозугодья
- б) Классификация на 9 классов с обучением методом спектрального угла
- в) Классификация без обучения методом ISODATA на 23 класса. Лесные угодья показаны в градации зеленого цвета, полевые (открытые) угодья – в градации желтого, серого и коричневого цветов

левых типов охотничьих угодий в качестве тренировочных образцов не позволяет получить корректного набора эталонных спектров – классы не разделяются и перекрываются. Необходимо тщательное выделение тренировочных участков, желательно в различных частях территории, что также достаточно трудоемко. В этом случае можно выделить лишь несколько узких классов, которые будут использованы для формирования нескольких сложных типов угодий, не проводя классификацию с обучением для всего изображения.

Следовательно, для изображений территорий, характеризующихся значительным разнообразием ландшафтов и типологии угодий, и как следствие, широким спектральным диапазоном, проще выпол-

нить несколько более длительную автоматическую классификацию методом ISODATA с получением 20–25 классов, нежели набрать то же количество типов корректных спектральных образцов, проводя затем их исследование на разделимость и перекрывание спектральных выборок. Для изображений с более однородным ландшафтом (рис. 2) целесообразно использовать контролируемую классификацию. Однако такие территории в Курганской области встречаются довольно редко.

Наиболее простой подход, использованный нами, состоял из следующих этапов. Сначала проводилась классификация изображения AVNIR-2 с обучением или без такового. При этом делали два варианта классификации – на 5–10 классов и на 15–25 клас-

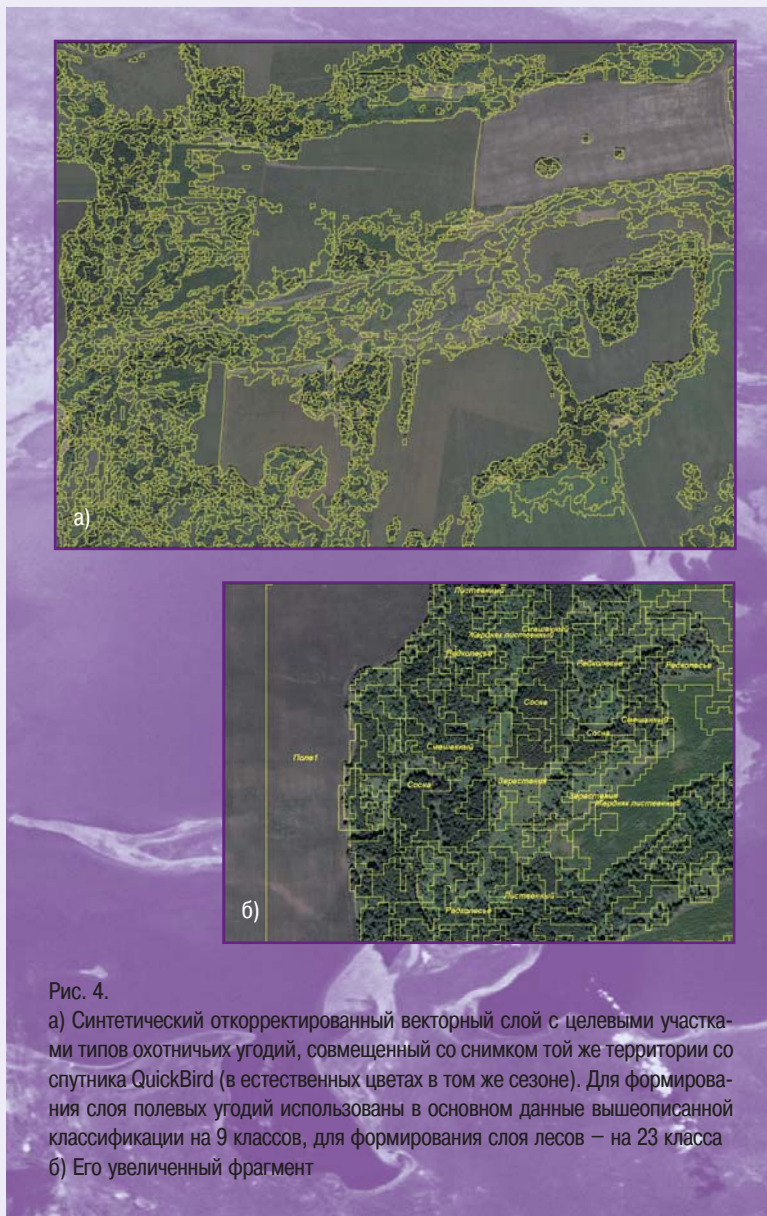


Рис. 4.

- а) Синтетический откорректированный векторный слой с целевыми участками типов охотничьих угодий, совмещенный со снимком той же территории со спутника QuickBird (в естественных цветах в том же сезоне). Для формирования слоя полевых угодий использованы в основном данные вышеописанной классификации на 9 классов, для формирования слоя лесов – на 23 класса
- б) Его увеличенный фрагмент

сов (рис. 3). Конкретное число классов определялось по указанным выше принципам. Проводилась постклассификационная обработка полученных изображений с необходимым уровнем генерализации. Для данных AVNIR-2, как правило, применялась гене-

рализация классифицированного растра до уровня 4 пикселей с учетом соседей по 4 граням. Классификация с меньшим числом классов переводилась в векторный вид без объединения классов. Отдельные классы этого слоя использовались для формирования участков некоторых типов угодий, характеризующихся широким спектральным составом, но которые должны быть значительно генерализованы в целях проекта, прежде всего полевые и водные угодья.

Второй вариант классификации подвергался дальнейшей обработке средствами постклассификационного анализа с целью добиться максимально возможного соответствия целевым типам при минимально возможном количестве используемых классов, после чего также переводился в векторную форму.

Более сложный подход включал в себя использование маскирующего канала для исключения из классификации тех участков изображения, которые удалось удовлетворительно задать с помощью небольшого числа классов, при этом в качестве маскирующего канала использовался соответствующим образом обработанный классифицированный растр.

Применялся также описанный выше прием классификации с обучением при ограниченном числе эталонных участков.

Векторные полигоны обоих вариантов классификации использовались для формирования контуров

требуемых типов угодий. Окончательная сборка векторных слоев и их последующая корректировка, в том числе, при необходимости, в «ручном» режиме, а также коррекция и согласование топологии полигонов проводились в ПО MapInfo Professional.

Полученный «синтетический» векторный слой (рис. 4) проверялся на предмет соответствия полученной типологии данным полевых исследований реальных типов угодий, зафиксированных по наземным калибровочным точкам. Совпадение типологии составляет в среднем от 90% до 96%, большинство несоответствий приходится (в порядке убывания) на болотные, лесные и полевые угодья, а также на участки пограничных ландшафтов указанных типов – именно они являются самыми разнообразными в спектральном отношении. Оценка корректности результатов типологизации позволяет говорить о принципиальной возможности применения описанного метода для экспликации типов охотничьих угодий и последующего расчета их площади.

При разделении на небольшое число классов полевые угодья классифицируются с достаточной для целей инвентаризации охотугодий дискретностью, при этом хорошо отграничиваются от совокупности лесных угодий. Исключение составляют участки заброшенных полей, зарастающих сорным высокотравьем, которые совпадают с классом хвойных или смешанных лесов. Также не отделяются участки зрелых лиственных лесов от участков, занятых лиственными молодняками. Лесные и болотные угодья получаются недопустимо генерализованными.

При разделении на большое число классов дискретность классов, соответствующих лесным и болотным угодьям, достаточна для формирования контуров целевых типов угодий с заданной подробностью. Разделение большинства полевых угодий излишне подробно, часть этих классов может быть элиминирована путем объединения.

В заключение сделаем несколько замечаний относительно ограничений использованного подхода и направлений для дальнейшего исследования возможностей применения мультиспектральных спутниковых изображений для целей описания типологии охотугодий, разработки проекта охотустройства и задач охотничьего хозяйства вообще.

Применение ГИС-технологий и использование данных ДЗЗ, в том числе, результатов обработки мультиспектральных изображений при инвентаризации охотничьих угодий не отменяет необходимости полевых работ, которые, безусловно, составляют основу проекта и обеспечивают оценку корректности результатов типологизации.

При любом варианте работы с мультиспектральными данными ДЗЗ и их производными требуется некоторый объем «ручной» работы для окончательной корректировки векторных данных.

Для выполнения качественной инвентаризации типологии хозяйства невозможно ограничиться только данными мультиспектральных съемок, требуется использование плано-картографических материалов.

Очевидна необходимость поиска эффективных методов более детального разделения лесных угодий по типам, необходимым для охотхозяйственного проектирования. На основе классификации мультиспектральных изображений не всегда удается разделить леса по возрасту, составу пород, характеру подлеска, а тем более, по составу нижних ярусов и травянистого покрова. Здесь следует искать возможность применения дополнительных данных ДЗЗ, имеющих характеристики, коррелирующие с перечисленными признаками лесных угодий. Это могут быть, например, данные о высотах местности, уклонах рельефа, производные от спектральных характеристик. В этом случае весьма перспективным может быть использование алгоритма дерева решений.

Список литературы

1. Д.Н. Данилов и др. *Основы охотустройства, Лесная промышленность.* – М., 1966.
2. *Remote Sensing Technology Center of JAPAN [Электронный ресурс]. URL: http://www2.restec.or.jp/top_e.html.*

3. *ImageAtlas [Электронный ресурс]. URL: <http://imageatlas.digitalglobe.com/ia-webapp>.*
4. *Google Maps [Электронный ресурс]. URL: <http://maps.google.com>.*
5. *What is ENVI? [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itvis.com/ProductServices/ENVI.aspx>.*

В.А. Панарин

(МУ «Градостроительство», Дзержинск)

В 1983 г. окончил физико-технический факультет Томского государственного университета. Работал в НИИ «Машиностроения», с 1992 г. – в Комитете по земельным ресурсам и землеустройству, в кадастровой палате г. Дзержинска Нижегородской области, с 2002 г. возглавлял Дзержинский аэрогеодезический центр в составе Верхневолжского аэрогеодезического предприятия. С 2006 г. работает в Администрации города Дзержинска, в настоящее время – директор МУ «Градостроительство».

Р.В. Панарин (Нижегородская архитектурно-строительная академия)

Студент V курса Нижегородской архитектурно-строительной академии по специальности «городской кадастр».

Применение космических снимков в муниципальном управлении урбанизированных территорий для задач территориального планирования

В настоящее время «ахиллесовой пятой» архитектурно-строительных проектов городских и сельских поселений, особенно проектов территориального планирования, зонирования территории и проектов планировки, является отсутствие качественных исходных данных. Это связано со «старением» картографических материалов уровня муниципальных образований (в масштабах от 1:10 000 до 1:500), отсутствием в ведомствах точных сведений о современном состоянии территорий (лесные зоны, водные зоны, луговая растительность, степень и площади загрязнений и нарушений земель, состояние городского озеленения и т. д.). Если выдаваемая в качестве исходных данных для проектирования информация по составу объектов капитального строительства достаточно актуальна для разработки, то перечисленные выше сведения, как правило, предоставляются по состоянию на 1990-е, а то и 1980-е гг. Их обновление традиционными наземными методами требует значительных финансовых вложений, которые, попросту, отсутствуют в ведомствах и бюджетах поселений. К тому же, данные сведения не относятся напрямую к затратам на создание архитектурно-строительных проектов городских и сельских поселений и не

могут быть включены в сметы на создание проектов. Исходные сведения при проектировании подаются сторонними организациями в виде справочных материалов, утвержденных ведомствами и, следовательно, автоматически легитимны для разработчиков проектов, хотя и содержат устаревшие и неточные сведения. Эти проблемы растут с годами как снежный ком и порождают даже для высококачественных проектов недостаточно адекватные действительности оценки объемов работ и затрат на реализацию заложенных в территориальных проектах целей.

Может ли разработчик проекта, поставщик исходных данных или заказчик работ уточнить исходные данные в ответственные для разработки проекта сроки и за приемлемую стоимость? Проекты территориального планирования создаются на большие площади, что автоматически подразумевает использование для этих целей данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Учитывая более низкие цены и высокие информативные свойства космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения по сравнению с традиционными картографическими материалами, данные снимки являются наиболее пригодными для решения вышеназванных проблем.

Авторы попытались на примере муниципального образования город округ город Дзержинск Нижегородской области рассмотреть возможности применения данных ДЗЗ из космоса для решения задач территориального планирования. На основе этих данных создавался справочный материал оценки состояния городских территорий, который был положен в основу схем современного использования территорий в проектах генеральных планов, правилах землепользования и застройки и проектах планировки территорий.

Городской округ город Дзержинск находится в центре Нижегородской области на левом берегу реки Оки, в 37 км от Нижнего Новгорода. Площадь города составляет 42,2 тыс. га и включает 16 населенных пунктов. Рельеф равнинный, без сильных понижений и повышений. Одна из проблем – карстовые явления, что является осложняющим фактором как в производственной сфере города, так и для населения. Преобладают песчаные почвы. В северо-западной части – обширные площади торфяников, на восточной окраине города – месторождение силикатных песков промышленного применения. На территории города имеется памятник природы областного значения «Болота Пырские и озеро Пыра». Южная граница города проходит по реке Оке. На территории города расположено достаточно много озер. Примерно половину площади городского округа занимают леса и лесопосадки.

В промышленности в основном преобладает химическая отрасль. В целом, промышленность и обусловила развитие города и городских территорий, а также сильно повлияла на экологическую обстановку.

Соответственно, вышеназванные факторы определяют содержание и направленность территориального планирования города. Оценить данные факторы по имеющимся в городе картографическим материалам и результатам исследований достаточно сложно в связи с устаревшими исходными данными. Основные сведения не обновлялись с начала 1990-х гг. На таких сведениях с отрывочными обновленными данными, полученными при проведении землеустроительных и проектно-изыскательских работ, и разработан генеральный план города. Естественно, в юридическом смысле претензий к генеральному плану быть не может, так как его разработка основана на справочных сведениях ведомств, занимающихся природоохранными, землеустроительными и кадастровыми работами на городских территориях. Провести полный комплекс

работ по обновлению всех сведений до разработки проекта генерального плана города или проектов планировки территорий традиционными средствами не представляется возможным, в первую очередь, из-за отсутствия достаточных финансовых средств подведомственных организаций и администрации города.

Дистанционное зондирование имеет широкий круг приложений, включая такую область применения, как военная разведка, с которой берут начало многие из методов. Важно подчеркнуть, что, например, что данные, полученные в результате съемки из космоса, часто невозможно получить никакими другими методами, а в большинстве остальных случаев она является наиболее доступным по стоимости способом получения информации [1].

Для получения необходимой информации используются предварительно обработанные космические снимки. Основная особенность таких снимков в том, что при их обработке используются изображения одной и той же территории в различных диапазонах излучения электромагнитных волн: ультрафиолетовый, видимый, инфракрасный и радиоволновый, которые, в свою очередь, делятся на поддиапазоны (зоны спектра). После обработки таких изображений получают новый снимок, на котором более четко выделяются требуемые объекты или территории. После этого проводится классификация данных. Целью этой обработки космических снимков является замена визуального дешифрирования снимка автоматическим [2].

Следующим этапом обработки является объединение данных и их интеграция в геоинформационную систему (ГИС). Перенос данных в ГИС позволяет проводить обработку разновременных данных и хранить графическую информацию в векторном формате, что существенно облегчает отслеживание изменений по графической и семантической информации.

В качестве основы для получения справочных данных авторами были использованы космические снимки сверхвысокого разрешения, полученные с космического аппарата (КА) QuickBird.

Для обработки снимков можно использовать различное программное обеспечение. В данной работе применялся программный комплекс (ПК) ENVI, разработанный компанией ИТ Visual Information Solutions (США). Использование ПК ENVI было обусловлено следующими причинами:

- данный программный комплекс является одним из наиболее применяемых в области обработки космических снимков;
- комплекс обладает наилучшим аппаратом классификации для дешифрирования объектов и территорий;
- освоение комплекса и работа с ним вполне доступна специалистам управления архитектуры и градостроительства при наличии готовых методик обработки;
- использование ПК ENVI для обработки материалов космических съемок в технологии создания и обновления карт с использованием данных ДЗЗ позволит выполнять проекты с максимальным удобством в кратчайшие сроки и экономически эффективно;
- данный комплекс приобретен Управлением архитектуры и градостроительства города Дзержинска, что позволило проводить работы по обработке снимков без привлечения сторонних организаций.

Для оптимального дешифрирования и автоматического получения зонального деления территории, соответствующего зонированию генерального плана, был выбран алгоритм классификации космического снимка.

Рассмотрим отдельно каждый из способов обработки снимков. На рис. 1. в качестве примера классификации приведен фрагмент космического снимка с пространственным разрешением 2,4 м на пиксель.

В ПК ENVI существует два алгоритма неконтролируемой классификации: K-Means и ISODATA (Iterative Self Organizing Data Analysis Technique – итеративный самоорганизующийся способ анализа данных) [3].

Классификатор **K-Means** использует статистические методы, чтобы сгруппировать n-мерные данные в их естественные спектральные классы. Этот алгоритм классификации без обучения использует кластерный анализ, требующий от оператора выбор числа групп, которые будут выделены из данных. Алгоритм произвольно определяет местонахождения центров этих групп, затем многократно повторяет эту процедуру до тех пор, пока оптимальная спектральная определимость не будет достигнута. Оператор задает следующие параметры:

- Number of Classes – число классов, которые будут выделены на снимке;
- Maximum Iterations – максимальное число итераций;
- Threshold – порог сходимости – количество пикселей (в процентах), которые меняют принадлеж-

- ность к классу при переходе к следующей итерации;
- Maximum Stdev from mean – максимальное стандартное отклонение от среднего;
- Maximum distance error – максимальная ошибка расстояния.

Пример использования данного алгоритма классификации приведен на рис. 2. В нем использованы следующие параметры: Number of Classes – 7, Maximum Iterations – 20, Threshold – 96, Maximum Stdev from mean – 13. Результат такой обработки трудно назвать удовлетворительным – даже водные объекты достаточно сложно дешифрируются, так как на них существуют заболоченные участки, которые отнесены к иному классу. При продолжительных экспериментах можно добиться лучших результатов, а также уточнить закономерности между разделяемыми классами.

При использовании классификатора **ISODATA** оператор задает следующие показатели:

- Number of Classes – число классов, которые будут выделены на снимке;
- Maximum Iterations – максимальное число итераций;
- Threshold – порог сходимости – количество пикселей (в процентах), которые меняют свою принадлежность к классу при переходе к следующей итерации;
- Maximum Stdev from mean – максимальное стандартное отклонение от среднего;



Рис. 1.
Фрагмент снимка с KA QuickBird

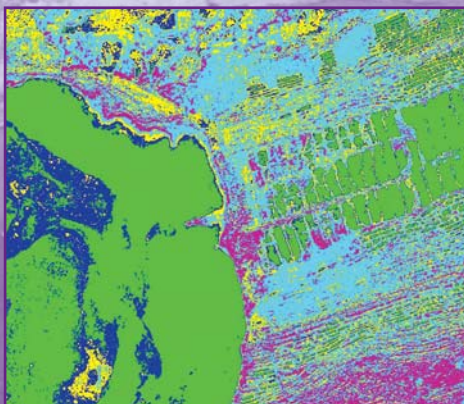


Рис. 2.
Результат классификации с использованием алгоритма K-Means

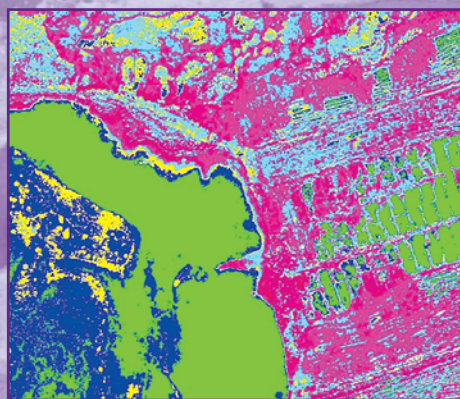


Рис. 3.
Результат классификации с помощью алгоритма ISODATA

- Minimum # Pixel in class – минимальное число пикселей для выделения класса (если выделенный класс будет меньше, чем указанный порог, то он будет удален, а пиксели отнесены к ближайшему классу);
- Maximum Class Stdev – максимальное стандартное отклонение внутри класса (если стандартное отклонение класса будет больше, чем указанный порог, то класс будет разбит на 2 класса);
- Minimum Class Distance – минимальное спектральное расстояние (в яркостных значениях, DN) внутри класса. Если расстояние между центрами классов меньше, чем введенное значение, тогда классы будут объединены;
- Maximum # Merge Paeirs;
- Maximum distance error – максимальная ошибка расстояния (в яркостных значениях, DN).

Пример классификации этим алгоритмом представлен на рис. 3. Заданные параметры: Number of Classes – 7, Maximum Iterations – 20, Threshold – 96, Maximum Stdev from mean – 13, Minimum # Pixel in class – 3, Maximum Class Stdv – 5. Как можно заметить, результат немногим лучше, чем при использовании алгоритма классификации K-Means. Более четко выделяются водные поверхности, понять принадлежность остальных 6 классов к чему-либо, достаточно сложно.

Результаты неконтролируемой классификации оказались неудовлетворительными, поэтому использовать этот метод для выделения необходимых для зонирования объектов и территорий нежелательно. Далее рассмотрим алгоритмы контролируемой классификации [3].

В ПК ENVI представлены следующие алгоритмы классификации с обучением:

- способ параллелепипедов (Parallelepiped);
- способ минимального расстояния – Евклидова метрика (Minimum Distance Classification);
- способ «Расстояние Махаланобиса» (Mahalanobis Distance Classification);
- способ максимального правдоподобия (Maximum Likelihood Classification);
- способ спектрального угла (Spectral Angle Mapper Classification);
- способ двоичного кодирования (Binary encoding classification).

Для проведения контролируемой классификации были выбраны следующие типы объектов:

- леса (цвет – зеленый);
- дороги – асфальтированные и любые площадки, покрытые асфальтом (цвет – коричневый);
- вода и водные поверхности (цвет – синий);
- травянистая растительность (цвет – темно-зеленый);

- пустоши – территории, не покрытые растительностью (цвет – красный);
- все здания и сооружения (цвет – желтый);
- болота (выделялись отдельно по снимку с КА Landsat-7).

Результаты классификации **способом параллелепипедов (алгоритм Parallelepiped)** приведены на рис. 4. Достаточно хорошо выделены водные объекты, хотя их границы могут быть размыты; в области растительности появились объекты класса «здания»; травянистая растительность также плохо классифицирована. Результат гораздо лучше, чем при неконтролируемой классификации, но все равно не является приемлемым.

Результаты классификации **способом минимального расстояния (алгоритм Minimum Distance Classification)** приведены на рис. 5. Основные параметры, задаваемые при классификации:

- Select Classes from Regions – список областей интереса;
- Maximum Stdev from mean – максимальное стандартное отклонение от среднего значения класса;
- Maximum distance error – максимальная ошибка расстояния (в яркостных значениях, DN). Пиксели, расстояние до которых будет больше, чем эта величина, не будут классифицированы.

Если задать второй и третий параметры одновременно,

то будет использоваться наименьшее значение из двух остальных. Результат более точный, чем в предыдущем методе, но также не очень хорошо классифицированы границы лесов и травянистой растительности, плохо классифицированы дороги и здания.

Классификация **способом «Расстояние Махаланобиса» (алгоритм Mahalanobis Distance Classification)** использует статистику для каждого класса. Он подобен классификации способом максимального правдоподобия, но более быстрый и предполагает, что ковариации всех классов равны. Все пиксели классифицированы к самому близкому классу, выбранному областью интереса. Если определить порог расстояния, то некоторые пиксели могут быть неклассифицированными, если они выходят за пределы порога. Задаваемые параметры:

- Select Classes from Regions – список областей интереса;
- Set Max Distance Error – максимальная ошибка расстояния (в DN).

Результаты классификации с параметром Set Max Distance Error, равным 6, приведены на рис. 6. Как видно, достаточно хорошо выделяются водные объекты, так как данный параметр позволяет классифицировать даже те участки, которые иногда закрыты трясиной и классифицируются как объекты травянистой растительности. С другой стороны, из-за этого часто проис-

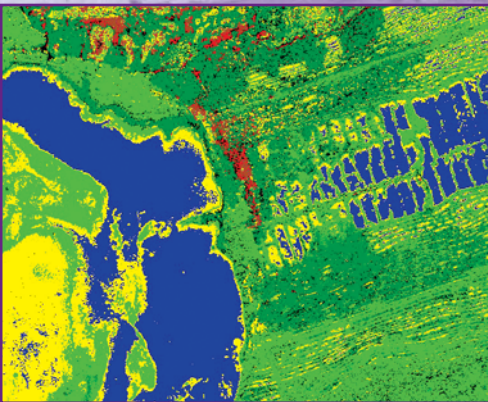


Рис. 4.
Результат классификации с помощью алгоритма Parallelepiped

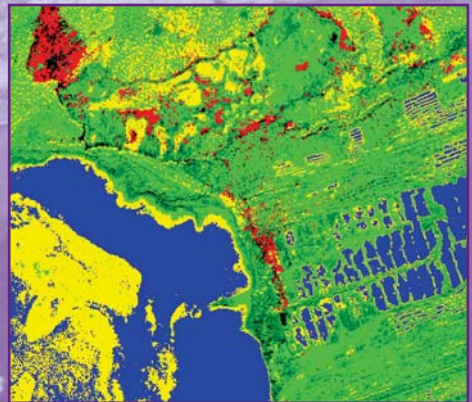


Рис. 5.
Результат классификации с использованием алгоритма Minimum Distance Classification

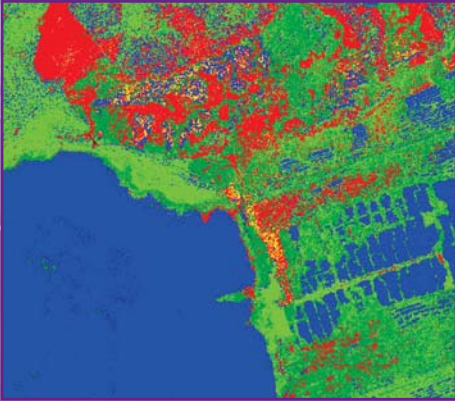


Рис. 6.
Результат классификации с использованием алгоритма Mahalanobis Distance Classification

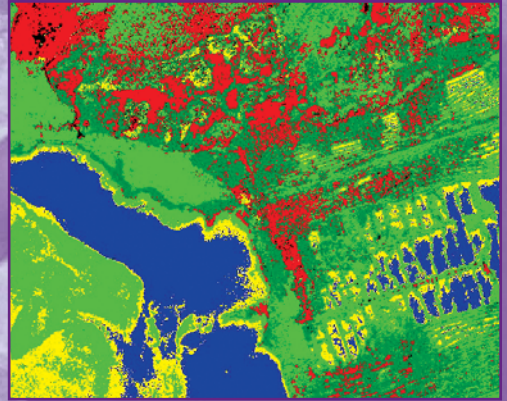


Рис. 7.
Результат классификации с использованием алгоритма Maximum Likelihood Classification

ходит нарушение границ объекта. Требуется достаточно дифференцированный подход для выделения отдельных классов.

При использовании **способа максимального правдоподобия (алгоритм Maximum Likelihood Classification)** были заданы следующие параметры:

- Select Classes from Regions – список областей интереса;
- Data Scale Factor – фактор масштаба данных – знаменатель масштаба, который используется для преобразования целых значений отражения или излучения в дробные значения. Например, для коэффициента отражения, измеряемого в диапазоне от 0 до 10 000, нужно установить фактор масштаба в 10 000. Для данных с целыми значениями яркости устанавливают фактор масштаба, равный максимальному значению, которое аппаратура может измерить $2^n - 1$, где n – радиометрическое разрешение оптико-электронной аппаратуры. Например, для 8-битовых систем (типа Landsat-7) устанавливают фактор масштаба в 255, для 10-битовых (типа NOAA 12 AVHRR) – в 1023, для 11-битовых (типа IKONOS) – в 2047 [3];
- Maximum Stdev from mean – максимальное стандартное отклонение от среднего значения класса.

Как можно увидеть на рис. 7, результат классификации при значениях параметров: Data Scale Factor – 2047, Maximum Stdev from mean – 5, получился даже хуже,

чем в предыдущем методе. Границы классифицированных объектов не совпадают с реальными границами объектов, водные объекты идентифицированы плохо.

Способ спектрального угла (алгоритм Spectral Angle Mapper Classification). В данном случае отношение пикселя к классу определяется за счет полученного максимального значения спектрального угла между средним значением класса и остальными значениями пикселей в n -мерном пространстве спектральных признаков (где n – число используемых каналов). Задаваемые параметры для расчета по данному алгоритму следующие:

- количество определяемых классов за счет загрузки файла областей интереса или файла в формате EVF;
- Maximum Angle – максимальный угол (задается в радианах) [3].

Пример результата классификации по данному алгоритму, представленный на рис. 8, имеет параметр Maximum Angle, равный 0,12. При более точной настройке можно получить более приемлемый результат. Результат не плохой, хотя видны явные ошибки по определению лесных массивов, как обычно хорошо определяются водные массивы. Точность определения остальных объектов – неудовлетворительная.

Параметры, задаваемые для реализации **способа двоичного кодирования (алгоритм Binary encoding classification)** следующие:

- Select Classes from Regions – список областей интереса;
- Minimum Encoding Threshold – минимальный порог кодирования, который задается для разграничения классов.

Результат классификации со значением параметра Minimum Encoding Threshold, равным 0,55, приведен на рис. 9. Как видно, он неудовлетворительный, так как не произошло разделения на травянистую и лесную растительность. Хорошо классифицированы водные объекты. Пустоши классифицированы неудовлетворительно. Дороги часто перепутаны с водными объектами.

Еще два способа классификации, а именно, «Дерево решений» (алгоритм Decision Tree Classifier) и «Нейронная сеть» (алгоритм Neural Net Classification), строго говоря, относятся к контролируемой классификации, так как для работы обоих требуется задать эталонные области.

Алгоритм **способа классификации «Дерево решений»** выполняет многоступенчатую классификацию. Он состоит из ряда бинарных решений, которые используются, чтобы правильно определить категорию для каждого пикселя. Решение введенного выражения на каждой ступени классификации делит пиксели изображения на два класса. Каждый новый класс может быть разделен еще на два класса по другому выражению и так – до получения желаемого результата. Стоит также отметить возможность данного классификатора использовать данные из разных источников. Например, мультиспектральные данные могут быть исполь-

зованы с цифровой моделью рельефа [3]. К сожалению, опробовать данный способ не удалось, так как для его исследования требуются специальные знания, которыми сотрудники администрации города не обладают. Поэтому изучение этих функций не проводилось. Однако следует отметить, что данный способ представляет достаточно большой интерес для выделения каких-либо уникальных объектов (зон) или узкой ветви данных, но может использоваться и для выделения отдельных классов, и является перспективным для будущих исследований в данном направлении.

В результате проведенных исследований был выбран **способ «Нейронная сеть» (Neural Net Classification)**, который использовался для выделения следующих основных классов:

- лес;
- дороги;
- водная поверхность;
- травянистая растительность;
- пустоши.

Способ классификации «Нейронная сеть» в ПК ENVI использует стандартный алгоритм обратного распространения. В качестве функции активации может использоваться одна из сигмоидальных функций. В ENVI применяются следующие:

- рациональная сигмоида;
- гиперболический тангенс.

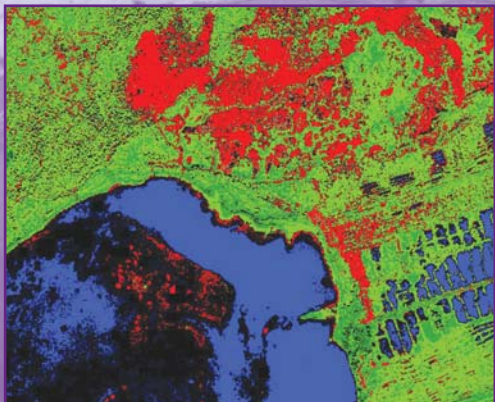


Рис. 8.
Результат классификации с использованием алгоритма Spectral Angle Mapper Classification

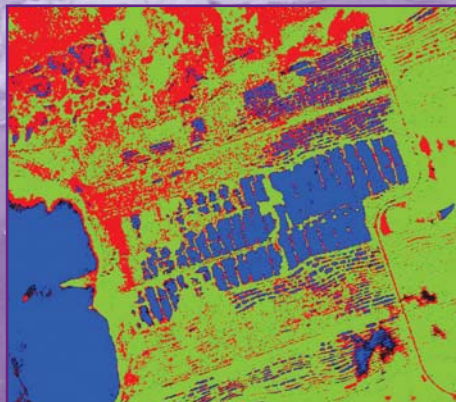


Рис. 9.
Результат классификации с использованием алгоритма Binary encoding classification

Выделение основных объектов проводилось по снимку с КА QuickBird. В связи с недостаточной спектральной информативностью этого снимка, классификация болот уточнялась по снимку с КА Landsat-7. Данным алгоритмом были выделены следующие основные объекты и территории:

- лес;
- дороги (асфальтированные и любые площадки, покрытые асфальтом);
- водные поверхности;
- травянистая растительность;
- территории, не покрытые растительностью;
- зона застроенных территорий – здания и сооружения;
- болота.

Создание векторной карты по выбранным зонам и объектам проводилось по следующей схеме:

- 1) создание эталонных областей;
- 2) классификация снимка нейронными сетями;
- 3) постклассификационная обработка снимков для каждого класса в отдельности
- 4) векторизация надежно выделенных классов объектов (водные поверхности, лесные массивы, пустоши, луга и т. д.);
- 5) удаление из снимка зон с надежно выделенными классами объектов для последующей классификации более сложно выделяемых объектов;

6) обработка оставшихся областей при помощи дополнительных методов;

7) составление тематической карты-схемы выбранной области.

В ПК ENVI эталонными областями или областями, которые приняты для определения класса, являются области интереса (Regions of Interest – ROI). На рис. 10 представлен пример создания ROI.

Как было сказано выше, важно, чтобы области были максимально однородны, иначе результат будет отрицателен. Области интереса также используются для того, чтобы вырезать фрагменты из снимков.

После создания ROI запускалась нейронная классификация, со следующими задаваемыми параметрами:

- Select Classes from Regions («выберите классы из областей») – список ROI, т. е. список количества классов, который необходимо создать в будущем;
- метод активации (Activation) – Logistic (рациональная сигмоида) и Hyperbolic (гиперболический тангенс); в данном случае использовался метод Logistic;
- Training Threshold Contribution – значение этого параметра может изменяться от 0 до 1,0. Он определяет размер внутреннего веса относительно уровня активации узла. Этот параметр используется, что-

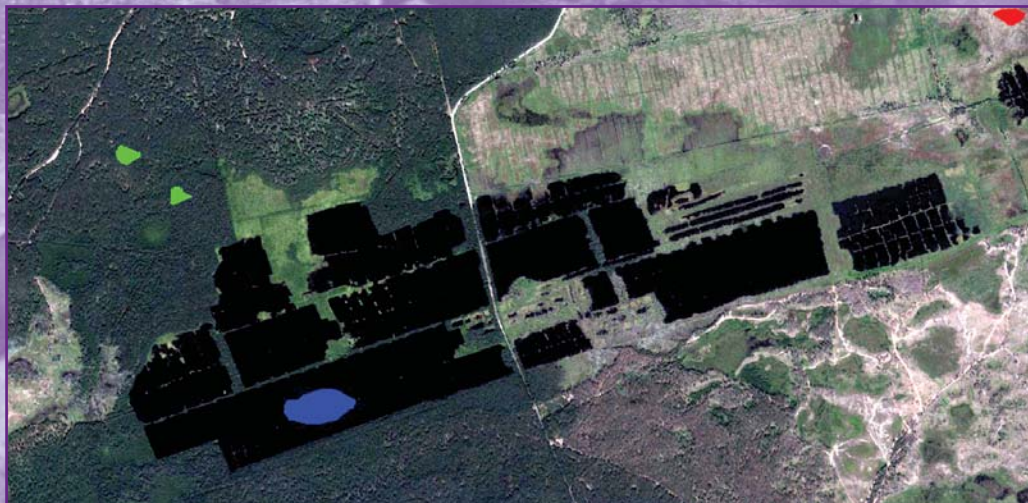


Рис. 10.
Пример создания области интереса

бы приспособить изменения к внутреннему весу узла. Алгоритм в интерактивном режиме регулирует вес между узлами и произвольным порогами узлов, чтобы минимизировать ошибку между слоем выхода и желаемым результатом. Значение 0 не регулирует внутренний вес узлов. Регулируя внутренний вес узлов, можно добиться лучших результатов классификации, но слишком большой вес может привести к сильным обобщениям и, как следствие, к потере информации. В расчетах использовалось значение 0,91.

- Training Rate и Training Momentum – параметры, определяющие как быстро стабилизируется нейронная сеть. Величина «Training Rate» определяет регулирование веса. При высоких значениях нейронная сеть сходится быстро, но возможно раньше времени. При низких значениях будет взято большое число повторений, что приведет к большим затратам времени. Опасность использования больших значений «Training Rate» состоит в том, что при моделировании сеть может колебаться, а не стабилизироваться. Параметр «Training Momentum» помогает уменьшить колебания между итерациями и позволяет при ис-

пользовании высоких значений «Training Rate» избежать определенного риска несходимости. При больших значениях обучение проходит с большими шагами, чем при более низких значениях. В расчетах для первого параметра использовалось значение, равное 0,15, а для второго – 0,85.

- Training RMS Exit Criteria – параметр, отвечающий за значение среднеквадратической погрешности, которая определяет, когда должно закончиться обучение. Если значение среднеквадратической погрешности, которое показывается на графике в процессе обучения, ниже заданного, обучение остановится, даже если число итераций не было выполнено, классификация будет запущена. В расчетах использовано значение этого параметра – 0,12.
- Number of Hidden Layers – число необходимых скрытых уровней. Для выполнения линейной классификации значение равно 0, т. е. без скрытых уровней. Разные области на выходных данных должны быть линейно отделимыми в многомерном пространстве. Для выполнения нелинейной классификации устанавливается значение уровня равно 1 или больше. В расчетах использовалось значение, равное 1.

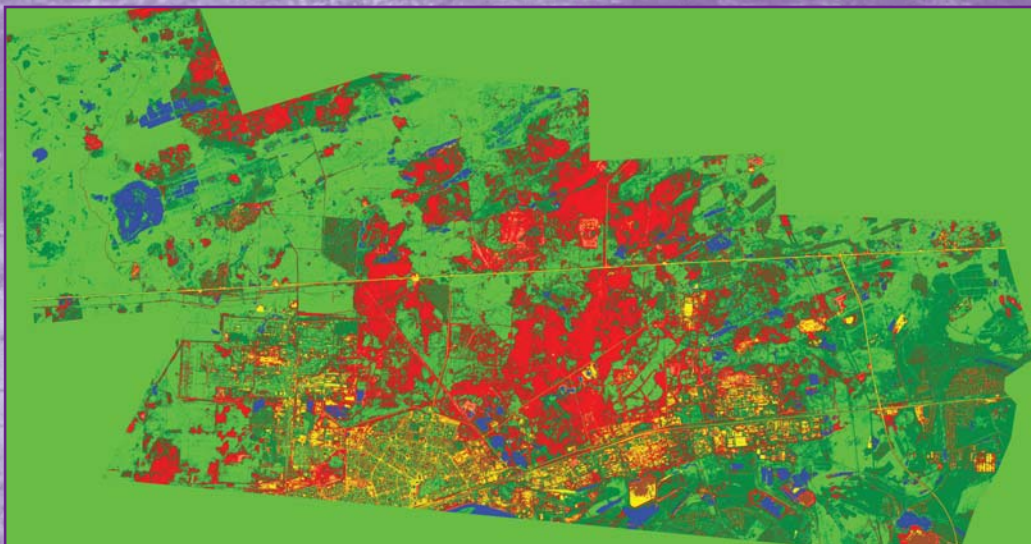


Рис. 11.
Результат классификации нейронными сетями космического снимка с KA QuickBird

- Number of Training Iterations – количество итераций обучения. В работе было принято равным 1900.
- Min Output Activation Threshold – минимальный порог. Если значение активации классифицируемого пикселя меньше, чем это пороговое значение, то пиксель будет отмечен как неклассифицированный. В расчетах – 0.

Длительность процесса классификации зависит не только от введенных параметров, но и от размера обрабатываемого снимка и характеристик вычислительной техники, на которой выполняется обработка. На рис. 11 показан результат классификации нейронными сетями космического снимка с КА QuickBird.

Под словосочетанием «постклассификационная обработка» понимается генерализация изображения, объединение смежных классов, удаление лишних классов. ПК ENVI представляет ряд методов для решения задачи постобработки классифицированных снимков. Так как в основном изменение и удаление классов для данной классификации не требуется, то ключевым методом постобработки будет являться генерализация изображения. Для этого использовался алгоритм Majority/Minority, который позволяет объединять участки в более цельные (убирать маленькие пробелы, связанные с неудачной классификацией тенями и прочим), а также убирать мелкие классифицированные области, получившиеся за счет различных вкраплений и искажений на снимке (например, теней). Для каждого из классифицированных

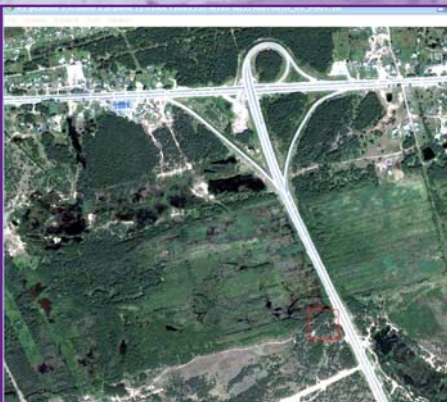


Рис. 13
Участок дороги на снимке

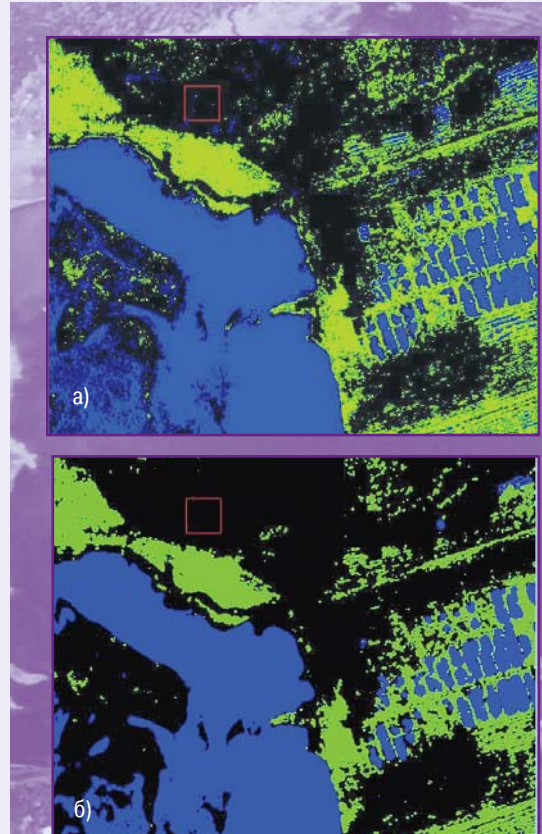


Рис. 12.
Результат постклассификационной обработки водных и лесных объектов с помощью алгоритма Majority/Minority:
а) снимок до обработки;
б) снимок после постобработки

объектов требуется отдельно проводить постобработку, чаще всего, для уменьшения влияния различных факторов. На рис. 12 приведены снимки до и после постклассификационной обработки водных (основной задачей являлось убирать тени от домов, классифицированные как водные объекты) и лесных объектов (задача убирать мелкие классифицированные объекты, которые не являются лесными массивами). Как отрицательный момент такой обработки следует отметить, что в результате происходит потеря данных, хоть и незначительная.

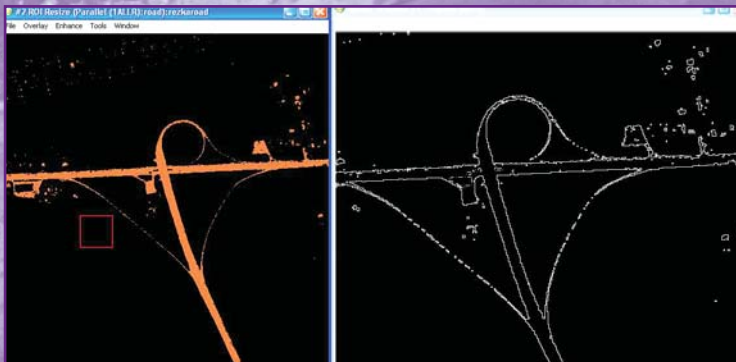


Рис. 14

Результат классификации дорог с помощью алгоритма «нейронная сеть» с их последующей автоматической векторизацией

На следующем этапе проводилась автоматическая векторизация (оцифровка) – преобразование растрового изображения в векторные слои без участия оператора. Исходные файлы получают в формате EVF и далее экспортируются в файлы для работы в геоинформационных системах. Время, затрачиваемое на векторизацию, зависит от характеристик оборудования, на котором установлен программный комплекс, и количества объектов векторизации.

Выделение болот на снимке с КА Landsat-7 происходило по аналогичной методике, только вместо нейронных сетей применялся метод максимального правдоподобия.

Процесс векторизации транспортных сетей показан на рис. 13-15, где соответственно приведены результаты до классификации, после классификации нейронными сетями с последующим получением материалов в векторном виде и правкой контуров дорог оператором. Для точного нанесения дорог требуется использования дополнительных данных, а также доводка контуров оператором или автоматически с помощью модуля FX. Подробнее об использовании данного модуля описано далее при рассмотрении зоны застройки. Как одно из решений, возможно нанесение дорог не полигоном, а линейным объектом. Другой возможностью является определение типов покрытий дорог при использовании дополнительных спектральных диапазонов. По этим данным возможно уточнение транспортных схем при планировании.

Для выделения зоны застройки (жилой и промышленной) на исходный космический снимок требуется перенести оцифрованные контуры классифицированных областей, которые затем «вырезаются». В результате такой процедуры на снимке остаются только территории застройки. Однако провести разделение полученной территории застройки на промышленную и жилую по снимкам с КА QuickBird невозможно. Для этих целей необходимы гиперспектральные снимки, по которым может выполняться корректная

оценка степени загрязнений. Эта задача достаточно сложна и требует наличия наработанных эталонов, соответствующих определенному уровню загрязнений. В связи с этим, такое разделение остается задачей будущих исследований. Поэтому при обработке создавалась общая территория зоны застройки с вкраплениями неклассифицированных участков.

В зоне застройки в целях мониторинга объектов строительства можно провести оцифровку зданий и со-

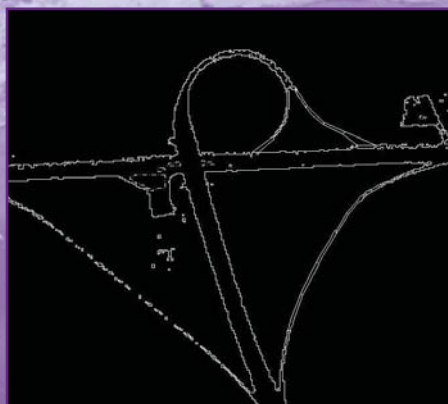


Рис. 15

Контурь дорог, исправленные оператором

оружений. Так как это не являлось основной целью работы (разработка генеральных планов не предполагает точные сведения о строениях), проводилась выборочная оцифровка для показа возможностей процедуры. Оцифровку по отдельным объектам застройки наиболее оптимально выполнять в специальном модуле ПК ENVI FX. Пример такой классификации приведен на рис. 16. Глубокой проработки возможностей модуля не проводилось, но его возможности достаточно широки, и в дальнейшем планируется более подробная разработка данного направления. Основным отличием модуля FX от существующих и вышеописанных классификаторов является возможность не только классифицировать объекты по спектральным признакам, но и проводить отбор по дополнительным «правилам» таким как площадь, форма, структура и т. д. В частности, полученные надежные результаты по выделению высотных домов из общего фона. Правда, следует отметить, что контуры зданий, выделенные в автоматическом режиме, имеют значительные погрешности, но для целей учета и мониторинга этот результат можно считать вполне удовлетворительным.



Рис. 16.
Пример обработки космического снимка с применением модуля FX для получения контура здания

После того, как все оцифрованные полигоны импортированы в ГИС, можно приступать к созданию тематической карты-схемы. Напомним, что в данной работе разрабатывалась методика создания карты-схемы сов-

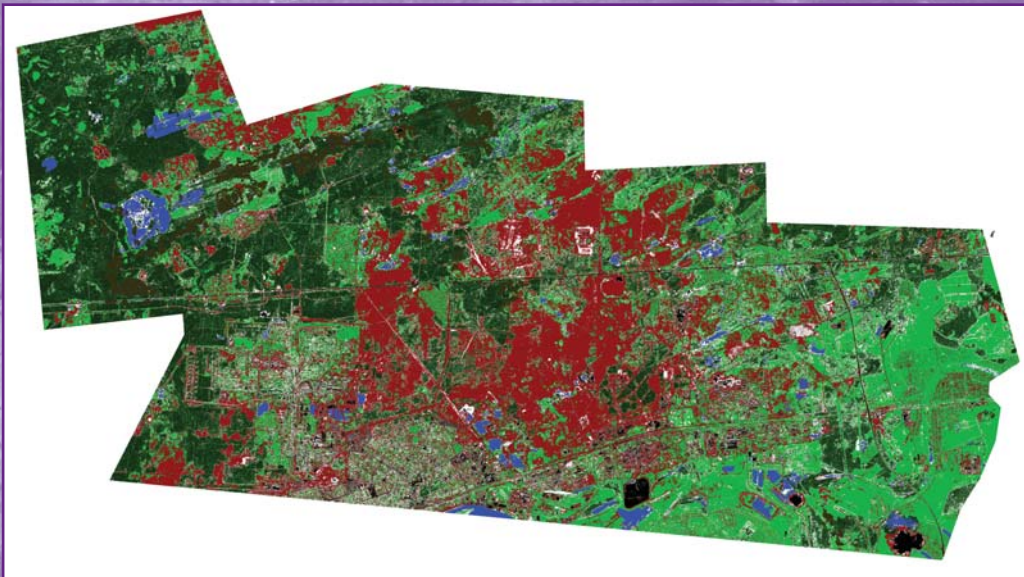


Рис. 17.
Пример интеграции в ГИС оцифрованных контуров классифицированного изображения



Рис. 18.

Результат сравнения полученных контуров леса и лесных массивов на снимке

ременного использования территорий как уточняющего материала при создании генеральных планов городов, правил землепользования и застройки, проектов планировки территории и при ведении дежурного плана города. Задачи создания топографической карты на всю территорию города не ставилось, поэтому итоговым результатом явилось создание примера карты-схемы современного использования территории. Карта-схема создавалась с использованием геоинформационных технологий. На рис. 17 показан результат импорта оцифрованных контуров классифицированных участков городской территории и в ГИС.

Для контроля выполненной классификации было сделано совмещение векторного слоя и изображения снимка (рис. 18). Данная процедура позволила точно определить границы лесов.

Для оценки был проведен расчет площадей водных поверхностей и лесов на территории города по результатам классификации и площади соответствующих зон по разработанному генеральному плану города. Площадь водных объектов по генеральному плану города составляет 1,1 тыс. га, и по результатам около 1,09 тыс. га, т. е. практически сходится. Точно совпадать площади и не могут, так как часть водной поверхности покрыта тиной, и эти площади попали в другие зоны.

С лесами дело обстоит сложнее. По генеральному плану площадь лесов и лесопарков составляет 19,3 тыс. га и озелененных территорий (парков, скверов, бульваров, спортивных зон) — 0,15 тыс. га, т. е., в общем, 19,45 тыс. га. По данным классификации все площади, покрытые древесной растительностью, составляют около 14,9 тыс. га. Такая разница является не результатом плохой классификации космической съемки, а объясняется рядом важных причин. Обозначим некоторые из них:

- **Облачность.** Облака на данных снимках приводят примерно к потере 10% информации, что составляет около 4 тыс. га.
- **Площадь лесов и лесопарков на генеральном плане** определяется не по реальным границам (т. е. площади, занятой древесной растительностью), а по границам лесничеств и лесопарков. Но как раз данная разница и является крайне интересной для изучения, так как показывает сколько зеленых насаждений необходимо восстановить для реальной оценки затрат и некоторых показателей балансов территорий. Следует подчеркнуть, что это не является ошибкой разработчиков генерального плана или лесных хозяйств, а реальная неизбежность традиционных методов.
- **Использовались снимки, полученные по результатам съемки, выполненной в 2005 г.** Справки по лесным массивам представлены лесными хозяйствами по состоянию на момент запроса и являются результатом многочисленных разновременных, в том числе и достаточно старых по времени (десятки лет) измерений границ. Провести полностью топографическую съемку территории муниципального образования для городского бюджета не представляется возможным, поэтому обновление данных о лесных массивах идет очень медленно традиционными методами.

По качеству полученный результат классификации можно считать удовлетворительным. К тому же, как говорилось ранее, созданная по снимкам карта-схема современного использования территорий не является юридической основой для создания генеральных планов или правил землепользования и застройки, а всего лишь уточняющий материал.

Для оценки результата выполненной работы на схему зонирования реального генерального плана города наложены границы зон, полученных в результате обработки космического снимка (рис. 19). На нем видно, что границы лесных массивов не совпадают. Частичное расхождение границ связано еще и с тем, что привязку данных, полученных в результате оцифровки космического снимка с данными на генплане (в формате JPG) сделать очень сложно. Для этого требуется использовать дополнительные модули (что в данной работе не планировалось). Площадь лесного массива, получившаяся в результате генерализации, составляет 12 831 га, в то время как после классификации данная площадь составляла 12 801 га, т. е. увеличилась на ме-

нее 0,5%. Такое изменение говорит о том, что генерализация не дает существенной ошибки и не является причиной расхождения данных. Сравнить остальные данные по другим зонам не имеет смысла, так как они будут говорить больше о точности генерализации, нежели о расхождении реальных площадей полученной карты-схемы с площадями зонирования по генеральному плану или иных градостроительных документов. Однако их анализ позволяет разработчикам градостроительной документации получить большое количество сведений для уточнения объемов при реализации генерального плана. Мероприятия, проводимые по планированию тех или иных зон, возложенные на территориальное планирование и отсутствие достоверной схемы реального использования территории приводит к неизбежным ошибкам проектирования и, как следствие, к ошибкам при оценках затрат и сроков реализации планов и проектов.

По космическим снимкам можно уточнять площади загрязнений и состояние территорий, что позволяет точнее оценить рекреационные зоны и мероприятия по

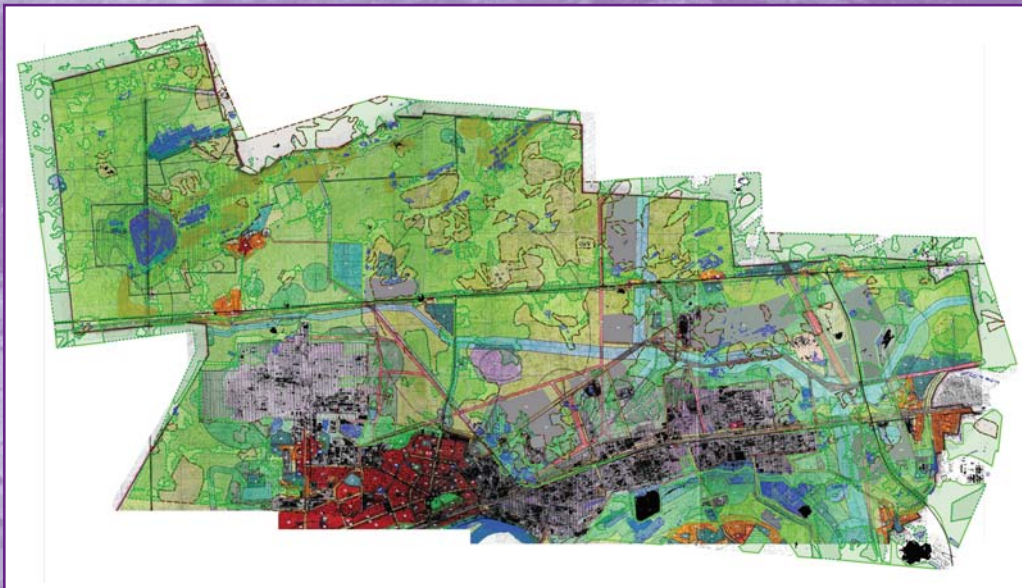


Рис. 19.

Наложение границ зон, полученных путем автоматизированной классификации, на генеральный план города

их восстановлению или защите. Теоретически, составление карт загрязнений проводится по той же методологии, но для их создания требуются гиперспектральные снимки и эталоны территорий. По ним выбирают диапазоны, отвечающие за определенный вид классификации. Дальнейшая обработка может проводиться по приведенному выше алгоритму.

Достаточно перспективным направлением для классификации территорий является применение радиолокационных снимков. Их качество не зависит от облачности. Эти снимки позволяют точнее определять неоднородности покрытий, что является дополнительным материалом для уточнения зонирования и выделения объектов при мониторинге. Разновременные радиолокационные снимки на одну и ту же территорию позволяют осуществлять мониторинг колебаний и изменений высотного положения земной поверхности. Эти данные могут оказаться эффективным средством не только для выделения карстовых зон, но и для наблюдения за их развитием. Радиолокационные снимки позволяют получить мгновенные оценки на больших территориях, в связи с чем, работа с ними менее трудоемка и значительно дешевле, чем наземные измерения. Учитывая, что город Дзержинск расположен в карстовой зоне, такие методы космических съемок жизненно важны для города. Авторами не проводились исследования в данном направлении из-за отсутствия радиолокационных снимков на территорию городского округа.

Еще одним важным направлением использования космических снимков в муниципалитетах является оценка загрязнений воздуха. В данной работе не проводились такие исследования, так как это скорее задача экологов, а не градостроителей. Но использование одних космических снимков разными подразделениями администрации города значительно повышают их эффективность, одновременно снижая затраты на их приобретение.

Проведенные исследования будут не полными, если не ответить на естественно возникающие вопросы: сколько это будет стоить и какова эффективность применения снимков?

Для ответа сравним два показателя. Одним из них является стоимость снимков и их обработки, а в качестве второго – рассмотрим три фактора: стоимость традиционных методов исследования территорий и получения картографических материалов; отсутствие

действий по уточнению исходных данных (что дали, то и правильно); благосостояние городского населения.

Для ответа на поставленные вопросы первоначально рассмотрим стоимость традиционных методов исследований территорий и получения по ним картографических материалов. Для оценки стоимости этих работ будем использовать базовые цены из справочника на инженерные изыскания [4]. Цена на создание топографических планов масштаба 1:2000 на 1 га составит в среднем 2081 руб. (застроенная территория) и 674 руб. (незастроенная), т. е. на 1 км² на каждую из территорий будем иметь, соответственно, 208 100 руб. и 67 400 руб. Цена на создание карты масштаба 1:10 000 на 1 га составит 673 руб. (застроенная территория) и 273 руб. (незастроенная), т. е. на 1 км² – 67 300 руб. и 27 300 руб. Принимая территорию городского округа площадью 422 км², а застроенной территории на ней около 74,6 км² можно оценить стоимость затрат на создание:

- плана в масштабе 1:2000 – около 40 млн. руб. (полевые работы), 10 млн руб. (камеральные);
- карты масштаба 1:10 000 – около 17,6 млн руб. (полевые работы вместе с камеральными).

Приведенные расчеты не учитывают добавочных коэффициентов, транспортных расходов, т. е. взяты максимально близкие к самым низким ценам. Если сюда добавить обследование состояния территории (пробы почв, воды, оценка реального состояния растительности и т. д.) стоимость возрастет еще в несколько раз.

Стоимость архивных космических снимков с КА QuickBird составляет 472 руб. за 1 км², а при заказе новой съемки – в 1,5 раза дороже.

Цена создания цифровой модели местности (ЦММ) на основе космических снимков с КА ALOS/PRISM составляет ~70 руб. за 1 км² (одна сцена из трех). Данный спутник является единственным, который выполняет съемку одновременно трех сцен («вперед», «в надр» и «назад»), что позволяет получать стереоскопические изображения, обеспечивающие получение высот точек местности с точностью 5 м.

На архивные данные со спутника EO-1 (Hyperion) цена от 70 до 130 руб. за 1 км², на новую съемку от 250 до 450 руб. за 1 км² (цены варьируются в зависимости от требуемой коррекции). Данные с КА EO-1 являются интересными в связи с тем, что они включают информацию, получаемую 220 спектральными каналами. В настоящее время – это единственный КА, позволяю-

щий получать столь детализированную информацию. Снимки с КА EO-1 можно использовать при оценке загрязнения и состояния земель.

Стоимость архивных данных с КА Terra ~ 6 руб. за 1 км², а архивных – с КА TerraSAR-X при разрешении: 1 м ~800 руб. за 1 км²; 3 м ~70 руб. за 1 км²; 16 м ~4,5 руб. за 1 км². Для наблюдений за изменениями на земной поверхности требуется от двух и более разновременных снимка. Следует отметить, что и стоимость наблюдений за деформациями земной поверхности наземными методами также растет пропорционально количеству измерений (хотя и не в прямой пропорции, а в сторону уменьшения стоимости повторных измерений).

Цена космических изображений с группировки спутников RapidEye составляет ~55 руб. за 1 км² (архивные) и ~80 руб. за 1 км² (новые). Данные этих спутников могут быть использованы параллельно для мониторинга сельскохозяйственных угодий.

Из приведенной информации видно, что покупка даже самых дорогих космических снимков (с КА TerraSAR-X) потребует почти в 15 раз меньше средств, чем наземная топографическая съемка той же территории. Так, например, для создания полноценной карты города по космическим снимкам со спутников TerraSAR-X, EO-1, ALOS и QuickBird с построенной моделью рельефа потребуется ~1,8 млн руб. Даже если считать, что на дополнительную обработку (векторизацию и ортотрансформированную привязку по наземным пунктам) потребуется еще 1 млн руб., общая цена составит всего около 3 млн руб. Поэтому экономическая эффективность использования именно данных ДЗЗ из космоса значительно выше, чем использование наземных видов съемки.

Приведенные цифры ни в коей мере не умаляют значение геодезических наземных методов. Есть задачи, где подходят только эти методы или без них обойтись

нельзя. Никто не отменял необходимости планов, особенно масштабов 1:500 и 1:1000. Полученные цифры справедливы только для решения конкретных задач, изложенных в данной статье.

Второй фактор оценить сложнее. Но тем не менее, ясно, что ошибки в оценке экологической ситуации, озеленения геологической изученности (карсты и пр.), загрязненности ведут к неверной оценке необходимых бюджетных ассигнований на освоение территорий, их инвестиционной привлекательности, увеличения затрат на риски и т. д. В целом по городу сложно определить реальные цифры, так как отсутствует база для сравнения. Однако, совершенно ясно, что эти затраты многократно превышают стоимость закупки и обработки космических снимков.

Третий фактор, благосостояние жителей, их здоровье просто невозможно оценить в рублях. Ведь главное, для чего существуют города, и проводится градостроительная деятельность – это благосостояние населения. Как известно, самыми значащими и большими ошибками для жителей, в конечном итоге, являются ошибки в градостроительной деятельности, основой для которой является территориальное планирование.

Таким образом, применение данных ДЗЗ из космоса в муниципальном управлении и, в частности, градостроительной деятельности является новым перспективным и эффективным методом, имеющим массу применений и сулящим в будущем открытия все новых возможностей по мере освоения и накопления данных, ускорения технического прогресса и алгоритмов обработки.

Авторы выражают благодарность за предоставленные исходные материалы, техническую и методическую помощь при проведении исследований Управлению архитектуры и градостроительства Администрации городского округа город Дзержинск и компании «Совзонд».

Список литературы

1. Рис У. Основы дистанционного зондирования. – М: Техносфера, 2006. – 336 с.
2. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и геоинформационные системы. – М: Техносфера, 2008. – 312 с.

3. Программный комплекс ENVI: Учебное пособие. – М.: «Совзонд», 2007. – 229 с.

4. Российская Федерация. Госстрой России. Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства. Инженерно-геодезические изыскания: Постановление Госстроя России от 23.12.2003 № 213 – М.: ПНИИИС, 2004.

М.Ю. Жилнев (ГКНПЦ им. М.В. Хруничева)

В 1979 г. окончил МИИГАиК по специальности «космическая геодезия», в 1989 г. — факультет повышения квалификации МАИ по специальности «Автоматизация проектирования сложных технических систем». Работал в НПО им. С.А. Лавочкина. С 2001 г. по настоящее время — начальник группы комплекса цифровой обработки информации ГКНПЦ им. М.В. Хруничева.

Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке

К написанию настоящей статьи меня подтолкнуло почти полное отсутствие изложенной ниже информации в русскоязычных изданиях и сети Интернет. И это при том, что в России сообщество только тех, кто обрабатывает данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), составляет, как минимум, более двух сотен компаний, университетов и государственных организаций. При этом в данной информации, наверняка, нуждаются не только те, кто обрабатывает данные ДЗЗ, но и производители аппаратуры и космических аппаратов ДЗЗ, методик и программного обеспечения для соответствующей обработки полученных данных и разного рода потребители информации ДЗЗ. А главное, собранные здесь сведения о применении данных ДЗЗ показывают, что использование их только для прямого дешифрирования (классификации), производства и обновления топографических карт, вычисления 2-3 самых известных индексов озелененности и линеаментного анализа — это лишь небольшая часть того, что можно получить по мультиспектральным данным о поверхности Земли цифровой обработкой. В настоящее время применяется еще и субпиксельная обработка спектральных данных ДЗЗ, но это — особый вид обработки, поэтому в данной статье он не рассматривается.

При подготовке статьи использовались материалы перевода трудов зарубежных авторов, найденных в разных источниках. Исходя из этого, в настоящей статье освещен довольно широкий спектр того, что позволяют получить данные ДЗЗ как по информации, зафиксиро-

ванной в каждом из каналов мультиспектральной спутниковой оптико-электронной аппаратуры, так и при совместном использовании информации, полученной в отдельных зонах спектра. Также, здесь изложены применяемые сочетания спектральных данных, их интерпретации и прикладное применение результатов цифровой обработки. Соответственно, в статье приведены описания:

- основных спектральных каналов оптико-электронной съемочной аппаратуры и применение полученной в них информации;
- применений основных комбинаций данных, полученных в различных спектральных каналах спутниковой оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ;
- основных расчетных индексов, которые могут быть вычислены и визуализированы после обработки информации спектральных каналов спутниковой аппаратуры ДЗЗ.

Учитывая информацию тех материалов, которые были переведены и использованы в настоящей статье, можно уверенно утверждать, что применение спутниковых мультиспектральных данных ДЗЗ в совокупности с их соответствующей цифровой обработкой позволяет относительно недорого и быстро получать:

- достаточно достоверную и подробную геологическую и географическую (картографическую) информацию;
- достоверные оценки, в том числе и финансовые, лесных и водных ресурсов, «видов на урожай», экологии, устранения последствий ЧС;

- достоверные документированные данные для решения задач управления хозяйством и территориями, для финансирования сельского хозяйства и его использования (страхования сельхозкредитов, контроля эффективности использования субсидий и субвенций на ГСМ, удобрения и т. д.).

ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КАНАЛОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СЪЕМОЧНОЙ АППАРАТУРЫ (BAND DESCRIPTIONS) КА ДЗЗ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУЧЕННОЙ В НИХ ИНФОРМАЦИИ

Результаты перевода и компиляций материалов, размещенных в [1-4] и материалах компаний (космических агентств), являющихся операторами соответствующих КА ДЗЗ, обобщены в табл. 1 (применение спутниковой

информации в ДЗЗ и других приложениях в данной таблице дается на основе данных оптико-электронной съемочной аппаратуры ТМ (Thematic Mapper) и ETM+ КА Landsat.

Следует отметить, что на сайтах компаний (агентств), являющихся производителями и/или операторами различных КА ДЗЗ, кроме океанографических приложений и проведения атмосферных коррекций данных ДЗЗ практически не раскрываются другие приложения и задачи, в которых для наблюдения поверхности Земли применяются синие каналы оптической части спектра бортовой оптико-электронной аппаратуры КА, но они имеются почти на всех КА ДЗЗ и воспроизводятся на заявленных к запуску и объявленных как проектируемые.

Причем, если рассмотреть тенденцию в развитии оптико-электронной аппаратуры космических аппаратов, можно заметить следующие особенности:

Таблица 1

Основные спектральные каналы оптико-электронной аппаратуры КА ДЗЗ и возможное применение полученной в них информации

Наименование спектрального канала (русский / английский)	Обозначение спектрального канала в документации	Длины волн спектрального канала, мкм (µm)
	Применение спутниковой информации в дистанционном зондировании Земли и других приложениях	
Видимый синий / Blue (violet)	band 0, B0	0,42-0,55
	Получаемые данные используются для океанографических приложений и проведения атмосферных коррекций данных ДЗЗ, в частности, при вычислении некоторых индексов озелененности	
Видимый синий / Blue	band1, B1	0,45-0,52
	Зона предназначена для отображения побережий, батиметрии, наносов; дифференциации грунта от растительности и лиственной от хвойной флоры, картографирования типов леса, обнаружения искусственных сооружений. Она менее подходит для оценок вегетации и изучения хвойных лесов. В ней вполне хорошо фрагментируются структурные горные породы (например, сланцы, фосфаты, эвопориты, эвопораты), сильно рассеивающие синий свет в этой зоне и иногда – в зоне 2, т. е. в видимом зеленом. Атмосферные эффекты основной вклад вносят в видимой части спектра – более 70% рассеянного излучения приходится именно на зону спектра band1	
Видимый зеленый / Green	band2, B2	0,52-0,60
	Зона соответствует максимальному коэффициенту отражения зеленой (здоровой) растительности и используется для таксации леса. Также используется для идентификации искусственных объектов местности и составления карт концентрации наносов и осадков в мутных водах. Она лучше подходит для выявления горных пород богатых 2-х валентным (закисным) железом по сравнению с 3-х валентным	

Наименование спектрального канала (русский / английский)	Обозначение спектрального канала в документации	Длины волн спектрального канала, мкм (μm)
	Применение спутниковой информации в дистанционном зондировании Земли и других приложениях	
Видимый красный / Red	band3, B3	0,63-0,69
	Зона нужна для того, чтобы различать множество разновидностей растений, так как содержит полосу поглощения хлорофилла. Смещение этой полосы по спектру может применяться для определения видового состава растений. Также, она используется для определения границ почв и геологического оконтуривания (залелей, рудного тела, нефтяных полей), искусственных объектов. Она более предпочтительна для горных пород и почв, богатых железом, особенно 3-х валентным	
Ближний инфракрасный / Near InfraRed	band4, B4, NIR	0,76-0,90
	Зона особенно чувствительна к количеству вегетационной биомассы, представленной снятой сцене. Это полезно для идентификации сельскохозяйственных почв / культур, оценки урожайности, а также для определения береговых линий водных объектов на местности (по контрасту воды / грунта). Максимум интенсивности излучения хлорофилла от здоровой растительности получается в характеристике «красной границы» по разнице между сигналами в 3 и 4 зонах спектра. Растительность, загрязненная нефтепродуктами, может также показать измеримое смещение на «красной границе». В отсутствие растительности соотношение сигналов в диапазоне с 1 по 5 каналы показывает отношение содержания в горных породах и минералах 2-х валентного железа к 3-х валентному	
Коротковолновый инфракрасный/Short Wave Infrared (Middle InfraRed)	band5, B5, SW IR, MIR	1,55-1,75
	Зона чувствительна к содержанию воды в растительности и почвах, оценка которого является полезной в стадии плодоношения изучения засухи и исследований здоровья растений. Вещество, содержащее воду, дает сигнал ниже, чем сухой материал. На участках свободных от растительности в данном диапазоне спектра дифференцируются соответствующие различные оксиды железа, содержащиеся в породах и почвах, и обычно в ней отлично отображаются выветренные горные породы. Эта зона – одна из немногих, в которой можно дифференцировать облака от снега и льда (низкий сигнал – от снега, интенсивный – от облаков)	
Тепловой инфракрасный	band 6, B6 TIR	10,40-12,50
	Тепловой ИК участок, используемый для определения температуры подстилающей поверхности, интенсивности теплоты объектов. Эта зона предназначена для оценок урожая «на корню» обнаружения и анализа нагрузок на растительность, применения инсектицидов, и для определения теплового загрязнения. Может также использоваться, чтобы обнаруживать геотермальную активность. Предпочтительнее для отображения темных породообразующих минералов с высокой плотностью	
Коротковолновый инфракрасный / Middle InfraRed	band 7, B7, MIR	2,08-2,35
	Зона важна для выделения типов геологических пород. Она была отображена из-за наличия потенциала для того, чтобы различать горные породы, измененные гидротермальные зоны и для других исследований в целях геологоразведки. В данной зоне спектра богатые кремнием материалы, пыль в воздухе и оголенные почвы часто дают относительно высокий сигнал. Зона важна для выделения границ почв, а также степени увлажненности почв и растительности	

Примечание.

Спектральные каналы (зоны) для оптико-электронной аппаратуры TM, MSS Landsat, XS Spot, AVHRR NOAA и некоторые другие имеют иные обозначения и нумерацию. Отдельные таблицы соответствия каналов имеются, например, в [1] и [5].

- SeaWiFS KA SeaStar, OrbView-2, Vegetation 1 KA SPOT 4 и Vegetation 2 KA SPOT 5 (разрешение 1 км) имеют довольно узкий голубой спектральный канал В0 0,43-0,47 мкм;
- AVNIR-2 KA ALOS имеет спектральный канал 0,42-0,50 мкм (разрешение 10 м);
- ALI KA EO-1 – 0,43 -0,453 мкм (разрешение 30 м) наряду с обычным band1;
- KA Pleiades-HR 1,2 должен иметь синий (широкий) спектральный канал 0,430-0,550 мкм;
- KA WorldView-2 – 0,423-0,453 мкм, еще шире.

При этом следует отметить, что оптико-электронная аппаратура последних двух КА – высокого разрешения.

Т. е. ширина синего канала растет с 0,03 мкм до 0,3 мкм и пространственное разрешение разработчики повышают, так как этого, видимо, требуют заказчики данных ДЗЗ. Понятно, что высокое пространственное разрешение и, соответственно, малые полосы захвата, скорее всего, используются и проектируются не для задач океанографии.

В связи с этим было бы интересно узнать, что думают о синих каналах российские потребители данных ДЗЗ, те кто их использует при обработке, и разработчики соответствующей спутниковой аппаратуры.

ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ КОМБИНАЦИЙ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ В СПЕКТРАЛЬНЫХ КАНАЛАХ СПУТНИКОВОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ДЗЗ (SATELLITE BAND COMBINATIONS)

Основываясь на переводе и компиляции материалов, представленных в [1, 3-4], обобщены основные комбинации данных, полученных в спектральных каналах спутниковой оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ, и выделены области их применения на основе данных оптико-электронной съемочной аппаратуры ТМ и ЕТМ+ КА Landsat. Для удобства использования результатов этой работы они сведены в табл. 2.

Следует также отметить следующее. Комбинация спектральных каналов **4-3-2** хорошо известна, особенно, если используются мультиспектральные данные, полученные аппаратурой XS KA Spot, LISS-3 KA IRS, РДСА (Гамма-Ц) КА «Монитор-Э», которые имеют только по 3 спектральных канала. Эта комбинация может применяться и для других данных среднего разрешения, полученных оптико-электронной аппаратурой с КА TEOS, LISS-4 KA IRS-P6, AVNIR KA ALOS, HRG KA SPOT-4,-5, VNIR KA TERRA (ASTER). Также она может исполь-

Таблица 2

Применение основных комбинаций данных, полученных в спектральных каналах спутниковой оптико-электронной аппаратуры КА ДЗЗ

Комбинация спектральных каналов	Наименование спектральных каналов
Отображение и основное применение данных ДЗЗ, обработанных с применением данной комбинации информации спектральных каналов аппаратуры	
3-2-1	Видимые красный / red, band 3 – зеленый / green, band 2 – синий / blue, band 1
<p>Это композиция «натуральных» цветов подобная цветной фотографии. Поскольку в ней используются полосы видимой части спектра, то объекты местности после такой обработки выглядят почти естественно для человеческого зрения.</p> <p>При этом здоровая растительность визуализируется зеленым, недавно убранные поля – очень светлые, нездоровая растительность – от желтой до коричневой, дороги – серые, береговые линии – белесые. Облачность и снег – белые и практически не дифференцируются.</p> <p>Данная комбинация хорошо отображает распространение воды и применяется для батиметрического картографирования мелководий, локализации наносов осадочных пород, седиментационного анализа, изучения городских территорий и других антропогенных объектов. Вырубки лесов и территории со скудной (редкой) растительностью не так хорошо обнаруживаются как при комбинациях каналов 4-5-1 или 4-3-2. Также замечено, что при комбинации 3-2-1 виды растительности дифференцируются хуже, чем при комбинации 4-5-1, а мелководье и почвы, грунты – хуже чем при комбинации 7-5-3.</p> <p>Кроме прочего, данная комбинация используется для первичного просмотра материалов съемки, показа неспециалистам в спутниковых данных и визуального дешифрирования.</p>	

Комбинация спектральных каналов	Наименование спектральных каналов
Отображение и основное применение данных ДЗЗ, обработанных с применением данной комбинации информации спектральных каналов аппаратуры	
4-3-2	Ближний ИК / near infrared, band 4 - видимые красный / red, band 3 - зеленый / green, band 2
<p>Стандартная комбинация, при которой создается композиция «искусственные цвета» (false color), когда данные инфракрасного канала отображаются красной гаммой. При этом растительность отображается в оттенках красного цвета, городские районы – в сине-голубых, а почвы (грунты) – варьируются от темно- до светло-коричневого цвета. Лед, снег и облака проявляются тонами белого или светло-голубого цвета (лед и облака по краям).</p> <p>Данная композиция может использоваться для многих приложений. Она полезна для изучения растительности на разных стадиях созревания урожая с/х культур, увлажненности (дренажа) почв, грунта. Хвойные породы проявляются более темно-красными и коричневыми тонами, чем породы деревьев с твердой древесиной. Как правило, насыщенные красные оттенки указывают на широкий лист и/или более здоровую растительность, в то время как, менее насыщенный красный означает наличие травы или скудной, в том числе, кустарниковой растительности. Плотные населенные городские территории визуализируются сине-голубыми оттенками. При этой комбинации спектральных каналов отображение местности аналогично традиционной инфракрасной аэрофотосъемке</p>	
4-5-3	Ближний ИК / near infrared, band 4 - коротковолновый инфракрасный / MIR, band 5 - видимый красный / red, band 3
<p>Такая комбинация информации красного видимого с ближним и средним ИК спектральными каналами обычно используется для анализа состояния растительности и поверхностных горных пород. Она дает возможности наилучшего распознавания различных видов растительности. Также она позволяет лучше определять границы земли и воды и показывает такую детальность, которую трудно получить в видимом диапазоне. Точность определения внутренних водоемов и проток тем выше, чем больше используется инфракрасных каналов. Как правило, получается, что увлажненные почвы выглядят темнее, что обусловлено поглощением солнечного излучения водой в инфракрасной зоне спектра. В данной композиции виды растительности и ее состояние видимы как вариации оттенков и тонов коричневого, зеленого и оранжевого цветов. Она показывает различия влажности и полезна для анализа растительности, почв и грунтов</p>	
4-5-1	Ближний ИК / near infrared, band 4 – инфракрасный / MIR, band 5 - видимый синий / blue, band 1
<p>Такая комбинация информации, в основном, служит для изучения здоровья растительности и водных объектов. Водные объекты при ее применении отображаются оттенками сине-голубой гаммы в зависимости от глубины, взвесей и т. п. Здоровая растительность проявляется оттенками зеленого цвета и от оранжевого до коричневого. Ярко-голубыми оттенками могут отображаться недавно вырубленные леса, а красноватыми – восстановившаяся или скудная растительность. При этом средний ИК-канал повышает различимость стадий роста растений и их стрессов. Данная композиция не рекомендуется для изучения искусственных сооружений типа дорог и взлетно-посадочных полос и ее следует осторожно применять в интерпретациях, особенно, если съемка была произведена сразу после выпадения атмосферных осадков. В частности, полезно сравнить подтопленные территории и области изображения красных тонов, соответствующие растительности, и сопоставить с тем, как они переключаются с соответствующими оттенками в комбинации 3-2-1, чтобы гарантировать верную интерпретацию</p>	
5-4-3	Инфракрасный / MIR, band 5 - ближний ИК / near infrared, band 4 - видимый зеленый / green, band 3
<p>Подобно комбинации 4-5-1, эта комбинация снабжает пользователя большим количеством информации и цветового контраста. Здоровая растительность проявляется ярко-зелеными оттенками, а почвы – розовато-лиловыми, сиреневыми. В отличие от сочетания 7-4-2, включающего 7 канал и позволяющего изучать геологические явления, эта композиция полезна для изучения растительности, заражения сельскохозяйственными вредителями и широко используется в области управления лесозаготовками и изучения лесных сообществ</p>	
5-4-2	Инфракрасный / MIR, band 5 - ближний ИК / near infrared, band 4 - видимый зеленый / green, band 2
<p>В данном случае создается композиция в псевдоцветах (pseudo color). Получаемые цвета изображения не соответствуют натуральным цветам объектов. В отдельных случаях дороги могут отображаться оттенками красного, вода – желтого, а растительность – синего. Данные после тематической обработки также формируются в псевдоцветах</p>	
5-4-1	Инфракрасный / MIR, band 5 - ближний ИК / near infrared, band 4 - видимый синий / blue, band 1
<p>Комбинация похожа на 7-4-2, здоровая растительность выглядит ярко-зеленой, за исключением того, что она лучше для сельскохозяйственного анализа территорий</p>	

Комбинация спектральных каналов	Наименование спектральных каналов
Отображение и основное применение данных ДЗЗ, обработанных с применением данной комбинации информации спектральных каналов аппаратуры	
5-3-1	Инфракрасный / MIR, band 5 - видимый красный / red, band 3 - видимый синий / blue, band 1
Данная комбинация показывает морфологию текстуры, в то время как по 7-3-1 можно выявить состав горных пород	
7-4-2	Коротковолновый инфракрасный / MIR, band 7 - ближний ИК / near infrared, band 4 - видимый зеленый / green, band 2
<p>При данной комбинации изображение визуализируется подобным естественному, несмотря на наличие частиц и смога в атмосфере. Здоровая растительность отобразится как ярко-зеленая и может «уйти в насыщение» в сезоны бурного роста (созревания). Луга (пастбища) показываются зелеными, области бедных почв – розовыми оттенками, а области с редкой растительностью - оранжевыми и коричневыми. Сухая растительность видна оранжевой, водные поверхности – голубыми, синими. Пески, почвы, грунты и минералы визуализируются большим множеством цветов.</p> <p>Эта комбинация употребляется для изучения сельскохозяйственных территорий, а также – заболоченных земель. Если на изображении окажутся зоны пожаров (огни), то они отобразятся красными тонами. Она используется и для анализа зарастания или не зарастания лесом пораженных огнем участков и при управлении хозяйством на выгоревшей местности. Городские районы проявляются оттенками пурпурного. Луга (пастбища) проявляются в светло-зеленых тонах. Светло-зеленые вкрапления внутри городов указывают на травяное покрытие земли (парки, кладбища и т. п.). От коричнево-зеленых к ярко-зеленым оттенкам визуализируются лесные территории с хвойным лесом, являющимся более темной зеленью, чем лиственный.</p> <p>Эта композиция используется и для геологических приложений. Она позволяет наилучшим образом распознавать типы горных пород. Вместо band 2 может использоваться band 1 при условии достаточно высокого качества информации.</p> <p>Данную комбинацию лучше применять по результатам съемки засушливых (безводных) территорий и пустынь. На увлажненных подстилающих поверхностях цвета различаются хуже.</p>	
7-5-3	Коротковолновый инфракрасный / MIR, band 7 - коротковолновый инфракрасный / MIR, band 5 - видимый красный / red, band 3
<p>Редко используемая комбинация. Применяется для получения псевдо-натуральных цветов при некоторых условиях [6]. Согласно [4], при данной комбинации изображение визуализируется подобным естественному и позволяет анализировать атмосферную дымку, состояние взвесей в атмосфере, ее задымленность. Растительность проявляется в оттенках темно- и светло-зеленого цвета, урбанизированная местность может быть белой, серой или пурпурной; почвы, песок и минералы проявляются многообразием цветов. Благодаря практически полному поглощению излучения Солнца в среднем ИК-диапазоне водой, снегом и льдом, хорошо выделяются береговые линии и, соответственно, водные объекты. Подтопляемые территории видны очень темно-синими и почти черными, по сравнению с композицией 3-2-1, где мелководные затопленные территории отображаются серым и трудно различимы. Поверхности с повышенной температурой, такие как лесные пожары и кальдеры вулканов выводят в насыщение изображение в средних ИК-каналах и отображаются оттенками красного или желтым цветом. В связи с этим одним из обычных приложений данной композиции является мониторинг лесных пожаров</p>	
7-5-4	Коротковолновый инфракрасный / MIR, band 7 - коротковолновый инфракрасный / MIR, band 5 - ближний ИК / near infrared, band 4
<p>Данная комбинация не включает ни одного канала в видимой части спектра и обеспечивает лучшую проникаемость сквозь атмосферу. В связи с этим четко определяются береговые линии. Она может быть использована для анализа текстуры и влажности почв. Растительность проявляется в оттенках синего цвета. Эта комбинация может использоваться для геологического изучения территорий. Если пользователь предпочитает видеть растительность зеленой, то надо изменить композицию на 7-4-5</p>	

Примечания.

1. Аналогичную таблицу на русском языке с переводом материалов [4] можно найти на сайте www.gis-lab.ru.
2. Комбинация цветовых каналов оборудования (дисплея) при синтезе и обработке указанных комбинаций информации спектральных каналов должна быть – красный (red), зеленый (green), синий (blue).

зоваться при обработке данных со спутников ДЗЗ высокого и сверхвысокого разрешения, таких как IKONOS II, OrbView-3, KOMPSAT, FORMOSAT-2, GeoEye-1, WorldView-2, RapidEye. Для данных, полученных с тех КА ДЗЗ, мультиспектральная аппаратура которых имеет первые 4 спектральных канала, дополнительно доступна лишь комбинация **3-2-1**.

Для мультиспектральных данных, полученных с КА ДЗЗ, возможен синтез с панхроматическими изображениями. Данный вид синтеза в программных комплексах (ПК) ENVI и PCI Geomatica называется PanSharping, а в ПК ERDAS IMAGINE – Resolution Merge. Кроме того, в ПК ERDAS IMAGINE, используя метод Natural Color, из комбинации спектральных каналов **4-3-2** и данных, полученных средствами Resolution Merge (PanSharping) с применением данной композиции каналов, могут быть синтезированы изображения в квазинатуральных (привычных для человеческого глаза) цветах. Такие данные бывают особенно интересны и показательны, например, для презентации и при визуальном дешифрировании тех спутниковых данных ДЗЗ, которые имеют только 2, 3 и 4-й спектральные каналы (band 2-4).

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ИНДЕКСЫ, КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ВЫЧИСЛЕНЫ И ВИЗУАЛИЗИРОВАНЫ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ КАНАЛОВ СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЗЗ

Изложенное ниже описание является переводом и компиляцией материалов, представленных в [1, 3-5]. Как и в предыдущих разделах для удобства использования основные расчетные индексы (соотношения сигналов в каналах), полученные на основе данных оптико-электронной съемочной аппаратуры TM КА Landsat, представлены в табл. 3.

Помимо приведенных в табл. 3 индексов, отдельные программные средства обработки содержат другие индексы или индексные преобразования, причем такие, какие не имеются в других. В частности, в [5] описано вычисление Sum Green (SG) Index, который используется для выявления изменений «зелености» растительности, и Tasseled Cap (имеется и в ERDAS IMAGINE), представляющий собой комплекс индексов, который в зависимости от выбранного типа аппаратуры КА Landsat (MSS, TM, ETM+) выдает от 4 до 6 различных индексов (показателей), характеризующих снятую местность.

Таблица 3

Основные расчетные индексы (соотношения сигналов в каналах), которые могут быть вычислены и при обработке информации спектральных каналов спутниковой аппаратуры ДЗЗ

Комбинация спектральных каналов спутниковой аппаратуры ДЗЗ при обработке	Некоторые основные расчетные индексы, которые визуализируются в виде растров после обработки информации спектральных каналов спутниковой аппаратуры ДЗЗ
Ближний ИК (near infrared, band 4), видимый красный (red, band 3)	<p>Применяется для получения индексов в ПК ENVI и ERDAS IMAGINE:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) простое отношение (Simple Ratio) $SR = IR/R$, его значение должно находиться в интервале от 0 до 30, общепринятые значения для зеленой растительности – в диапазоне 2-8 [5]; по [4] $TM4/TM3$ предназначен для различения растительности, водных объектов и пахотных земель, позволяет интенсивнее выделять леса и бедные (бесплодные) земли и однозначно определить распространение растительности; 2) $SQRT(IR/R)$ имеется только в ERDAS IMAGINE, цели получения не указаны; 3) индекс озелененности (Vegetation Index = $IR-R$) имеется только в ERDAS IMAGINE; 4) нормализованный разностный индекс озелененности (Normalized Difference Vegetation Index) $NDVI = (IR-R)/(IR+R)$, его значение должно находиться в интервале от -1 до 1, общепринятые значения для зеленой растительности в диапазоне 0,2-0,8 [5]; 5) трансформированный (Transformed) $NDVI$ ($TNDVI$) = $SQRT[(IR-R)/(IR+R) + 0,5]$ имеется только в ERDAS IMAGINE; 6) $TM3/TM4$ – для однозначного различения бесплодных и урбанизированных земель, но он не пригоден для определения водных объектов, лесов и пахотных земель [4]

Комбинация спектральных каналов спутниковой аппаратуры ДЗЗ при обработке	Некоторые основные расчетные индексы, которые визуализируются в виде растров после обработки информации спектральных каналов спутниковой аппаратуры ДЗЗ
Видимые красный (red, band 3), зеленый (green, band 2)	Применяется для получения индекса TM3/TM2 [4], который позволяет различать леса и пашни; полезен для определения широких классов растительности и обратного TM2/TM3, который лучше для более четкого различения непродуктивных земель, но при его применении распознавание урбанизированных территорий не улучшается
Видимые красный (red, band 3), синий (blue, band 1)	Применяется для получения индекса окислов железа (Iron Oxide = TM3/TM1); указан только ERDAS IMAGINE
Ближний ИК (near infrared, band 4), видимые красный (red, band 3), синий (blue, band 1)	Применяется для получения (только ENVI): 1) расширенного индекса озелененности (Enhanced Vegetation Index) $EVI = 2,5 * [(pNIR - pRed) / pNIR + 6 * pRed - 7,5 * pBlue + 1]$, его значение должно находиться в интервале от -1 до 1, общепринятые значения для зеленой растительности 0,2-0,8; 2) устойчивого к влиянию атмосферы индекса озелененности (Atmospherically Resistant Vegetation Index) $ARVI = [pNIR - (2 * pRed - pBlue)] / [pNIR + (2 * pRed - pBlue)]$, его значение должно находиться в интервале от -1 до 1, общепринятые значения для зеленой растительности 0,2-0,8
Видимый красный (red, band 3), коротковолновый инфракрасный (MIR, band 5)	Применяется для получения индекса TM3/TM5 [4], который позволяет лучше распознавать непродуктивные земли, автодороги, конфигурацию улиц на урбанизированных территориях, а также застраиваемые городские территории или забетонированные площади. Он улучшает распознавание замутненных вод, а чистых – нет, и соответственно, применяется для наблюдения различий в загрязнениях водных объектов
Ближний ИК (near infrared, band 4), коротковолновый инфракрасный (MIR, band 5)	Применяется для получения: 1) индекса TM4/TM5, который позволяет разделять водные объекты, непродуктивные почвы и растительность [4]; 2) индекса железистых минералов Ferrous Minerals = TM5/TM4 (ERDAS IMAGINE); согласно [4] он позволяет получать улучшенные данные о водных объектах, растительности и присутствии влаги в пахотных землях
Коротковолновый инфракрасный (MIR, band 7), видимый зеленый (green, band 2)	Согласно [4] данное соотношение служит для отделения лесов от пахотных земель, но не пригодно для разделения лесов и водных объектов
Коротковолновый инфракрасный (MIR, band 7), коротковолновый инфракрасный (MIR, band 5)	Применяется для получения: 1) индекса глиноземных минералов Clay Minerals = TM5/TM7 (ERDAS IMAGINE); 2) это же соотношение, согласно [4], позволяет отделять водные объекты от грунтов (почв), а также улучшает определение влаги на пахотных землях и в растительности и, соответственно, используется для изучения урожая «на корню» и мощности растительности
Видимые синий (blue, band 1), красный (red, band 3), ближний ИК (near infrared, band 4), коротковолновый инфракрасный (MIR, band 5), коротковолновый инфракрасный (MIR, band 7)	Применяется для получения индексов (ERDAS IMAGINE): 1) минерального композита Mineral Composite = TM5/TM7, TM5/TM4, TM3/TM1; 2) гидротермального композита Hydrothermal Composite = TM5/TM7, TM3/TM1, TM4/TM3

Примечание.

TM – спектральный канал, соответствующий аппаратуре TM KA Landsat.

Приведенные выше индексы, судя по их описаниям, являются условно «широкополосными» (широкодиапазонными) индексами характера и состояния земной поверхности и растительного покрова.

В описании ПК ENVI [5] также приведено вычисление множества узкополосных (узкодиапазонных) индексов – Narrowband Greenness. В частности, в данном программном комплексе может быть вычислено семейство из семи индексов, связанных с сущностью и термином Red Edge, который, по моему мнению, технически правильно перевести как «красная граница», т. е. правая граница видимого красного диапазона спектра электромагнитных излучений. Аналогичный по названию термин используется в квантовой механике, астрономии и астрофизике. К тому же термин «красная граница» имеет привычное звучание для русскоязычной научной и технической литературы. Данное семейство индексов по смыслу определяемых с его помощью характеристик поверхности Земли, в основном, связывается с нахождением, развитием и жизнеспособностью растений.

Там же описано получение индексов для нефотосинтезирующей растительности (non-photosynthetic vegetation), содержания нитрогенов, лигнина, углерода, целлюлозы, увлажненности и еще нескольких подобного рода индексов, относящихся к изучению растительного покрова Земли. Получается, что именно в ПК ENVI имеются специальные возможности работы с данными спектрального канала Red Edge и, по всей видимости, из доступных по цене в настоящее время именно данный программный комплекс является наиболее подходящим для обработки данных, полученных пятиканальной аппаратурой КА RapidEye. Кроме того, в ПК ENVI встроены 5 спектральных библиотек, практически, на все случаи жизни и представлен полный набор алгоритмов и инструментов для проведения спектрального анализа мультиспектральных данных ДЗЗ. Одна из них, IGCP264, состоит из 5 библиотек измерений, проведенных на пяти разных спектрометрах. Имеется Additional Vegetation Libraries, которая предназна-

чена для определения и изучения наличия сухой и зеленой (живой) растительности.

В настоящей статье перевод описаний по данным индексам не сделан, в силу ограничений на допустимый объем статьи и так как не все из них описаны уравнениями. Кроме того, они, скорее всего, предназначены для узкого круга специалистов, имеющих достаточный практический опыт спектральной обработки данных ДЗЗ.

Хотелось бы выразить благодарность каждому из авторов тех материалов, которые использованы при подготовке настоящей статье, за проделанную ими сложную и нужную работу.

Искренне надеюсь, что при переводах и компиляции использованных публикаций автору настоящей статьи удалось передать основной их смысл. При нахождении возможных смысловых ошибок (в силу отсутствия у автора заметного опыта спектральной обработки) или значительных неточностей в тексте статьи прошу уважаемых читателей сообщить о них в редакцию журнала «ГЕОМАТИКА».

Думаю что, ввиду крайне небольшого количества русскоязычных публикаций об обработке мультиспектральных данных ДЗЗ и их значимости данная статья побудит и других авторов сообщать об интересных данных, опыте и результатах. Это особенно важно, так как в настоящее время данное направление приобретает все возрастающую актуальность при решении научных, хозяйственных и экономических задач в совокупности с соблюдением норм защиты природы. Кроме того, такие данные находят все большее применение в промышленности, в частности, при разработке и испытаниях новой авиационной («беспилотники»), космической и ракетной техники, в военной разведке и, даже, в страховом деле. Убедиться в этом можно, посмотрев спектральные характеристики оптико-электронной аппаратуры современных коммерческих, государственных и военных (TagSat, США), уже функционирующих и готовящихся к эксплуатации спутников для наблюдения Земли в оптическом диапазоне спектра, «беспилотников» и аэрофотокамер.

Список литературы

1. ERDAS IMAGINE [Электронный ресурс]. URL: <http://gi.leica-geosystems.com>.
2. SPOT Image [Электронный ресурс]. URL: <http://www.spotimage.com>.
3. InfoTerra [Электронный ресурс]. URL: <http://www.infoterra-global.com>.
4. James W. Quinn [Электронный ресурс]. URL: <http://web.pdx.edu>.
5. Help ENVI, ver. 4.4.
6. InfoTerra [Электронный ресурс]. URL: <http://www.infoterra.co.uk>.

Integrated Systems Russia

8-10 декабря 2009
Москва, Гостиный Двор

Монтажные приспособления

Акустические системы

Светодиодные экраны

Видеоконференцсвязь

Интерактивные устройства

Системы управления

Плазменные, LCD панели

Коммутационное оборудование

Системы оповещения

Digital Education

Digital Signage

Системы освещения

Мультирум

Конференцсвязь

Впервые! **PROIntegration**
a w a r d s

НАЦИОНАЛЬНАЯ ПРЕМИЯ
в области профессионального аудио-видео оборудования
и системной интеграции «ProIntegration Awards 2009»

www.prointegration.ru



www.isrussia.ru

Профессиональное аудио – видео оборудование и системная интеграция для корпоративного и домашнего сектора: бизнес-центры, государственные учреждения, транспортные объекты, стадионы, образовательные и медицинские учреждения, банки, гостиницы, торгово-развлекательные комплексы, квартиры и коттеджи

При поддержке профессиональных ассоциаций:



CUSTOM
ELECTRONIC
DESIGN &
INSTALLATION
ASSOCIATION

infoComm
INTERNATIONAL

MIDexpo
Международная выставка-ярмарка

Integrated
Systems
Events, LLC

Организаторы:

А.С. Черепанов (Компания «Совзонд»)

В 2005 г. окончил Курганский государственный университет, в 2008 г. – аспирантуру МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «картография». С 2006 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время – старший инженер по тематической обработке данных ДЗЗ. Кандидат географических наук.

Технология выявления медленных изменений в лесах по мультиспектральным космическим снимкам (на примере вымокания лесов)

Ранняя диагностика изменения состояния лесов является одной из эффективно решаемых задач с помощью методов дистанционного зондирования. Рассмотрим решение этой задачи на примере проблемы вымокания лесов, характерной для равнинных, слабо дренированных районов, с неглубоким залеганием грунтовых вод и достаточным увлажнением. В большой степени она проявляется в обширных районах Западно-Сибирской равнины. В условиях повышенной обводненности грунтов, а на большей части территории и заболоченности, прокладка автомобильных дорог, магистральных нефте- и газопроводов требует возведения высоких насыпей. Это приводит к нарушению гидрологического режима, и, как результат, к вымоканию и деградации лесных массивов.

В результате геоботанических исследований в Западной Сибири А.В. Абросимовым и И.В. Шиловой в 2003–2005 гг. были выделены 4 стадии вымокания мелколиственных лесов [1].

1-я стадия. Практически здоровый лес. Леса на этой стадии мало чем отличаются от лесных массивов, не подверженных вымоканию. Древорост не нарушен, лишь в некоторых местах име-

ются признаки угнетения листвы деревьев и переувлажнения. Почва не имеет внешних признаков засоления. Травяная растительность представлена видами, характерными для березовых злаково-разнотравных лесов (рис. 1).



Рис. 1.
Березовый лес. 1-я стадия вымокания



Рис. 2.
Березовый лес. 2-я стадия вымокания



Рис. 3.
Березовый лес. 3-я стадия вымокания

2-я стадия. Характеризуется частичным повреждением деревьев березы повислой: около половины из них имеют листву с признаками угнетения и сухие вершины. Некоторые деревья полностью лишены листвы. В почвенном профиле в результате подъема грунтовых вод возникает осолоделый слой, что говорит о начале засоления почв. В травяном покрове появляются виды, характерные для влажных лесов и болотистых мест (например, лабазник вязолистный) (рис. 2).

3-я стадия. Деревья полностью лишены листвы. Имеются признаки разрушения древесины, о чем свидетельствуют упавшие стволы деревьев. Проявляются признаки заболачивания. В травяном покрове преобладают виды, характерные для влажных лугов и болот (например, осока береговая). Идут процессы засоления почв, в результате чего в почве появляется осолоделый слой (A_2) мощностью 15–20 см, имеющий характерную белесую окраску (рис. 3).

4-я стадия. Происходит замена одной экосистемы на другую. Характеризуется полным исчезновением древесной растительности. Травяной покров составляют виды, характерные для болот (осока береговая, рогоз, тростник). Слой солоды в почвенном профиле достигает мощности 30–35 см. На месте леса возникают заболоченные территории (рис. 4).

Такие серьезные изменения, происходящие в природном комплексе, должны приводить к изменению его спектральной отражательной способности. Следовательно, должно изменяться изображение лесов на

космических снимках. Это определяет возможность использования космических снимков для определения и выделения участков с ослабленным и усыхающим лесом.

РАЙОН РАБОТ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Материалами для исследовательских работ послужили результаты наземных обследований на ключевых участках Курганской области (рис. 5), разновременные



Рис. 4.
Березовый лес. 4-я стадия вымокания

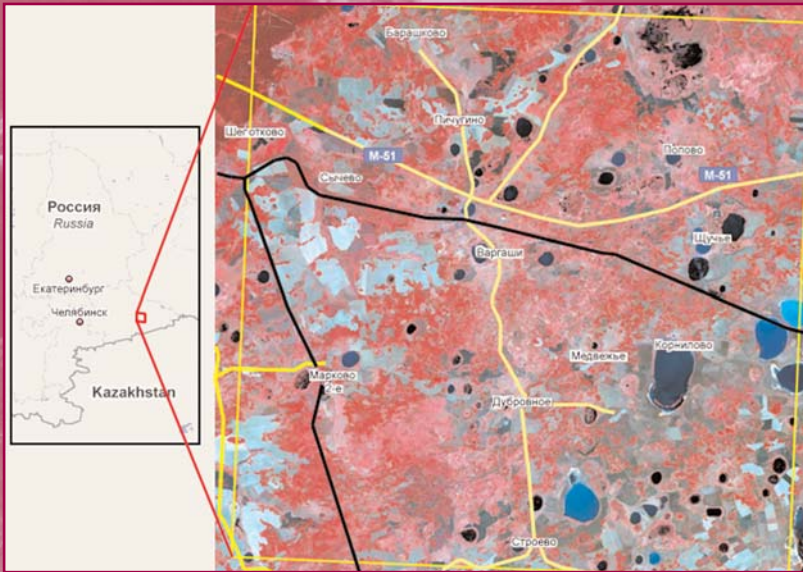


Рис. 5.
Район проведения исследования

мультиспектральные космические снимки, полученные отечественными и зарубежными космическими аппаратами (КА) – «Ресурс-О», Landsat-3, Landsat-4, Landsat-5, Landsat-7, Terra и ALOS, топографические и тематические карты (ландшафтные, геоморфологические, геологические и др.). При этом данные с КА Terra/ASTER и ALOS/AVNIR-2 были выбраны в качестве основы для спектрального анализа и картографирования вымокающих лесов. Снимки прошли радиометрическую и геометрическую коррекцию, а также было устранено влияние атмосферы.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА СНИМКОВ

Геометрическая коррекция. Необходимость геометрической коррекции снимков с учетом рельефа при исследовании лесов диктуется малыми размерами контуров и необходимостью выявления изменений их границ во времени по снимкам с разных КА, полученных под разными углами съемки. Для геометрической коррекции снимков выполнено ортотрансформирование с учетом цифровой модели рельефа местности

SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission). В качестве источника опорных точек использовались уже ортотрансформированные снимки Landsat-7/ETM+ (панхроматические) с пространственным разрешением 15 м (для пространственной привязки снимков с КА Landsat/MSS, «Ресурс-О»/МСУ-Э) и наземные опорные точки, полученные с помощью двух приемников GPS Javad Top Hiper (использовались для ортотрансформирования снимков с КА Terra/ASTER и ALOS/AVNIR-2). Результирующая по-

грешность положения ортотрансформированных изображений с использованием опорных точек со снимков с КА Landsat-7/ETM+ лежит в пределах 50 ± 30 м, что обеспечивает создание карт в масштабе 1:200 000. Погрешность положения ортотрансформированных изображений с использованием наземных опорных точек лежит в пределах 10 ± 5 м, что обеспечивает создание карт в масштабе 1:25 000.

Радиометрическая коррекция и устранение влияния атмосферы. Использование спектральной информации с космических снимков при проведении количественного анализа требует выполнения радиометрической коррекции снимков и устранения влияния атмосферы. Конструкция большинства космических съемочных систем такова, что в пределах их чувствительности (интервала между минимальным и максимальным уровнем регистрируемого излучения) существует линейная зависимость между цифровыми значениями яркости пикселей снимка и яркостью соответствующих площадок земной поверхности. Зная минимальный и максимальный уровень значений регистрируемого устройства излучения, можно с небольшой

погрешностью восстановить физические величины яркости. При соблюдении линейного закона передачи значений яркости расчет значений яркости мультиспектральных снимков в оптическом диапазоне осуществляется по простой формуле:

$$B_{\lambda} = K_{\lambda} \cdot DN + C_{\lambda},$$

где B_{λ} – энергетическая яркость для спектральной зоны, K_{λ} – калибровочный коэффициент, DN – «сырые» значения яркости, C_{λ} – калибровочная константа, соответствующая минимальной величине регистрируемой яркости.

Для радиометрической коррекции снимков с КА Landsat-5/TM, Landsat-7/ETM+, Terra/ASTER, ALOS/AVNIR-2 использовались значения калибровочных коэффициентов и констант, распространяемые вместе со снимками в файле с метаданными.

Для атмосферной коррекции снимков использовался модуль FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) для программного комплекса (ПК) ENVI, который позволяет выполнять атмосферную коррекцию снимков, полученных любыми мультиспектральными или гиперспектральными оптоэлектронными системами [2]. С помощью данного модуля была выполнена атмосферная коррекция снимков с КА Landsat-5/TM, Landsat-7/ETM+, Terra/ASTER, ALOS/AVNIR-2. В ходе коррекции значения спектральной яркости, зафиксированные съемочной аппаратурой, были переведены в коэффициенты отражения, которые могли быть зафиксированы у земной поверхности полевым спектрометром.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ДАННЫХ

При работе с мультиспектральными снимками часто прибегают к созданию так называемых «индексных» изображений. На основе комбинации значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта, и расчета по этим значениям «спектрального индекса» объекта, строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что позволяет выделить исследуемый объект или оценить его состояние. Спектральные индексы, используемые для изучения и оценки состояния растительности, получили общепринятое название вегетационных индексов. Такой же подход был применен и к выделению вымокающих лесов, для чего были проанализированы вегетационные индексы, расчет которых возможен по мультиспектральным снимкам.

На основе данных наземных обследований в пределах участков, находящихся на разных стадиях вымокания, на снимках с КА Terra/ASTER и ALOS/AVNIR-2 выделялись

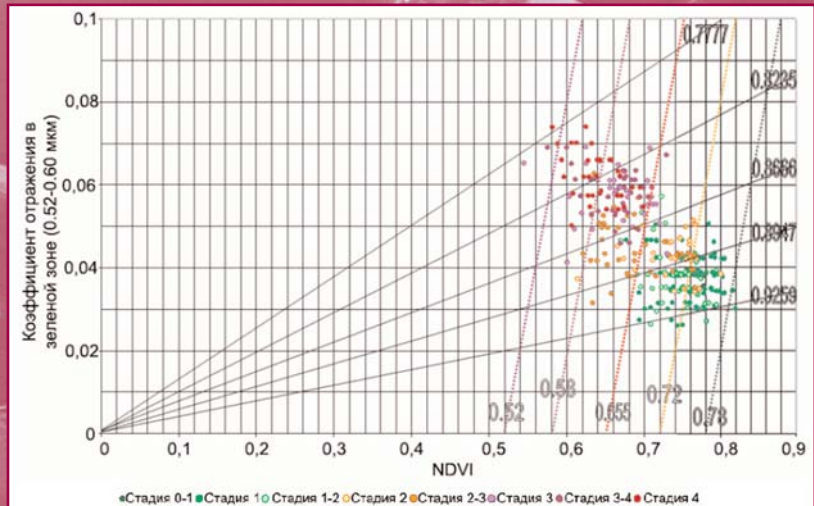


Рис. 6.

График связи значений индекса NDVI со значениями коэффициентов отражения в зеленой зоне. Снимок ALOS/AVNIR-2. Сплошными линиями показаны изовегетационные линии индекса их отношения ($NDVI / \rho_{\text{зел}}$), пунктирными – изовегетационные линии индекса их разности ($NDVI - \rho_{\text{зел}}$). Цифры – значения индекса

площадки размером 2-6 пикселей. По значениям яркости (без атмосферной коррекции) и коэффициентов отражения (полученных при коррекции влияния атмосферы) этих участков были рассмотрены 12 видов индексов (RVI, NDVI, IPVI, DVI, SAVI, mSAVI, NDII, MSI и др.) в Excel. Для оценки возможности использования вегетационных индексов при выделении вымокающих лесов было построено более 200 графиков связи значений рассматриваемых индексов со значениями коэффициентов спектральной яркости в разных зонах спектра. По оси x откладывались значения индексов, которые характеризовали общее состояние растения, по оси y – значения яркости и коэффициентов отражения в разных спектральных зонах. Анализ графиков показал, что существующие индексы, используемые в аэрокосмическом зондировании, мало пригодны для выделения мелколиственных лесов на разных стадиях вымокания. Индексы, в основе которых лежит соотношение яркостей в красной и ближней инфракрасной зонах, слабо отличаются друг от друга по информативности, фактически они идентичны. Существенные различия наблюдаются только между разностными (DVI) и относительными (NDVI, RVI) индексами [3].

При анализе особенностей спектральных характеристик вымокающих лесов на разных стадиях деградации были выявлены связи между значениями коэффициентов отражения в зеленой зоне с одной стороны и красной и ближней инфракрасной зонах (представленных в NDVI) – с другой, позволяющие разделить стадии вымокания. Связь значений индекса NDVI со значениями коэффициентов отражения в зеленой зоне, рассчитанными по снимку с КА ALOS/AVNIR-2, показана на графике (рис. 6). Стадии вымокания на этом графике разделяются изовегетационными линиями (линии, соединяющие одинаковые значения рассчитываемого индекса) с различными значениями индекса вымокания.

В результате предложен новый индекс, описывающий эту связь – *индекс вымокания* для выделения вымокающих лесов и их разделения по стадиям деградации, один из вариантов которого можно представить в виде:

$$\frac{(NDVI - \rho_{ЗЕЛ})}{(NDVI + \rho_{ЗЕЛ})}$$

где $NDVI = \frac{\rho_{БИК} - \rho_{КР}}{\rho_{БИК} + \rho_{КР}}$, $\rho_{ЗЕЛ}$ – коэффициент

отражения в зеленой зоне спектра; $\rho_{КР}$ – коэффициент отражения в красной зоне спектра; $\rho_{БИК}$ – коэффициент отражения в ближней инфракрасной зоне спектра.

Был выполнен расчет значений индекса по снимкам с КА Landsat-5/TM, Landsat-7/ETM+, Terra/ASTER, ALOS/AVNIR-2 и для разделения деградации вымокающих лесов на четыре стадии были установлены следующие интервалы значений *индекса вымокания*.

- 0,89–0,93 (1-я стадия);
- 0,87–0,89 (2-я стадия);
- 0,82–0,87 (3-я стадия);
- 0,76–0,82 (4-я стадия).

Для расчета предложенного индекса была создана подпрограмма к ПК ENVI, позволяющая автоматически выполнять эту операцию.

МЕТОДИКА КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Для оценки вымокания лиственных лесов было предусмотрено поэтапное составление карт следующих видов:

- *динамика распространения лиственных лесов;*
- *вымокающие лиственные леса на разных стадиях деградации.*

Карты динамики распространения лиственных лесов необходимы для получения границ контуров леса, существовавших на рассматриваемой территории за анализируемый промежуток времени (с 1987 по 2006 гг.) и существующих в настоящее время.

Предлагаемая методика автоматизированного картографирования вымокания лесов предусматривает следующие этапы, основные из которых представлены на рис. 7:

- предварительная подготовка космических снимков к автоматизированному дешифрированию;
- автоматическое выделение лиственных лесов на разновременных снимках;
- фильтрация избыточно мелких контуров и автоматическая векторизация границ лиственных лесов;
- создание карты динамики распространения лиственных лесов;
- разделение лесов по стадиям вымокания и создание карты вымокающих лиственных лесов на разных стадиях деградации.

На этапе **предварительной подготовки космических снимков к автоматизированному дешифрированию** снимки прошли радиометрическую и геометрическую коррекцию, было устранено влияние атмосферы.

Автоматическое выделение лиственных лесов.

Для автоматического выделения лиственных лесов по каждому из разновременных анализируемых снимков с

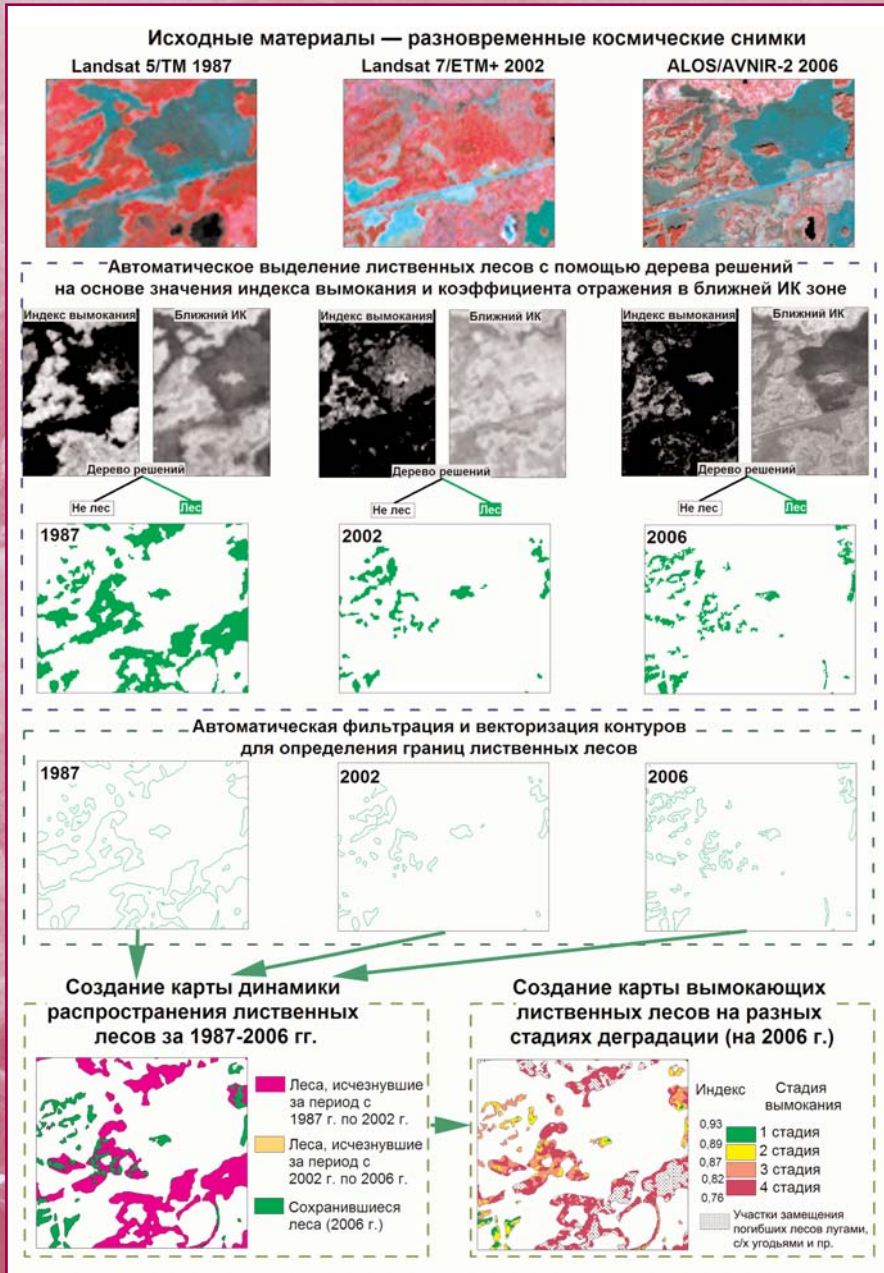


Рис. 7. Методика автоматизированного создания карт вымокания лесов

космических аппаратов Landsat-5/TM (1987 г.), Landsat-7/ETM+ (2002 г.) и ALOS/AVNIR-2 (2006 г.) были определены два параметра: значения предложенного индекса вымокания и коэффициента отражения лесов в ближней ИК зоне спектра. Полученные параметры использовались для альтернативного отнесения пикселей изображения к категориям «лес» (включает лиственные леса — здоровые, 1-й, 2-й и 3-й стадии вымокания) и «не лес» (включает остальные объекты) с помощью алгоритма, основанного на дереве решений. В результате этого этапа автоматической обработки на каждом из снимков были выделены участки лиственных лесов, т. е. практически составлены предварительные карты их распространения в 1987, 2002 и 2006 гг.

Фильтрация избыточно мелких контуров и автоматическая векторизация границ лиственных лесов. Поскольку в результате автоматической классификации на растровых изображениях остаются контуры размером 1–3 пикселя (10×10 – 10×30 м), то полученные изображения нуждаются в предварительной фильтрации мелких контуров с учетом масштаба создаваемой в конечном итоге карты. Эта процедура соответствует картографической генерализации, выполняемой при традиционном составлении карт. В соответствии с масштабом 1:25 000, минимальный размер показываемых площадных объектов должен быть не меньше 25×25 м (1 мм^2 в масштабе карты). Для топографических карт масштаба 1:25 000 принят размер показываемых контуров лесов 4 мм^2 , но, учитывая, что создается не топографическая, а специальная (тематическая) карта, требования повышены до 1 мм^2 .

Для дальнейшего анализа полученных разновременных карт лесов и создания карты изменений их распространения требуется перейти от растрового изображения к карте в векторном формате, более удобном для применения количественных методов и средств анализа пространственной информации.

Для фильтрации и автоматической векторизации изображения использовались дополнительные подпрограммы к ПК ENVI. Выполнение фильтрации целесообразно проводить в два этапа. На первом этапе фильтрации устраняются мелкие выделы лиственных лесов (9 пикселей, т.е. 30×30 м), на втором — пустоты внутри выделов лиственных лесов (18 пикселей). Такие различия обусловлены большей значимостью участков леса по сравнению с другими объектами. Полученное отфильтрованное от избыточно мелких деталей изображение автоматически векторизуется.

Создание карты динамики распространения лиственных лесов. После обработки результатов автоматической классификации путем фильтрации с последующей векторизацией контуров получены границы лиственных лесов в векторном формате на три временных среза — 1987, 2002, 2006 гг. Эти границы необходимы для получения общего контура лиственных лесов, существовавших на данной территории за интервал времени с 1987 г. по 2006 г., и дальнейшей оценки площадей вымокания. При этом границы 1987 г. и 2006 г. рассматриваются как основные. Границы 1987 г. отражают максимальную площадь лесов, которые, по утверждению очевидцев, начали быстро деградировать в конце 1980-х гг., а границы лесов на 2006 г. отражают современное распространение лесов. Границы лесов 2002 г. использовались как промежуточный срез; в большинстве районов они совпадают или близки к границам лесов 2006 г. В пределах общего контура лесов 1987, 2002 и 2006 гг. проводилось разделение лиственных лесов по стадиям вымокания. Путем поочередного вычитания из общего контура границ 2006 г. и 2002 г. были получены участки лиственных лесов, исчезнувших за период с 1987 по 2002 гг., с 2002 по 2006 гг., а также современные границы лесов (на 2006 г.).

После совмещения всех границ на три срока были повторно удалены мелкие контуры, возникшие при пересечении разновременных границ, которые не соответствовали цензу отбора для карты данного масштаба. Для оценки качества полученных контуров результаты сопоставлялись со снимками, имеющимися на эту территорию и не использовавшимися в процессе классификации с КА: Ресурс-О/МСУ-Э, IRS/LISS-3, Landsat-5/TM, Landsat-7/ETM+ и Terra/ASTER.

Разделение лесов по стадиям вымокания. В пределах общего контура лиственных лесов по снимку ALOS/AVNIR-2 с помощью разработанной нами подпрограммы для ПК ENVI был рассчитан индекс вымокания. Снимок ALOS/AVNIR-2 выбран как основной, поскольку он имеет наилучшее пространственное разрешение.

Найденные интервалы значений были использованы для объединения пикселей индексного изображения в группы по 4 стадиям деградации. В результате в пределах границ лесов 1987–2006 гг. среди лиственных лесов были выделены 4 стадии вымокания.

1-я стадия. Практически здоровый лес с отдельными признаками угнетения деревьев. Значения индекса вымокания от 0,89 до 0,93.

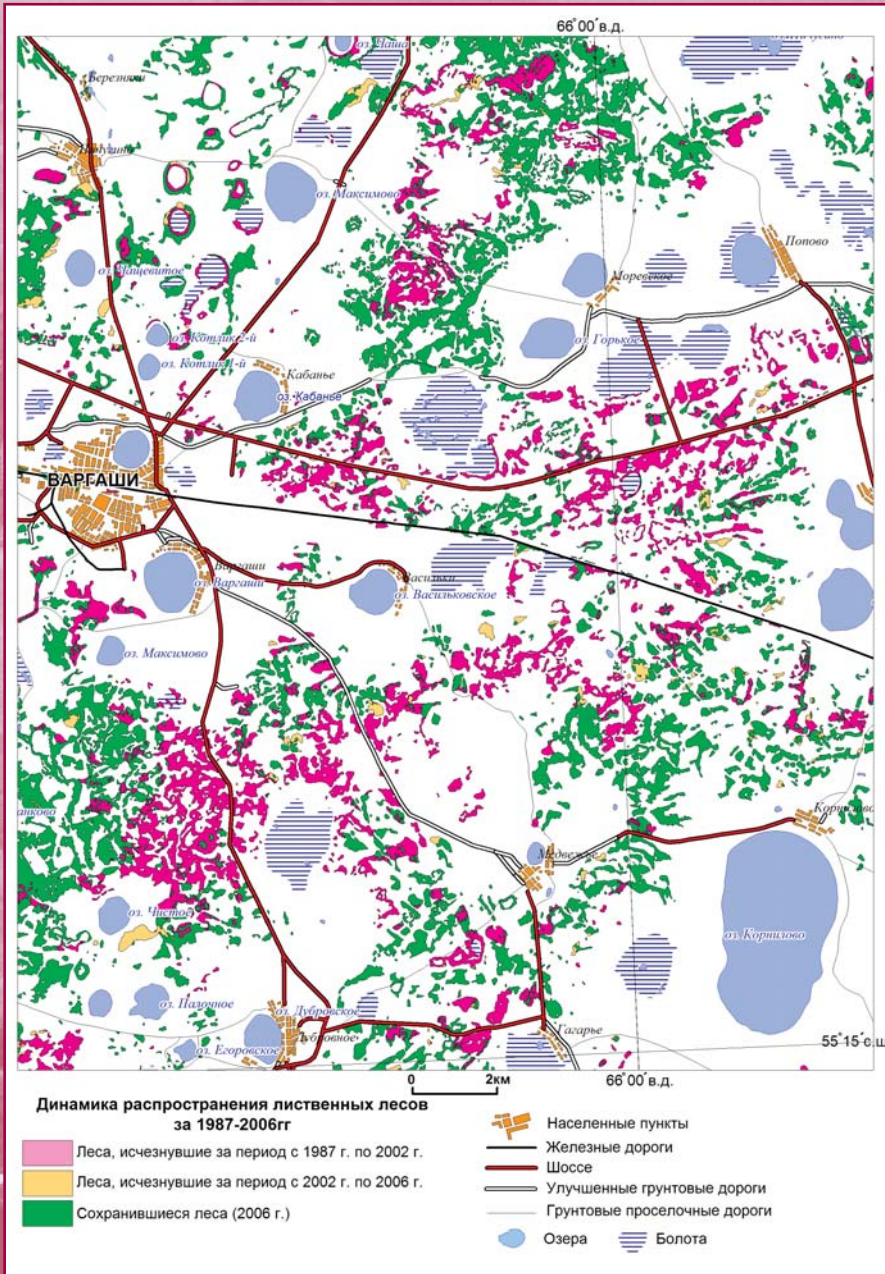


Рис. 8. Фрагмент карты «Динамика распространения лиственных лесов за 1987–2006 гг.», масштаб 1:200 000

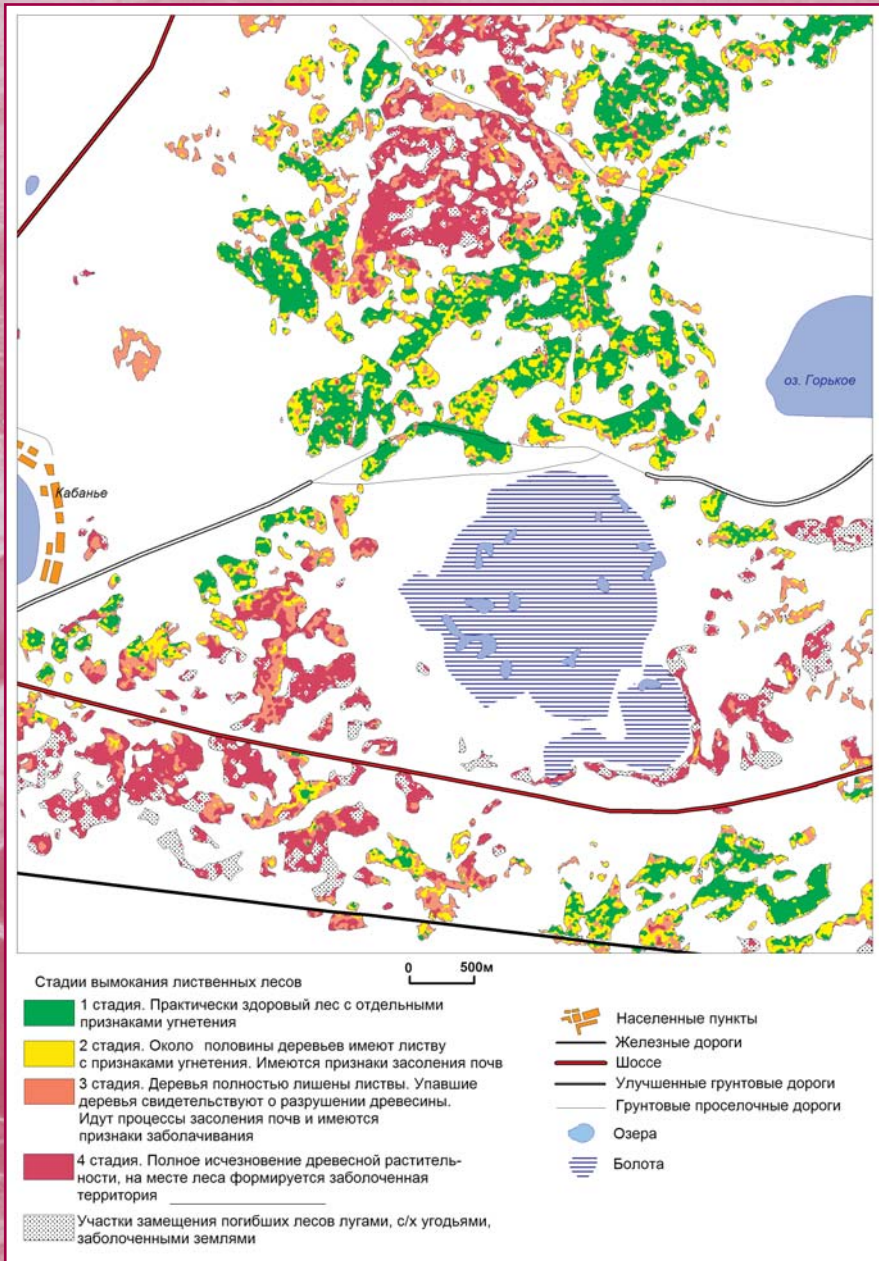


Рис. 9. Фрагмент карты «Вымокающие лиственные леса на разных стадиях деградации (на 2006 г.)», масштаб 1:50 000

2-я стадия. Половина деревьев имеют листву с признаками угнетения, у всех деревьев березы повислой сухие вершины. Имеются признаки засоления почв. Значения индекса вымокания от 0,87 до 0,89.

3-я стадия. Деревья полностью лишены листвы. Упавшие деревья свидетельствуют о разрушении древесины. Идут процессы засоления почв и имеются признаки заболачивания. Значения индекса вымокания от 0,82 до 0,87.

4-я стадия. Полное исчезновение древесной растительности, на месте леса формируются заболоченные территории. Значения индекса вымокания от 0,76 до 0,82.

Участки в пределах контура леса 1987–2006 гг., имеющие значения индекса выше или ниже указанных порогов, соответствуют либо районам полной деградации и замены лесной экосистемы болотами, либо могут являться районами вырубки леса и замены его сельскохозяйственными землями.

Для отображения стадий вымокания лесов на карте выбран способ качественного фона. Участки лесов на разных стадиях вымокания показаны оттенками разных цветов от зеленого для практически здоровых лесов до красного и малинового для деградировавших. Фрагменты карты динамики распространения лиственных лесов и карты вымокающих лиственных лесов на разных стадиях деградации представлены на рис. 8, 9 в масштабах 1:200 000 и 1:50 000.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Достоверность полученных результатов разделения лесов по стадиям вымокания подтверждается полевыми наземными обследованиями более 300 эталонных участков, многократными натурными проверками результатов исследований на 50 контрольных участках.

Созданные карты «Динамика распространения лиственных лесов за 1987–2006 гг.» (рис. 8) и «Вымокающие лиственные леса на разных стадиях деградации (на

2006 г.)» (рис. 9) позволили впервые определить степень деградации и исчезновения лесов в результате процесса вымокания в пределах исследуемого участка. Площадь лесов исследуемого участка сократилась на 72 км², с 276 км² в 1987 г. до 204 км² в 2006 г., что составляет более 26% от первоначальной площади. Лиственные леса 1-й стадии вымокания занимают 42% от площади лиственных лесов на настоящий момент времени, 2-й стадии – 33%, 3-й стадии – 25%. Среди исчезнувших лесов (72 км²) доля лесов 4-й стадии составила 86%, оставшиеся 14% соответствуют районам вырубки леса и его замены сельскохозяйственными землями.

Главным фактором усыхания лесов в данном случае является антропогенный фактор, который проявляется, в основном, в виде объектов инфраструктуры (автодороги, железные дороги, насыпи, трубопроводы и т. д.). В районе представлено несколько транспортных систем. Федеральная автотрасса «Байкал» проходит с запада на восток и разделяет район на две части. От нее также отходят в радиальном направлении асфальтированные дороги. В результате район разбивается на несколько больших участков, разделенных транспортными линиями с насыпями. Кроме того, параллельно с федеральной автотрассой, на расстоянии 2 км от нее, проходит Транссибирская железная дорога. Участки лиственных лесов между автотрассой и железной дорогой оказались наиболее пострадавшими.

В заключение следует отметить, что гибель лесов в результате вымокания по форме внешнего проявления – усыхание, уменьшение количества хлорофилла, пожелтение, изменение структуры листвы, мало отличается от усыхания лесов в результате других воздействий – поражение болезнями, деградация в результате токсических воздействий. В соответствие с этим можно говорить о возможности применения изложенной методики, с внесением определенных изменений, к другим медленным негативным процессам, происходящим в лесах.

Список литературы

1. Абрисимов А.А., Абрисимов А.В. Антропогенное вымокание лесов Курганской области по данным полевых и дистанционных исследований // Природопользование в районах со сложной экологической ситуацией. – Тюмень, 1999. – С. 86–88.

2. Болсуновский М.А, Черепанов А.С. Атмосферная коррекция в ПО ENVI. Модуль FLAASH // Геопроби. – 2006. – № 5. – С. 22–24.

3. Черепанов А.С. Методика картографирования вымокания лесов по космическим снимкам (на примере территории Курганской области). Автореферат канд. дисс. // МГУ им. М.В. Ломоносова геогр. фак. – М., 2008.

И.В. Кондаков (компания «Русский Стиль») В 1990 г. окончил радиотехнический факультет ВИКА им. А.Ф. Можайского (Санкт-Петербург). В настоящее время – главный инженер проектов департамента системной интеграции компании «Русский Стиль».

Е.Ю. Безрукова (компания «Русский Стиль») В 2000 г. окончила факультет психологии Института молодежи (с 2003 г. – Московский гуманитарный университет) по специальности «управление персоналом». В настоящее время – руководитель направления «Образование» департамента системной интеграции компании «Русский Стиль».

Принципы создания центров визуализации данных дистанционного зондирования Земли с использованием технологий трехмерного моделирования

ИСХОДНЫЙ 3D-КОНТЕНТ

Современные средства оптического и радиолокационного мониторинга земной поверхности обеспечивают различные возможности платного и бесплатного доступа к пространственным данным всем заинтересованным организациям. Спутники дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – WorldView-1, QuickBird, GeoEye-1, IKONOS, CARTOSAT-2, SPOT-5 и др. – оснащены высокоточным бортовым оборудованием для получения стереоскопических снимков, дающих возможность создания объемных или 3D-изображений, которые обеспечивают наглядность и простоту восприятия, помогая сосредоточиться на графической информации.

Работа с космическими снимками предъявляет специфические требования к устройствам отображения и видеоконтроллерам. Исходные спутниковые изображения, лежащие в основе геоинформационных систем – это цифровые фотографические снимки, и они должны выглядеть как единое целое, с естественной цветопередачей, достаточной яркостью и контрастностью по всей площади составного экрана.

Трехмерное изображение местности в видимом ди-

апазоне электромагнитных излучений выглядит очень реалистично, позволяет оценить высоту объектов, их относительные размеры и расположение с высокой степенью достоверности. Исследования в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах открывают полные картины природных и техногенных явлений. Объемные тепловые карты, распределение отражения ультрафиолетовых лучей от «подложки» покажут абсолютно точную картину событий, позволят предсказывать их последовательность и управлять развитием.

ОБРАБОТКА СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ

Формирование объемного изображения происходит программным или аппаратным способом. Для этих целей может использоваться программное обеспечение и оборудование компании Varco [1]. Все источники графической и видеоинформации подключаются к специализированному видеоконтроллеру, который формирует одно- или многооконное изображение для нескольких специализированных дисплеев или видеопроекторов, формирующих единое крупноформатное изображение (см. рисунок).



Структура аппаратных и программных средств интегрированного комплекса визуализации данных дистанционного зондирования Земли

УСТРОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ

Стереоскопические снимки отображаются путем вывода двух поляризованных изображений и для наблюдения требуют применения системы отображения на базе стереоскопической проекции или стереоскопического LCD-монитора. При использовании проекционной системы эффект объема более заметен, чем при использовании LCD-монитора, но в последнем случае изображение можно наблюдать без поляризационных очков.

Для получения больших 3D-изображений предпочтительно использовать системы прямой проекции, если размеры дисплеев ограничиваются диагоналями 40-80", то можно применить обратную проекцию с просветными экранами. Такие комплексы обеспе-

чивают исключительную цветопередачу и не утомляют зрение. Основными производителями видеопрокторов для 3D-визуализации являются Varco и Christie Digital. LCD-мониторы объемного изображения выпускаются компаниями Philips и Alioscopy.

Простота навигации по графическим материалам космической съемки обеспечивается интерфейсами картографического программного обеспечения. Прикосновения к сенсорному экрану интерпретируются как нажатия кнопок мыши или перемещения курсора. Очень удобна навигация по виртуальной карте, отображаемой на интерактивном столе, особенно с возможностью работы двумя руками одновременно (multitouch). Наилучшим образом подходят для таких целей современные профессиональные LCD-мониторы с сенсорными насадками.

ЧТО ЭТО ДАЕТ?

Важнейшее преимущество трехмерных систем отображения – полная концентрация и погружение человека в виртуальную реальность [2, 3]. Возможность работы не просто в режиме просмотра стереоприложений, но и осуществление непосредственной интерактивной работы с системой. Данная технология позволяет реализовывать различные формы работы, включая, например, выработку необходимых навыков. Для этих целей создаются специальные приложения, позволяющие отработать необходимый алгоритм действий, находясь в виртуальной реальности.

Удобство считывания трехмерной картографической информации ускоряет восприятие обстановки, а коллегиальность работы с дисплеями общего пользования снижает вероятность ошибочных решений. Наглядное представление данных космических снимков облегчает точную интерпретацию графических данных, где важная информация заключена в цветовых оттенках и переходах, четкости линий и мелких деталях, незаметных для непрофессионала.

ПОТРЕБИТЕЛИ

Трехмерная система отображения данных ДЗЗ может найти свой круг потребителей среди коммерческих и государственных организаций. Потребителями оперативной видеоинформации могут быть органы государственного управления, градостроительные и образовательные учреждения.

В то же время, например, военным и спасателям

Список литературы

1. *Barco.com* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.barco.com>.
2. Компания «Русский Стиль» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rus.ru>.

могут требоваться данные съемки во всем спектре, от микроволнового, инфракрасного и видимого до ультрафиолетового. Во всех режимах и визуальных интерпретациях необходимо точно передавать градации цветов и яркостей изображений, так как температурные и отражательные градиенты несут важную информацию о протекании процессов на Земле.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ

1. Оперативность получения данных ДЗЗ в заданных рамках территорий и диапазонах.
 2. Комфортные условия продолжительного наблюдения 3D видеоинформации с устройств отображения.
 3. Высокая надежность и стабильность параметров отображения, равномерность яркости, идентичность цветопередачи, яркости и контрастности по всему экрану системы отображения.
 4. Универсальность – поддержка многооконного режима отображения, как для обычных, так и для стереоскопических снимков.
 5. Интерактивность – возможность перемещения по снимкам и изменения их масштаба.
 6. Многооконное отображение для вспомогательной информации – текущем времени, параметрах снимков, презентаций, справочных данных и т. д.
- Отдельно стоит отметить, что данные центры визуализации помимо основной технологии – трехмерной визуализации, как правило, включают в свой состав ряд подсистем – озвучивания, интегрированную систему управления, системы видеоконференцсвязи.

3. 3D Центр виртуальной реальности в Московском государственном лингвистическом университете [Электронный ресурс]. URL: http://www.rus.ru/integration/projects/element.php?ELEMENT_ID=90719.

А.Л. Чуркин (ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

В 1988 г. окончил факультет «Кибернетика» Московского института радиотехники, электроники и автоматики по специальности «робототехнические системы». С 1992 г. работает во ВНИИЭМ, в настоящее время – заместитель главного конструктора космического комплекса «Метеор-3М», главный конструктор космического аппарата «Метеор-М» № 3.

Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» со спутником «Метеор-М»

Создаваемый ФГУП «НПП ВНИИЭМ» космический комплекс «Метеор-3М» предусматривает запуск двух метеорологических космических аппаратов (КА): «Метеор-М» № 1 в 2009 г. и «Метеор-М» № 2 в 2010 г., а также КА с океанографической и многорежимной радиолокационной специализацией «Метеор-М» № 3 в 2012 г. Кроме того, Роскосмос, Росгидромет и ФГУП «НПП ВНИИЭМ» рассматривают вопрос о создании дополнительного или нескольких космических аппаратов, которые будут изготовлены по документации серийно выпускаемого КА «Метеор-М» № 2.

В настоящее время завершается подготовка к запуску космического аппарата «Метеор-М» № 1, который был доставлен на космодром «Байконур» 23 июля 2009 г. Пуск КА «Метеор-М» № 1 с разгонным блоком «Фрегат» запланирован на 15 сентября 2009 г. ракетой-носителем (РН) «Союз-2».

Этим запуском начинается воссоздание российской метеорологической орбитальной группировки, прекратившей свое существование 5 апреля 2006 г. в связи с завершением эксплуатации КА «Метеор-3М» № 1.

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «МЕТЕОР-М» № 1

КА «Метеор-М» № 1 (рис. 1) предназначен для получения данных ДЗЗ из космоса в интересах оперативной метеорологии, гидрологии, агрометеорологии, мониторинга климата и окружающей среды, в том числе околоземного космического пространства (ОКП).

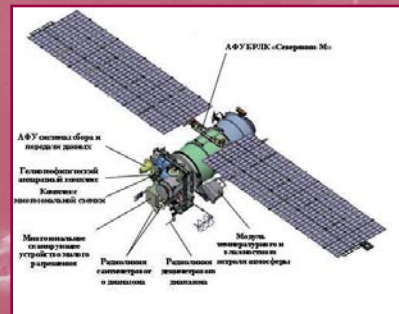


Рис. 1.
Космический аппарат «Метеор-М» № 1

Состав оборудования и собственные характеристики КА «Метеор-М» № 1 позволяют выполнять:

- глобальную съемку освещенной и теневой сторон Земли в видимом, инфракрасном и микроволновом диапазонах спектра;
- локальную съемку радиолокационными средствами и многозональным съемочным комплексом;
- сбор глобальной информации о потоках ионизирующего излучения на высоте орбиты КА;
- температурно-влажностное зондирование атмосферы и сбор данных о малых газовых составляющих атмосферы, включая озон, а также о температуре подстилающей поверхности Земли;
- считывание информации с автоматических метеорологических платформ наземного и морского базирования.

Ожидается, что информация, получаемая КА, ляжет в основу решения следующих задач:

- анализа и прогноза погоды в региональном и глобальном масштабах, состояния акватории морей и океанов, условий для полета авиации и гелиогеофизической обстановки в околосреднем космическом пространстве, состояния ионосферы и магнитного поля Земли;
- мониторинга климата и его глобальных измерений;
- контроля чрезвычайных ситуаций и экологии окружающей среды.

КА «Метеор-М» № 1 должен быть выведен на околоорбитальную солнечно-синхронную орбиту (ССО) со следующими параметрами:

- средняя высота ССО – 832,2 км;
- период обращения – 101,3 мин;
- наклонение – $98,77^\circ$;
- эксцентриситет – $1,15 \times 10^{-3}$;
- аргумент перигея – $66,5^\circ$.

Общая масса КА «Метеор-М» № 1 составляет 2930 кг, а масса полезной нагрузки ~1200 кг.

Для выведения КА на ССО используется РН «Союз-2» этапа 1б и разгонный блок «Фрегат» с новым головным обтекателем. КА выводится по непрямой схеме с последующим доворотом по наклонению с помощью разгонного блока «Фрегат».

Срок активного существования КА «Метеор-М» № 1–5 лет. В течение этого времени космическая платформа «Ресурс-УКП» КА «Метеор-М» № 1 будет обеспечивать:

- постоянную трехосную ориентацию на Землю и по курсу;

- точность ориентации КА в орбитальной системе координат со среднеквадратической погрешностью: по крену и тангажу не более $10'$, по рысканью не более $15'$;

- стабилизацию углового положения КА с угловой скоростью не более 5×10^{-4} /с по всем осям;

- определение положения осей КА с погрешностью не более $6'$. Точность временной привязки положения осей КА – не хуже 1 мс;

- необходимое среднесуточное энергообеспечение до 1,4 кВт и максимальное сеансное – до 2,5 кВт.

Одной из важных характеристик метеорологического КА является период обновления гидрометеорологических данных, который составляет 12 часов.

В состав информационной аппаратуры КА «Метеор-М» №1 входят гидрометеорологическая аппаратура и аппаратура оперативного мониторинга.

Гидрометеорологическая аппаратура включает следующие устройства.

Многозональное сканирующее устройство малого разрешения (МСУ-МР) обеспечивает широкозахватную трассовую съемку облачного покрова и подстилающей поверхности (в том числе, ледового покрова). Основные характеристики: спектральный диапазон – 0,5–12,5 мкм; каналов – 6; пространственное разрешение – 1 км; полоса обзора – 2800 км.

Модуль температурного и влажностного зондирования атмосферы (МТВЗА) (Микроволновой радиометр) предназначен для температурного и влажностного зондирования атмосферы в СВЧ-диапазоне (18,7–183,31 ГГц) и имеет 29 каналов. Пространственное разрешение: горизонтальное – 10–100 км, вертикальное – 4–5 км. Полоса обзора – 1200 км.

Аппаратура оперативного мониторинга состоит из следующих систем.

Комплекс многозональной спектральной съемки (КМСС).

Комплекс многозональной спектральной съемки среднего разрешения предназначен для получения многозональных (6 каналов) изображений подстилающей поверхности в оптическом диапазоне. КМСС состоит из трех камер, две из которых обладают разрешающей способностью 50 м, а третья – 100 м и полосой захвата, соответственно, 450 и 900 км.

Бортовой радиолокационный комплекс (БРЛК).

Назначение бортового радиолокационного комплекса бокового обзора «Северянин-М» – мониторинг ледо-

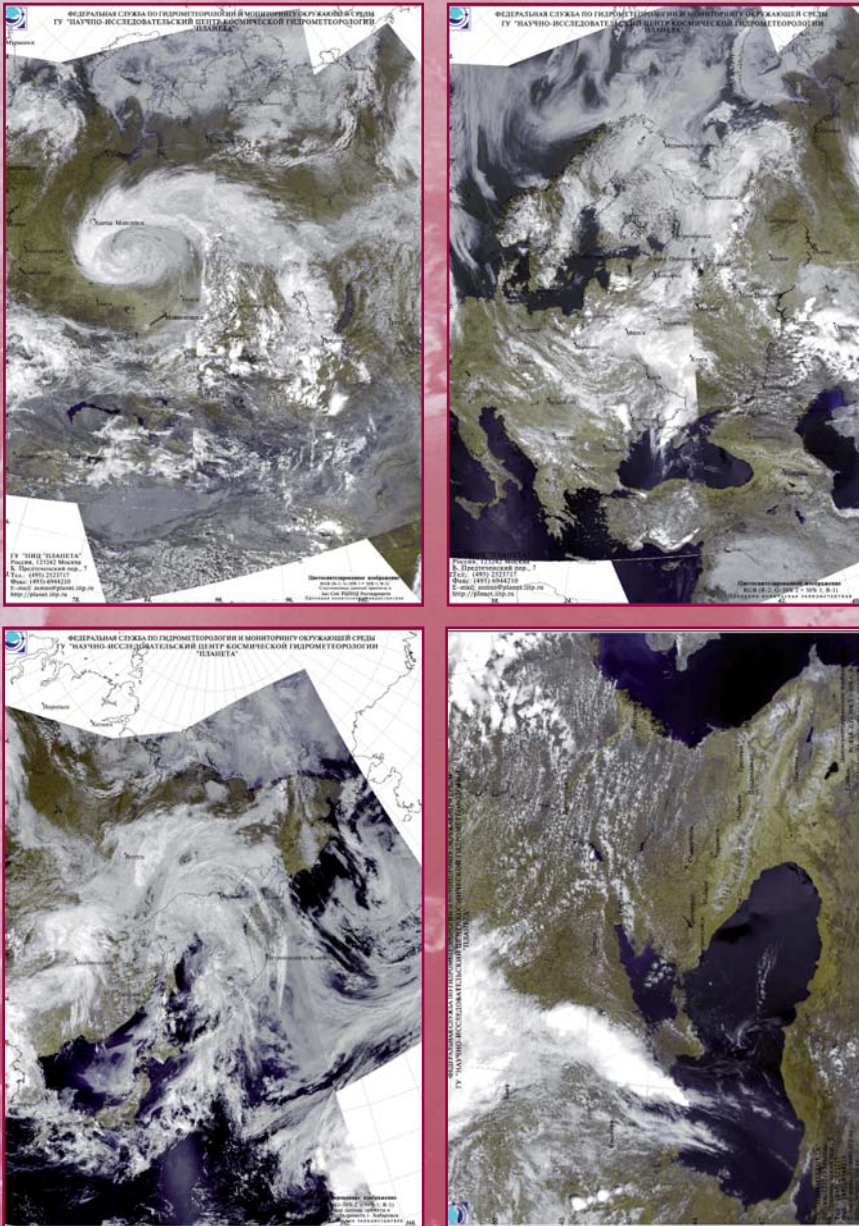


Рис. 2.
Примеры региональных карт облачности

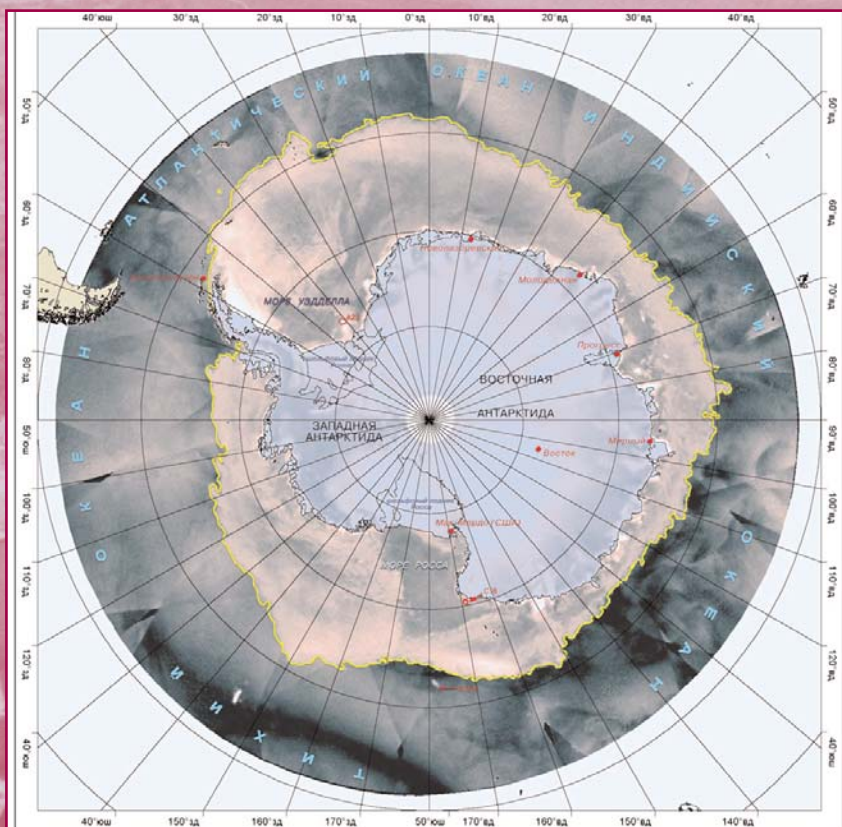


Рис. 3.
Пример карты ледовой обстановки

вого и снежного покровов, состояния гидрологических объектов, а также суши и растительности в X-диапазоне. БРЛК имеет два режима работы с горизонтальным пространственным разрешением 500 и 1000 м соответственно и полосу захвата 600 км.

Гелиогеофизический аппаратный комплекс (ГТАК-М).

ГТАК-М предназначен для глобального мониторинга гелиогеофизических параметров с целью:

- контроля и прогноза радиационной обстановки в ОКП и состояния магнитного поля;
- контроля и прогноза состояния ионосферы и условий распространения радиоволн;
- диагностики и контроля состояния естественных и

модифицированных магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы.

Бортовой радиокomплекс системы сбора и передачи данных (БРК ССПД) предназначен для получения гидрометеорологических данных от автоматических измерительных пунктов.

Бортовая информационная система (БИС).

Информация передается на Землю в частотных диапазонах: 8025–8400 МГц (два канала с информативностью от 15 до 122 Мбит/с каждый), 1690–1710 МГц (665 Кбит/с) и 137–138 МГц (в цифровом международном формате LRPT – Low Resolution Picture Transmission).



Рис. 4.
Примеры карт наводнений

С целью экспериментальной отработки в натуральных условиях на КА «Метеор-М» № 1 устанавливаются новые служебные системы и приборы, которые планируются ввести в штатную эксплуатацию на следующих космических аппаратах комплекса.

После запуска и ввода в эксплуатацию (2009 г.) нового российского космического комплекса «Метеор-3М» с КА «Метеор-М» № 1 должно быть решено несколько принципиальных задач наблюдения атмосферы, океана и суши Земли (рис. 2–4).

1. За счет пополнения мировой системы полярно-орбитальных КА спутниками «Метеор-М» будет повышена периодичность метеонаблюдений в приполярных районах до 8–10 раз в сутки, что положительно скажется на точности оперативных прогнозов погоды в регионах с широтой выше 50–55°, т. е. в России, Канаде, Скандинавии и США (Аляска), а также по акваториям полярных морей.

2. Комплексность синхронных (одновременных) наблюдений суши, океана и атмосферы в оптических ИК и микроволновых (пассивных и активных, радиолокационных) диапазонах позволит более эффективно решать задачи оперативного мониторинга природных и антропогенных катастроф, а также задачи судовождения в Северном Ледовитом океане.

3. Передаваемая с борта КА «Метеор-М» мультиспектральная широкополосная информация среднего (50–100 м) разрешения позволит восстановить место России на мировом рынке, занятое сейчас КА Terra (240 м), Aqua и IRS (55 м). Непосредственный прием информации со спутника будет проводиться широкой сетью российских станций сантиметрового диапазона (более 30 станций) и многочисленных станций за рубежом. Коммерческое получение этой информации будет использоваться для контроля с высокой периодичностью (1–2 суток) возникновения и развития чрезвычайных ситуаций антропогенного и природного происхождения в интересах экологического контроля, а также оценки биопродуктивности океанских шельфов.

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «МЕТЕОР-М» № 2

Второй спутник космического комплекса «Метеор-3М» должен соответствовать первому по назначению и составу и дополнять его с целью улучшения параметров обзорности и периодичности.

Часть служебной аппаратуры модернизируется, некоторая заменяется в связи с моральным старением. В частности, аналоговая система ориентации заменяется на цифровую; функции стандарта времени и частоты

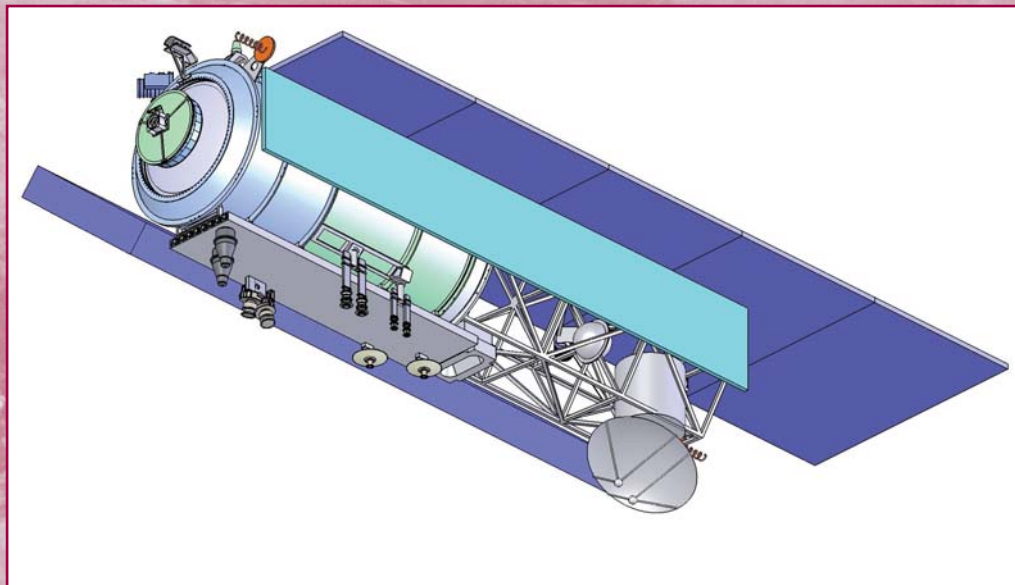


Рис. 5.
Космический аппарат «Метеор-М» № 3

БСВЧ и экспериментального навигационного приемника АСН перейдут к интегрированной системе БСКВУ (бортовое синхронизирующее и координатно-временное устройство).

Состав бортового БИК дополняется инфракрасным фурье-спектрометром ИКФС-2, предназначенным для температурного и влажностного зондирования атмосферы, определения составляющих радиационного баланса и измерения концентрации озона и других малых газовых составляющих атмосферы.

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «МЕТЕОР-М» № 3

Этот космический аппарат (рис. 5) будет обладать определенной спецификой среди прочих спутников, входящих в космический комплекс «Метеор-3М», так как должен иметь океанографическую и гидрологическую направленность. При этом государственным заказчиком специально отмечено, что основное назначение этого КА – всегодный и независимый от освещенности радио-

локационный мониторинг с использованием БРЛК с активной фазированной антенной решеткой (АФАР).

Заложенные в проект современные конкурентоспособные характеристики позволят обеспечивать решение не только метеорологических и океанографических задач, но и задач других заказчиков и потребителей. В частности, на основании информации, получаемой с помощью КА «Метеор-М» № 3, планируется решение следующих основных задач:

- обеспечение безопасности мореплавания, проведение фундаментальных и прикладных исследований ледяного покрова в приполярных акваториях мирового океана и замерзающих морях, а также в крупных озерах умеренных широт;
- прогноз, мониторинг и информационное обеспечение мероприятий по ликвидации последствий наводнений;
- оперативный контроль за состоянием водной среды и соблюдением правил использования континентального шельфа в исключительной экономической зоне РФ; своевременное обнаружение, определение площади

и конфигурации разливов нефтепродуктов на водной поверхности, а также мониторинг динамики развития загрязнений акватории мирового океана;

- мониторинг промышленных районов мирового океана в целях информационного обеспечения производственной деятельности рыболовного флота;
- исследование принципов тепло-, массопереноса на границе раздела океан-атмосфера в интересах ре-

шения прикладных и фундаментальных проблем гидрометеорологии и океанографии;

- агрометеорологическое обеспечение сельскохозяйственного производства.
- Результаты эскизного проектирования определили основные характеристики и параметры КА «Метеор-М» № 3 и бортового радиолокационного комплекса, которые приведены в таблице.

Основные параметры КА «Метеор-М» № 3 и бортового радиолокационного комплекса и их характеристики

Наименование параметра	Характеристика параметра
Тип орбиты	Околокруговая, солнечно-синхронная, полуденная, некорректируемая
Высота орбиты в восходящем узле, км	652
Выведение КА на целевую орбиту	РН «Союз-2» (этап 1Б) с РБ «Фрегат»
Ориентация в штатном режиме	Трехосная орбитальная или программная
Программные повороты КА	Вокруг любой оси КА
Угловая погрешность при ориентации в орбитальном или программном режиме по всем осям, °	$\sigma = 3$
Погрешность стабилизации угловой скорости, 0/с	$\sigma = 1 \times 10^{-4}$
Передача данных для географической привязки целевой информации с ошибкой не более, м	100
Пространственное разрешение БРЛК в режимах, м	5+500
— обзорном	5
— маршрутном	1
— экспериментальном объектовом	
Ширина полосы захвата БРЛК в обзорном режиме, м	До 750
Информативность целевых радиоканалов, Мбит/с	
— 8,025–8,4 ГГц	До 244
— экспериментального 25,5–27 ГГц	До 1200
Объем ЗУ для информации БРЛК, Гбайт	256
Сеансное энергопотребление БРЛК, кВт	2,7
Среднесуточное энергопотребление КА, Вт	750
Масса КА в целом, кг	1000 (+100)
Срок активного существования, лет	7

Помимо БРЛК с АФАР в состав бортового информационного комплекса КА «Метеор-М» № 3 должны войти оптические сканеры для определения цветности воды и

контроля состояния биосферы океана, скаттерометр и аппаратура «Радиомет» для измерения параметров атмосферы методом радиозатменного просвечивания.

Д.М. Трофимов (ООО «НПО «Астрозонд»)

В 1958 г. окончил Московский геологоразведочный институт. С 2008 г. – главный геолог ООО «НПО «Астрозонд». Доктор геолого-минералогических наук.

Ю.В. Денисов (ООО «НПО «Астрозонд»)

В 1974 г. окончил Академию связи. Работает в области информационного анализа и обеспечения космической информации. С 2008 г. – генеральный директор ООО «НПО «Астрозонд».

Возможности космических методов при прогнозировании и оценке ловушек углеводородов в нефтегазоносных районах Восточной Сибири

Перспективность использования космических методов в широком диапазоне электромагнитных волн при проведении поисковых работ на нефть и газ в пределах Восточной Сибири обусловлена высокой тектонической активностью на рельефообразующем и особенно на неотектоническом этапах (рис. 1-3).

В пределах последнего суммарные амплитуды воздыманий этой территории оцениваются от нескольких сотен метров до нескольких километров, сопровождавшиеся значительной перестройкой структурных планов [1]. Это связано как с изменением направления структурообразующих разломов, так и со взбросо-надвиговыми смещениями по солоносному комплексу венда. Тектонические движения данного возраста настолько интенсивно преобразовали и осложнили структурный план осадочного чех-



Рис. 1.

Сложнодислоцированный рельеф в районе Чаяндинского месторождения на космическом снимке с КА ERS в радиоволновом диапазоне, как отражение блоковых движений на неотектоническом этапе

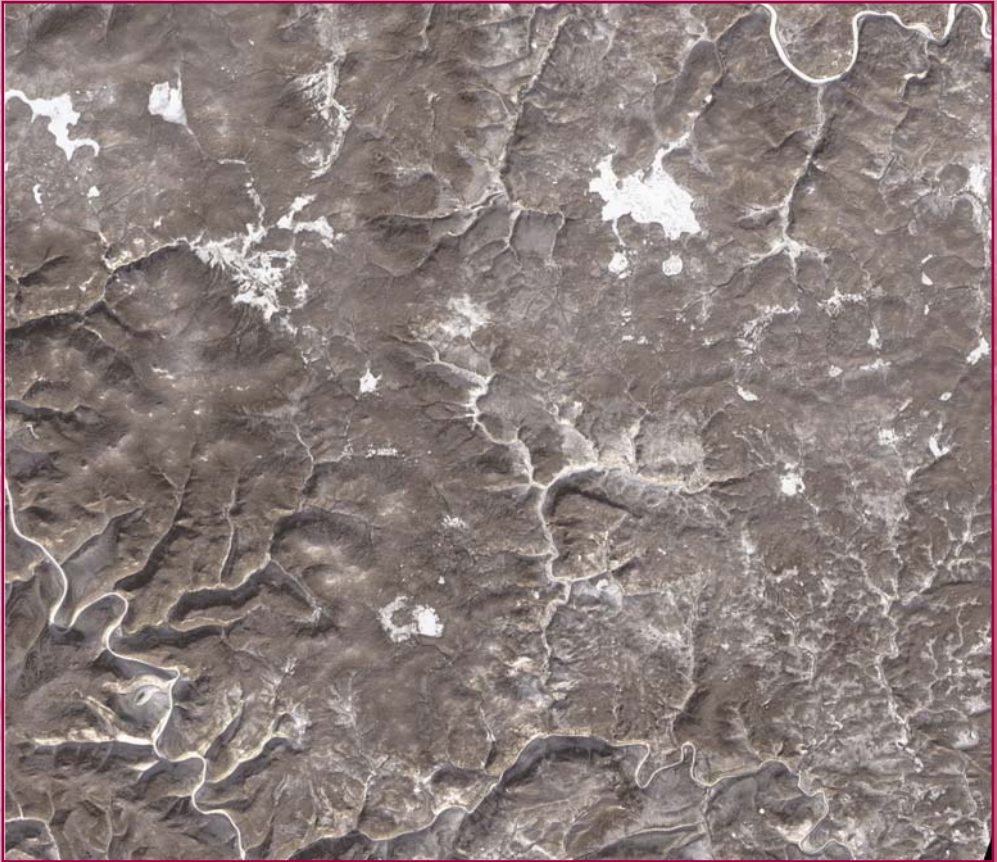


Рис. 2.
Исходный космический снимок с КА Terra в районе Камовского свода Байкинской антеклизы

ла, что эффективность сейсморазведочных работ при выявлении и подготовке ловушек к поисковому бурению является относительно низкой.

Вторым следствием перестройки осадочного чехла явилось нарушение гидродинамики подземных вод в течении длительного континентального периода с юрского времени, вызвавшего эпигенетические изменения в потенциально продуктивных резервуарах.

Сформированные в палеозойское время структуры пликативного облика после активных поднятий на неотектоническом этапе приобретают вид блоков (рис. 2, 3) или разбитых разломами на блоки складок (рис. 4). Интенсивная раздробленность разрывными нарушениями обновленных поднятий может привести к разрушению залежей углеводородов. Оценка критической степени дислоцирован-

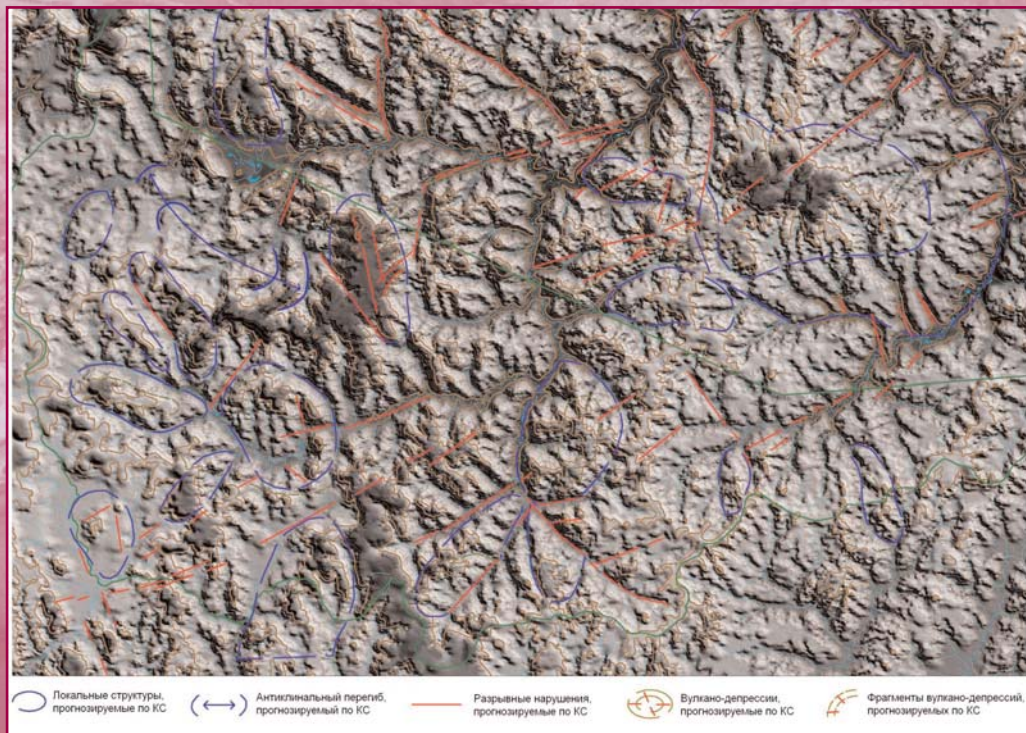


Рис. 3.
Трехмерная модель с элементами структурного дешифрирования территории с широким распространением траппов

ности ловушек возможна только с помощью космических методов, так как сейсморазведка, как правило, выявляет высоко- и среднеамплитудные разломы, а дистанционные методы – в том числе, и малоамплитудные зоны трещиноватости.

Особенности перестройки структурных планов хорошо фиксируются в комплексе с данными магниторазведки и дистанционных методов. Структурный план чехла наследует план фундамента, который отчетливо фиксируется в магнитном поле (рис. 5). Кро-

ме того, большинство месторождений Непско-Ботубинской антеклизы имеет северо-северо-восточное простирание, аналогичное ориентировке структур фундамента (Чаяндинское, Среднеботубинское, Мас-Юряхское и др.). То же явление отмечается в сопредельном районе Предпатомского прогиба, где имеют развитие взбросо-надвиги [2], существенно осложняющие структуру чехла, обнаруженные в ряде скважин на Нижнепелидуйской, Иас-Юряхской, Борулахской, Отраденской и других площадях.



Рис. 4.
Отражение структуры Талаканского месторождения на космическом снимке

В результате пересечения глыбово-блоковых структур фундамента северо-северо-восточного простирания и субширотно ориентированных взбросо-надвигов на космических снимках четко фиксируется перекрестный структурный план

(рис. 6, 7). Отмечается локализация последних в пределах крупных глыб, а не повсеместное их распространение.

Приведенные примеры возможностей распознавания структур чехла и их взаимоотношений с по-

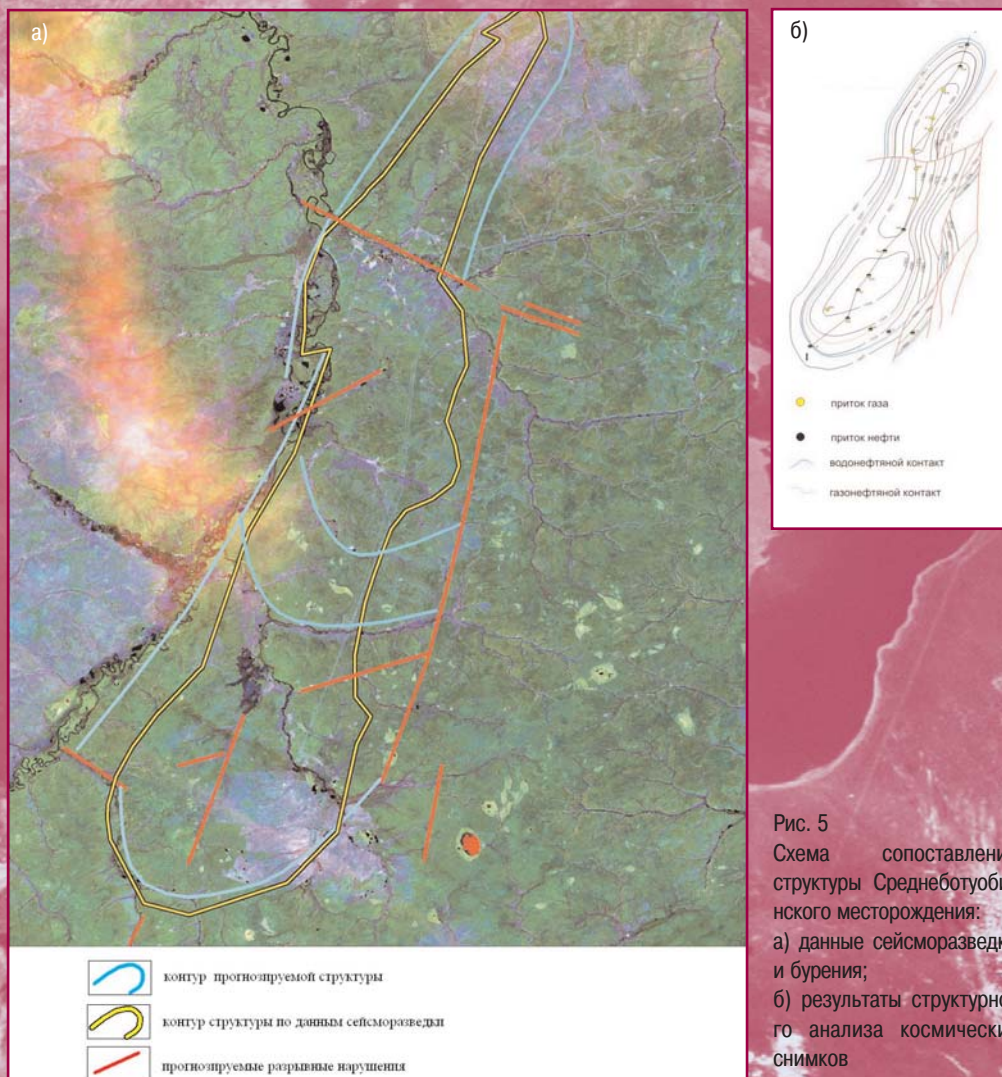


Рис. 5
Схема сопоставления структуры Среднеботуобинского месторождения:
а) данные сейсморазведки и бурения;
б) результаты структурного анализа космических снимков

мощью космических снимков в условиях сложного геологического строения южной части Сибирской платформы показывают высокую информативность космических снимков в комплексе с геологоразведочными работами на нефть и газ. При этом при-

рост новой структурной информации за счет учета данных, получаемых с космических снимков высокого разрешения, возможен в диапазоне от поисков до разработки месторождений.



Рис. 6. Радиолокационный снимок с КА Envisat с элементами структурного дешифрирования района Предпатомского прогиба

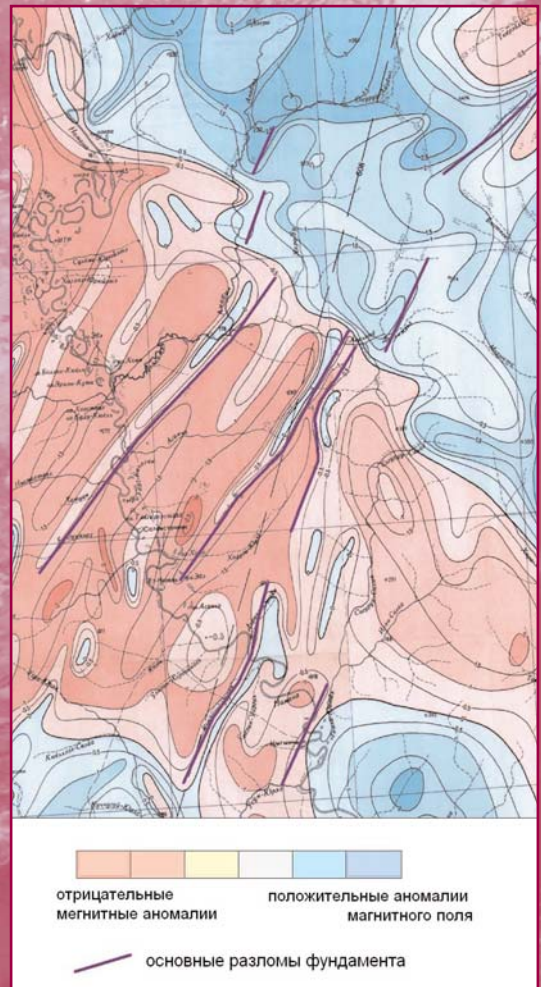


Рис. 7. Фрагмент карты магнитного поля, отражающий структуры докембрийского фундамента

Список литературы

1. Новейшая тектоника Сибирской платформы и ее влияние на нефтегазоносность. Сборник статей (под редакцией Трофимука А.А., Варламова И.П. и Старосельцева В.С.). – М.: Наука, 1985.

2. Серезженков В.Г., Ситников В.С., Аржаков Н.А. и др. Надвиговая тектоника и нефтегазоносность Предпатомского прогиба // Геология нефти и газа. – 1996. – № 9.



IV Международная конференция "Космическая съемка – на пике высоких технологий"

14–16 апреля 2010 г.
Москва

Целью конференции является широкий обмен опытом использования данных дистанционного зондирования Земли для решения картографических задач, для целей кадастра, для создания геоинформационных систем (ГИС), решения тематических задач для нефтегазовой отрасли, энергетики, городского, административного и муниципального управления и т.д.

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:

"Атлас Парк-Отель", Московская область, Домодедовский район

ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ:

- Комплексный подход к использованию новейших технологий ДЗЗ для информационно-аналитического обеспечения ситуационных центров.
- Наземные комплексы оперативного приема и обработки космической информации и сервисы для мгновенного доступа к архивным каталогам.
- Современное состояние и тенденции развития российских и зарубежных программ ДЗЗ и новейшие технологии комплексной обработки данных.
- Программные комплексы и решения для обработки данных ДЗЗ, создания ГИС и геопорталов от ведущих разработчиков.
- Сквозные циклы совместного использования космического мониторинга и ГЛОНАСС-GPS-технологий.
- Банки геоданных – датацентры для отрасли ГИС и ДЗЗ. Основные проблемы и перспективы развития.



ОРГАНИЗАТОР:

Компания "Совзонд", 115446, г. Москва, Шипиловская, д. 28а
Тел: +7 (495) 988-7511, 988-7522, 514-8339. Факс: +7 (495) 988-7533, 623-3013
E-mail: conference@sovzond.ru Web-site: www.sovzondconference.ru

УЧАСТНИКИ:

- НЦ ОМЗ (Россия)
- ГКНПЦ им. Хруничева (Россия)
- ЦСКБ "Прогресс" (Россия)
- ФГУП "НПО им. С.А. Лавочкина" (Россия)
- DigitalGlobe (США)
- GeoEye (США)
- RapidEye (Германия)
- Infoterra (Германия)
- SpotImage (Франция)
- MDA (Канада)
- Inpho (Германия)
- ITT VIS (США, Франция)
- ESRI Inc. (США)
- Bentley Systems (США)
- ORACLE (США)

ПЛАТИНОВЫЙ
СПОНСОР:



ПАРТНЕР:



ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СПОНСОРЫ:



Итоги

III Международной конференции «Космическая съемка – на пике высоких технологий»

15-17 апреля 2009 г. в подмосковном комплексе «Атлас Парк-Отель» прошла III Международная конференция «Космическая съемка – на пике высоких технологий», организованная компанией «Совзонд» (рис. 1). Генеральным спонсором конференции выступила компания DigitalGlobe (США), спонсором конференции – компания «Салайета» STS Group, спонсором одного из семинаров – Bentley Systems (США), партнером конференции – ГИС-Ассоциация. Информационную поддержку конференции оказали Интернет-портал R&D.CNews, журнал GISDevelopment (генеральные информационные спонсоры), журналы «Геопрофи», «Новости космонавтики», «Аэрокосмический курьер», «Информация и Космос», GEOconnection, международный журнал GIM International, газета новостей «ГИСинфо», электронный каталог «GeoTop».

III Международная конференция «Космическая съемка – на пике высоких технологий» стала местом встречи руководителей и ведущих специалистов российских и зарубежных компаний, работающих в области ДЗЗ, ГИС и картографии, кадастра, экологии и рационального использования природных ресурсов, занимающихся территориальным планированием и вопросами управления муниципального, городского и регионального уровня, решением тематических задач в различных отраслях народного хозяйства.

Участие в конференции 2009 г. приняли более 300 делегатов из 12 стран: России, Белоруссии, Украины, Казахстана, США, Франции, Германии, Китая и др.

Открыл III Международную конференцию «Космическая съемка – на пике высоких технологий» генеральный директор компании «Совзонд» В.И. Михайлов, который поздравил всех участников с началом работы форума и выразил надежду на полезную и плодотворную работу, отметив, что отрасль ДЗЗ динамично развивается, и участие в данном мероприятии дает отличную возможность ознакомиться с новыми тенденциями и поделиться опытом использования передовых технологий.

В рамках конференции прошли: пленарные заседания, семинары, мастер-классы, «круглый стол», демонстрация работы ситуационного центра космического мониторинга и другие мероприятия.

В первый день (15 апреля) пленарное заседание было посвящено современному состоянию и тенденциям развития российских и зарубежных программ ДЗЗ (рис. 2). С анализом основных тенденций развития отрасли выступил заместитель генерального директора компании «Совзонд» М.А. Болсуновский. Докладчик особо отметил перспективность комплексного подхода к использованию и обработке данных ДЗЗ в рамках геоинформационных технологий, озна-

комил участников с концепцией создания центров космического мониторинга.

В ходе пленарного заседания с докладами выступили представители ведущих мировых поставщиков космических данных (DigitalGlobe, GeoEye, RapidEye AG, Infoterra GmbH, НЦ ОМЗ и др.). Большой интерес вызвала презентация спутника нового поколения WorldView-2, представленная главным техническим директором компании DigitalGlobe W. Scott (рис. 3, слева). Новый космический аппарат (КА), запуск которого запланирован на 6 октября 2009 г., будет поставлять снимки с разрешением 0,5 м в панхроматическом режиме и 2 м – в мультиспектральном, причем число спектральных зон будет увеличено с традиционных 4 до 8. В результате значительно повысится точность классификации и правильного распознавания объектов на снимках. Коммерческая эксплуатация WorldView-2 может начаться в IV квартале 2009 г., после чего компания



Рис. 1.
«Атлас Парк-Отель». Регистрация участников III Международной конференции «Космическая съемка – на пике высоких технологий»



Рис. 2.
Пленарное заседание

DigitalGlobe получит возможность одновременно снимать Землю с помощью трех КА высокого разрешения: QuickBird, WorldView-1 и 2. Общая суточная производительность системы составит 2,7 млн км².

С планами развития отечественной группировки спутников ДЗЗ собравшихся ознакомили генеральный директор Госцентра «Природа» В.П. Седельников и начальник НЦ ОМЗ Н.Н. Новикова (рис. 3, справа).

В.П. Седельников отметил, что для повышения эффективности использования результатов космической деятельности и создания инфраструктуры пространственных данных российская орбитальная группировка спутников ДЗЗ должна состоять из четырех космических аппаратов: двух с оптико-электронной аппаратурой, обеспечивающей, соответственно, проведение стереоскопической панхроматической съемки с разрешением не хуже 1,5 м для построения топографической основы и проведение панхроматической и мультиспектральной съемки с разрешением порядка 0,5 м и 1,5 м для наполнения построенной топографической основы; двух с радиолокационными системами, работающими в тандеме и обеспечивающими всепогодную съемку с различной поляризацией с разрешением от 1 м, а также интерферометрическую и стереоскопическую съемку для построения и для наполнения топографической основы независимо от метеорологических факторов.

Н.Н. Новикова сообщила, что в перспективе до 2015 г. российская группировка ДЗЗ будет состоять из 8-10 космических аппаратов природно-ресурсного

и детального мониторинга, в том числе серий «Метер-М», «Канопус-В» и др., позволяющих решать большинство научно-практических задач в интересах социально-экономического развития России и международного сотрудничества.

Представитель компании GeoEye (США) А. Шумаков рассказал о начале коммерческой эксплуатации нового спутника GeoEye-1, который в настоящее время обладает самым высоким пространственным разрешением (0,41 м) и самой высокой точностью геопривязки (около 3 м без опорных точек). Стоимость заказа съемки зависит только от площади съемки и уровня обработки и не связана с выбранным видом снимка – панхроматические, мультиспектральные снимки, а также «пакет» стоят одинаково. Кроме того, гарантированная облачность составляет не более 15%.

От компании Infoterra GmbH (Германия) выступил R. Lanzi. Он сообщил, что на конец 2009 г. запланирован запуск нового радарного спутника TanDEM-X, который в паре с уже действующим КА TerraSAR-X обеспечит создание высокоточной цифровой модели рельефа всей планеты.

С большим интересом участники конференции выслушали сообщение инженера компании RapidEye AG (Германия) R. Griesbach. Маневренность, большие площади съемки и возможность ежедневного мониторинга, а также высокое пространственное разрешение делают использование данных, полученных с группировки из пяти спутников RapidEye, особенно



Рис. 3. Пленарное заседание. Выступления докладчиков

перспективными для использования в сельском и лесном хозяйстве; для целей мониторинга чрезвычайных ситуаций и охраны окружающей среды; для решения задач планирования и управления в нефтегазовой и транспортной сферах. Уникальным для спутников высокого разрешения является дополнительный спектральный канал «крайний красный», который оптимально подходит для наблюдения и анализа состояния растительного покрова (оценка содержания хлорофилла, протеина и азота).

Опыт применения данных ДЗЗ в практических целях поделились представители ФГУП «Уралгеоинформ», ФГУП «НПП ВНИИЭМ», ООО «НКС Вектор» и многие др. Одно из новых направлений использования данных ДЗЗ в докладе «Ситуационные центры – практический подход к реализации» представил генеральный директор ООО «Салайета» STS Group Д.В. Румянцев.

Во второй день конференции (16 апреля) прошло два пленарных заседания – «Программные комплексы, системы и решения для обработки данных ДЗЗ от ведущих российских и зарубежных разработчиков» и «Опыт решения практических задач с использованием данных ДЗЗ в нефтегазовом комплексе».

Особый интерес вызвали выступления представителей ведущих мировых разработчиков программных комплексов.

Вице-президент компании Bentley Systems S. Morisi рассказал об основных тенденциях развития геоинформационного сектора программных решений компании. Современный рынок САПР и ГИС предлагает пользователям широкий выбор программных средств, но лишь немногие из них совмещают в себе черты систем автоматизированного проектирования и возможности полнофункциональных ГИС. В этом смысле технологические решения компании Bentley Systems по праву занимают лидирующие позиции в мире. Докладчик отметил также эффективность использования программных средств компании BentleySystems для создания геопорталов. Так, например, Bentley Geo Web Publisher – полномасштабное решение для предоставления геопрозрачной информации в форме геопортала.

С новыми возможностями программных комплексов по фотограмметрической и тематической обработке данных ДДЗ участников конференции ознакомили представители компаний ITT VIS (США)

Ch. Darnel, представившая новую версию ПК ENVI, и INPHO GmbH (Германия) В. Quedenfeldt, рассказавшая о фотограмметрическом комплексе INPHO.

Во второй части пленарного заседания докладчики наглядно продемонстрировали широкие возможности данных ДДЗ и геоинформационных технологий при решении различных задач в нефтегазовой сфере. Участники конференции отметили выступления Е.А. Брагина (ГП НАЦРН им. В.И. Шпилемана) об использовании ДЗЗ для мониторинга объектов инфраструктуры и экологических нарушений, И.Н. Каргаполовой (ООО «ЭКОНГинжиниринг») об использовании данных ДЗЗ для диагностики подводных переходов магистральных трубопроводов, Ю.И. Кантемирова (ООО «ВНИИГАЗ») о мониторинге деформаций зданий и сооружений в г. Новый Уренгой методом интерферометрии постоянных рассеивателей по данным с КА TerraSAR-X и др.

Пленарное заседание заключительного дня конференции (17 апреля) было посвящено опыту решения практических задач с использованием данных ДЗЗ, уникальным и перспективным технологиям. Наиболее интересны были доклады директора ФГУП «РНИИ КП» Г.М. Чернявского «Организационно-технологические аспекты мониторинга наркосодержащих растений из космоса», руководителя центра мониторинга пожарной опасности ФГУ «Авиалесоохрана» Р.В. Котельникова «Применение космических снимков высокого разрешения в ИСДМ-Рослесхоз», специалиста ООО «Геодинамика-М» О.И. Рыжовой «Использование данных ДЗЗ для целей аэронавигации и обеспечения полетов» и др.

В рамках конференции были проведены специализированные семинары, мастер-классы (рис. 4):

- Решения на основе глобальных покрытий космической съемкой;
- Возможности использования современных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для решения навигационных и диспетчерских задач;
- Новейшие ГИС-технологии от компании Bentley Systems: геопорталы, хранилища геоданных и прикладные;
- Технологии применения современных оптических и радиолокационных данных ДЗЗ для целей информационного обеспечения лесохозяйственной деятельности (семинар – практическая демонстрация);



Рис. 4. Проведение специализированных семинаров и мастер-классов

- Технологии применения современных данных ДЗЗ для целей обеспечения технологической и экологической безопасности при добыче и транспортировке нефти и газа (семинар – практическая демонстрация);

- Обработка радиолокационных данных в целях решения задач нефтяного и лесного хозяйства.

Семинары проводили ведущие специалисты компании «Совзонд» при участии представителей компаний-партнеров. Участники семинаров впервые получили возможность не только увидеть процесс обработки и интерпретации космических снимков с применением программного комплекса ENVI, но и могли сами принять участие в работе. Были проведены также занятия непосредственно на местности для проверки полученных результатов.

Одним из перспективных и востребованных направлений использования данных ДЗЗ является предлагаемое компанией «Совзонд» создание ситуационных центров космического мониторинга, внедрение которых многократно увеличивает эффективность управленческой деятельности. На конференции был развернут демонстрационный ситуационный центр, который был оборудован компаниями ООО «Салайта» STS Group (техническое обеспечение) и «Совзонд» (информационно-аналитическое обеспечение).

Участники конференции могли непосредственно ознакомиться с принципами работы ситуационного центра и наглядно убедиться в высокой эффективности использования данных ДЗЗ, особенно представленных в тематических геопорталах. Для демонстрации работы ситуационного центра были оборудованы два зала, один из которых имитировал центр принятия решений, другой – удаленный филиал. Между залами была установлена видеосвязь и участники условных заседаний могли передавать отчеты, вести совместные дискуссии, обсуждать предлагаемые решения. В качестве одного из средств визуализации пространственных данных использовался программно-аппаратный комплекс TouchTable (рис. 5).

Помимо официальной части конференция включала разнообразную и насыщенную развлекательную программу. 16 апреля состоялся вечерний прием с банкетом для участников конференции. Понравилась гостям шоу-программа в исполнении музыкальной группы «Несчастный случай» и ее лидера Алексея Кортнева (рис. 6). По итогам проведенных конкурсов наиболее активным



Рис. 5.
Демонстрационный ситуационный центр космического мониторинга



Рис. 6.
Развлекательная программа с участием гостей конференции

участникам вечера компаниями «Совзонд», DigitalGlobe, GeoEye, RapidEye были вручены сертификаты на снимки со спутников WorldView-1 или QuickBird, GeoEye-1, RapidEye, а также другие памятные призы.

На конференции работала съемочная группа телеканала «ТВ Центр». Подробный репортаж о конференции был представлен в вечернем выпуске программы «События» 17 апреля.

Подводя итоги, участники конференции отметили высокий уровень ее организации и тот факт, что Международная конференция «Космическая съемка – на пике высоких технологий» становится все более популярной в геоинформационном сообществе.

Следующая, IV Международная конференция «Космическая съемка – на пике высоких технологий» состоится 14-16 апреля 2010 г.



7-й Международный промышленный форум

GEOFORM+

30 марта – 2 апреля 2010

Россия, Москва, КВЦ «Сокольники»

- Геодезия
- Картография
- Навигация
- Землеустройство

ОБЪЕДИНЯЕТ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ



Геодезия
Картография
Геоинформационные системы



Интеллектуальные
транспортные системы
и навигация



Технологии и оборудование
для инженерной геологии
и геофизики



Технологии
и оборудование
для строительства тоннелей

на правах рекламы

Последние новости и информация для специалистов на сайте:
www.geoexpo.ru



Организатор:
ЗАО «Международная
Выставочная Компания»



Соорганизаторы:
Федеральная служба государственной
регистрации, кадастра и картографии (Росреестр)
Ассоциация Транспортной Телематики
Ассоциация «Глонасс»

**Генеральный
информационный
спонсор:**



**Генеральный
Интернет-партнёр:**



Дирекция:

А 107113, Россия, г. Москва,
Сокольнический вал, 1,
павильон 4

Т F (495) 925-34-97

oda@mvk.ru

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА ЗАО «МVK»:

МVK СЕВЕРО-ЗАПАД: +7 (812) 319-36-83, 332-14-89, МVK УРАЛ: +7 (343) 371-24-76, МVK ВОЛГА: +7 (843) 291-75-89, МVK ЮГ: +7 (863) 203-72-78

Всемирная орбитальная группировка космических аппаратов ДЗЗ

(по данным на 01.09.2009 г.)

Космические аппараты (КА) с оптико-электронными системами ДЗЗ с разрешением 56 м и лучше

Страна	Наименование КА	Другое наименование КА	Дата запуска	Разрешение в панхроматическом режиме, м	Разрешение в мультиспектральном режиме, м	Ширина полосы съемки, км	Оператор
Алжир	Alsat-1*		28.11.2002	-	32	600	ASAL
Великобритания	TopSat**	TacSat-0, TopSat-1	27.10.2005	2,5	5	10, 15	BNSC
Великобритания	UK-DMC*	UK-DMC-1, BNSCSat-1, DMC-UK	27.09.2003	-	32	600	BNSC
Великобритания	UK-DMC-2*	DMC-UK-2	29.07.2009	-	22	660	BNSC
Германия	RapidEye-1	Tachys	29.08.2008	-	6,5	78	RapidEye AG
Германия	RapidEye-2	Mati	29.08.2008	-	6,5	78	RapidEye AG
Германия	RapidEye-3	Choma	29.08.2008	-	6,5	78	RapidEye AG
Германия	RapidEye-4	Choros	29.08.2008	-	6,5	78	RapidEye AG
Германия	RapidEye-5	Trochia	29.08.2008	-	6,5	78	RapidEye AG
ЕКА	Proba		22.10.2001	-	18 Hyp	14	EKA (ESA)
Израиль	EROS-A	EROS-A1	05.12.2000	1,8	-	14	ImageSat International
Израиль	EROS-B	EROS-B1	25.04.2006	0,7	-	7	ImageSat International
Индия	CARTOSAT-1	IRS-P5	04.05.2005	2,5	-	30	ISRO
Индия	CARTOSAT-2		10.01.2007	1	-	9,6	ISRO

Индия	CARTOSAT-2A		28.04.2008	1	-	н/д	ISRO
Индия	IMS-1	TWSAT	28.04.2008	-	35	140	ISRO
Индия	IRS-1D		29.09.1997	5,8	23,70	70, 142	ISRO
Индия	RESOURCESAT-1	IRS-P6	17.10.2003	5,8	6, 24, 70	23, 140, 740	ISRO
Испания	DEIMOS-1*	Spain-DMC-1	29.07.2009	-	22	660	DEIMOS Imaging
Китай	Beijing-1*	China-DMC+4, BeijinGalaxy-1	27.10.2005	4	32	600	BLMIT
Китай	HJ-1A		06.09.2008	-	30, 100 Hyp	720, 50	CAST
Китай	HJ-1B		07.09.2008	-	30, 150, 300	720	CAST
Китай/Бразилия	CBERS-2	ZY-1B	21.10.2003	20	20	113	CAST, NIPE
Китай/Бразилия	CBERS-2B	ZY-1B2	19.09.2007	20	20	113	CAST, NIPE
Корея	KOMPSAT-1	Arirang-1	20.12.1999	6,6	-	17	KARI
Корея	KOMPSAT-2	Arirang-2	28.07.2006	1	4	15	KARI
Малайзия	RazakSAT	быв. MACSAT	14.07.2009	2,5	5	н/д	ATSB
Нигерия	NigeriaSat-1*		27.09.2003	-	32	600	NASRDA
ОАЭ	DubaiSat-1		29.07.2009	н/д	н/д	н/д	EIAST
Россия	Монитор-Э	Монитор-Э1	26.08.2005	8	20	94, 160	НЦ ОмЗ
Россия	Ресурс-ДК1	Ресурс-ДК	15.06.2006	1	2-3	5-28	НЦ ОмЗ
США	EO-1		21.11.2000	10	30	7,7	NASA
США	GeoEye-1	бывший OrbView-5	06.09.2008	0,4	1,6	15	GeoEye
США	IKONOS	IKONOS-1	24.09.1999	1	4	11	GeoEye
США	Landsat-5	Landsat-D'	01.03.1984	-	30	185	NASA, NOAA
США	Landsat-7		15.04.1999	15	30	185	NASA, NOAA, USGS
США	OrbView-3***		26.06.2003	1	4	8	GeoEye
США	QuickBird	QuickBird-2, QB, QB-2	18.10.2001	0,6	2,4	16	DigitalGlobe
США	WorldView-1		18.09.2007	0,5	-	18	DigitalGlobe
США/Япония	Terra	EOS-AM-1	15.12.1999	-	15, 30, 90	60	NASA, METI
Таиланд	THEOS		01.10.2008	2	15	22, 90	GISTDA
Тайвань	FORMOSAT-2	быв. ROCSAT-2	20.05.2004	2	8	24	NSPO, SpotImage
Турция	BILSAT-1*	BiltenSat, Tubitak-1, DMC-Turkey	27.09.2003	12	26	24, 52	BILTEN

Франция	SPOT-2		22.01.1990	10	20	60	SpotImage
Франция	SPOT-4		24.03.1998	10	20	60	SpotImage
Франция	SPOT-5		04.05.2002	2,5	10	60	SpotImage
Япония	ALOS	Daichi	24.01.2006	2,5	10	35, 70	JAXA
Планируемые к запуску							
Алжир	Alsat-2A		2009	2,5	10	н/д	ASAL
Алжир	Alsat-2B		2009	2,5	10	н/д	ASAL
Германия	EnMAP		2012	-	30 Hyp	30	DLR, GFZ
ЕКА	Sentinel-2****	Sentinel-2A	2012	-	10, 20, 60	285	EKA (ESA)
ЕКА	Sentinel-3*****	Sentinel-2B	2013	-	10, 20, 60	285	EKA (ESA)
Израиль	EROS-C		2009	0,7	2,8	11	ImageSat International
Израиль/ Франция	VENμS	Venus	2011	-	10	27,5	ISA, CNES
Индия	RESOURCESAT-2		2009	6	6, 23, 56	24, 140, 740	ISRO
Испания	SEOSAT-INGENIO	SEOSAT	2010	2,5	-	н/д	Thales Alenia Space España
Китай/Бразилия	CBERS-3	ZY-1C	2009	5	20	60, 120	CAST, NIPE
Китай/Бразилия	CBERS-4	ZY-1D	2011	5	20	60, 120	CAST, NIPE
Корея	KOMPSAT-3	Arirang-3	2011	0,7	3,2	н/д	KARI
Нигерия	NigeriaSat-2*		2009	2,5	5, 32	320	NASRDA
Сингапур	X-Sat		2009	-	10	50	CREST
США	LDCM	Landsat-8	2011	10	30	177	NASA
США	WorldView-2		2009	0,5	1,8	16	DigitalGlobe
Тайвань	Argo	RapidEye-6	2009	-	6,5	78	NSPO, RapidEye
Франция	PLEIADES-HR1		2010	0,7	2,8	20	CNES
Франция	PLEIADES-HR2		2011	0,7	2,8	20	CNES
ЮАР	Sumbandila	SumbandilaSat, ZA-002, ZASAT-002	2009	-	7,5	н/д	University of Stellenbosch, SunSpace

Примечания:

* В составе группировки DMC, разработчик SSTL.

** Разработчик SSTL. Создан в рамках государственной программы Microsatellite Applications in Collaboration programme.

*** В настоящее время доступны только архивные снимки (спутник вышел из строя 04.03.2007 г.).

**** Предназначен для обеспечения программы Global Monitoring for Environment and Security.

***** Океанографический спутник (предназначен для обеспечения программы Global Monitoring for Environment and Security).

Космические аппараты с радиолокационными системами ДЗЗ

Страна	Наименование КА	Другое наименование КА	Дата запуска	Максимальное разрешение, м	Спектральный диапазон	Оператор
Германия	TerraSAR-X	TSX-1	15.07.2007	1	X	DLR, foterra
ЕКА	Envisat	Envisat-1	01.03.2002	30	C	ЕКА (ESA)
ЕКА	ERS-2		21.04.1995	30	C	ЕКА (ESA)
Италия	COSMO-SkyMed-1		08.06.2007	1	X	ASI
Италия	COSMO-SkyMed-2		08.12.2007	1	X	ASI
Италия	COSMO-SkyMed-3		24.10.2008	1	X	ASI
Канада	RADARSAT-1		04.11.1995	8	C	CSA
Канада	RADARSAT-2		14.09.2007	3	X	CSA
Китай	YaoGan WeiXing 1	JB-5-01	27.04.2006	5	L	SAST
Китай	YaoGan WeiXing 3	JB-5-02	12.11.2007	5	L	SAST
Япония	ALOS	Daichi	24.01.2006	7	L	JAXA
Планируемые к запуску						
Аргентина	SAOCOM-1A		2009	10	L	CNIE
Аргентина	SAOCOM-1B		2009	10	L	CNIE
Германия	TanDEM-X		2009	1	X	DLR, Infoterra
Германия	TerraSAR-L		2009	1	L	DLR, Infoterra
ЕКА	Sentinel-1 *		2011	5	C	ЕКА (ESA)
Индия	RISAT	RISAT-1	2009	3	C	ISRO
Испания	SEOSAR		2011	н/д	н/д	н/д
Италия	COSMO-SkyMed-4		2010	1	X	ASI
Канада	RADARSAT Constellation-1		2011	н/д	C	CSA
Канада	RADARSAT Constellation-2		2012	н/д	C	CSA
Канада	RADARSAT Constellation-3		2013	н/д	C	CSA
Китай	HJ-1C		2009	н/д	S	CAST
Корея	KOMPSAT-5	Airang-5	2010	3	X	KARI

Примечания:

* Предназначен для обеспечения программы Global Monitoring for Environment and Security.

Сокращенные наименования космических аппаратов ДЗЗ, их разработчиков и операторов

ALOS	Advanced Land Observation Satellite (Япония)	ISRO	Indian Space Research Organization (Индия)
ASAL	Agence Spatiale Algérienne (Алжир)	JAXA	Japan Aerospace eXploration Agency (Япония)
ASI	Agenzia Spaziale Italiana (Италия)	JB	Jian Bing (военное название спутника), Китай
ATSB	Astronautic Technology Sdn. Bhd. (Малайзия)	KARI	Korea Aerospace Research Institute (Корея)
BILTEN	Technologies and Electronics Research Institute (принадлежит TUBITAK, Турция)	KOMPATSAT	Korean Multi-purpose Satellite (Корея)
BLMIT	Beijing Landview Mapping Information Technology Ltd (Китай)	LDCM	Landsat Data Continuity Mission (США)
BNSC	British National Space Centre (Великобритания)	MACSAT	Medium-sized Aperture Camera Satellite; переименован в честь бывшего премьер-министра Малайзии Tun Abdul Razak
CASC	China Academy of Space Technology (Китай)	METI	Ministry of Economy, Trade and Industry (Япония)
CBERS	China Brazil Earth Resources Satellite (Китай, Бразилия)	NASA	National Aeronautics and Space Administration (США)
CNES	Centre National d'Études Spatiales (Франция)	NASRDA	National Space Research and Development Agency (Нигерия)
CNIE	Comision Nacional de Investigaciones Espaciales (Аргентина)	NIPE	National Institute for Space Research (Бразилия)
COSMO	Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin observation (Италия)	NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (США)
CREST	Centre for Research in Satellite Technologies (Сингапур)	NSPO	Taiwanese National Space Program Office (Тайвань)
CSA	Canadian Space Agency (Канада)	Proba	Project for On-Board Autonomy (Европейское космическое агентство)
DLR	German Aerospace Centre (Германия)	RISAT	Radar Imaging Satellite (Индия)
DMC	Disaster Monitoring Constellation	ROCSAT	Republic of China Satellite
EIAST	United Arab Emirates Institution for Advanced Science and Technology (ОАЭ)	SAOCOM	SAR Observation & Communications Satellite (Аргентина)
EnMAP	Environmental Mapping and Analysis Programme (Германия)	SAST	Shanghai Academy of Spaceflight Technology (Китай)
Envisat	Environment Satellite (Европейское космическое агентство)	SEO	Spanish Earth Observation (Испания)
EO	Earth Observing (США)	SEOSAT	Spanish Earth Observation Satellite (Испания)
EOS	Earth Observing System (США, Япония)	SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre (Франция)
EROS	Earth Resources Observation Systems (Израиль)	SSTL	Surrey Satellite Technology Limited (Великобритания)
ERS	European Remote Sensing Satellite	THEOS	Thai Earth Observation System (Таиланд)
ESA	European Space Agency (Европейское космическое агентство)	TopSat	Tactical Optical Satellite (Великобритания)
GFZ	GeoForschungsZentrum (Германия)	TUBITAK	Turkish Scientific and Technical Research Council (Турция)
GISTDA	Thai Ministry of Science and Technology's Space Agency (Таиланд)	TWSAT	Third World Satellite (Индия)
HJ	Huan Jing (Китай)	USGS	United States Geological Survey (США)
IMS	Indian Mini Satellite (Индия)	VENμS	Vegetation and Environment Monitoring New Micro-Satellite (Израиль, Франция)
IRS	Indian Remote Sensing (Индия)	EKA	Европейское космическое агентство
ISA	Israel Space Agency (Израиль)	НЦ ОМЗ	Научный центр оперативного мониторинга Земли (Россия)