

К. Навулор (K. Navulur; DigitalGlobe, США)

Директор департамента разработки новых продуктов компании DigitalGlobe.

Ф. Пацифици (F. Pacifici; DigitalGlobe, США)

Научный сотрудник департамента исследований и развития компании DigitalGlobe.

Б. Бо (B. Baugh; DigitalGlobe, США)

Разработчик современных геопрограммных продуктов департамента исследований и развития компании DigitalGlobe.

Тенденции развития коммерческого сектора оптической космической съемки

За последнее десятилетие был сделан значительный прогресс в разработке и запуске спутников дистанционного зондирования Земли для съемки как в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, так и в микроволновом. Доступ к коммерческим оптическим снимкам сверхвысокого разрешения стал возможен еще 10 лет назад, с вводом эксплуатацию спутников IKONOS и QuickBird, что привело к повышению интереса к космическим снимкам для целей картографии и навигации. С тех пор можно наблюдать тенденцию увеличения спроса, как на данные со спутников IKONOS и QuickBird, так и на снимки, полученные с нового поколения космических аппаратов, таких как WorldView-1, WorldView-2, GeoEye-1, а в последнее время Pleiades-1A и Pleiades-1B. В настоящее время потенциал съемки сверхвысокого разрешения составляет более 1,8 млрд кв. км в год, что в 12 раз превышает площадь поверхности суши Земли. В ближайшем эта цифра может увеличиться до 2,4 млрд кв. км в год (в 16 раз больше площади поверхности суши Земли).

Несмотря на огромные объемы полученных данных, коммерческие провайдеры уверены, что сами по себе снимки не смогут удовлетворить всех потребностей заказчиков. Пользователи, работающие в различных областях, нуждаются

ся в точной, целенаправленной, надежной, недорогой, своевременной информации и информационных сервисах, которые предоставляются в формах и форматах, соответствующих определенной сфере деятельности.

Коммерческая отрасль ДЗЗ находится на пороге информационной революции, ввиду того, что появляются новые спутники, которые способны делать все более высококачественные снимки сверхвысокого разрешения и предоставлять доступ к ним и производной информации намного быстрее. Эти тенденции стали возможны благодаря технологическим усовершенствованиям, которые способствовали увеличению скорости обработки, облачным вычислениям, механизмам доставки и появлению новых методов извлечения информации. В совокупности данные факторы делают снимки и полученную информацию более доступными и экономически выгодными.

Как показано на рис. 1, в эволюции геоинформационной отрасли можно выделить четыре этапа, каждый из которых характеризуется своим собственным путем развития. Это — *разрешение, точность геопозиционирования и точность съемки, скорость и аналитика*.

Разрешение космических снимков улучшалось для того, чтобы соответствовать базовым геоин-

Перевод с английского языка и подготовка к публикации Б.А. Дворкина (Компания «Совзонд»)

формационным задачам, стремясь достичь наивысшей детальности изображения. В течение многих лет отрасль продвигалась от стандартного метрового разрешения, пока не была преодолена отметка в полметра. **Точность геопозиционирования и точность съемки** стала приоритетной, как для правительственных структур, так и для коммерческих компаний, занятых составлением карт и планов для городского планирования, развития инфраструктуры и созданием автомобильных навигационных систем. Увеличение **скорости** стало одним из основных требований пользователей, которым жизненно необходимым был быстрый доступ к данным, используемым для реагирования на чрезвычайные ситуации, их мониторинга и оценки риска и мониторинга. Благодаря достижениям достигнутым на первых этапах, геоинформационная отрасль вступила в четвертый **«аналитический»** этап. Стало возможным решать такие задачи, как мониторинг объектов, анализ изменений и оперативный мониторинг «горячих точек» по всему миру, таких как районы стихийных бедствий, социальных волнений или антропогенных катастроф.

РАЗРЕШЕНИЕ

Проектирование и запуск более совершенных съемочных систем привело к значительному улучшению пространственного, спектрального и временного разрешения. Сенсоры с пространственным разрешением от метра и лучше позволяют выявлять достаточно небольшие объекты, такие как фрагменты жилых домов, промышленных зданий, элементы транспортных и инженерных систем. Мультиспектральные сенсоры предоставляют дополнительные возможности для различения похожих объектов. Временной компонент, сочетающий в себе спектральные и пространственные параметры, может предоставить существенно важную информацию, например, показать динамику роста сельскохозяйственных культур. И наконец, спутники нового поколения имеют высокоэффективные системы управления камерой. Они способны к быстрому перенацеливанию, могут делать десятки снимков одного и того же объекта под различными углами съемки.

Пространственное разрешение — величина, характеризующая размер наименьших объектов,

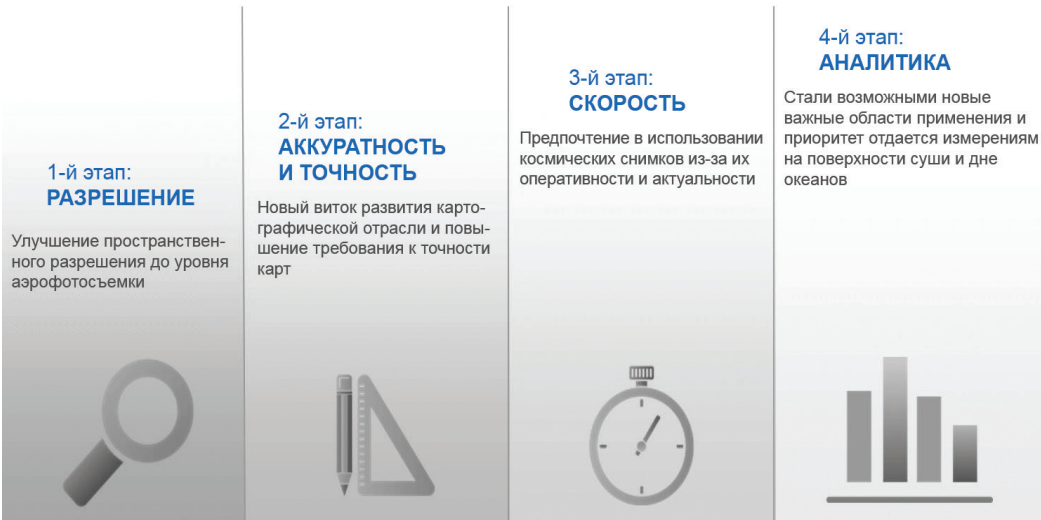


Рис. 1. Четыре этапа эволюции геоинформационной отрасли

различимых на изображении. В конце 1990-х гг. мы стали свидетелями запуска первого спутника субметрового разрешения IKONOS. Отчетливой тенденцией ближайших лет просматривается появление спутников с более высоким разрешением. В настоящее время DigitalGlobe работает над созданием коммерческого спутника с пространственным разрешением до 0,41 см. В ближайшие годы, несколько коммерческих операторов планируют запуск спутников с разрешением 1 м или лучше. Например, планируется, что индийский спутник Cartosat-3 будет выполнять съемку с разрешением до 25 см. На рис. 2 дано сравнение снимков с разрешением 1 м, 50 см и 30 см. Например, автомобили могут быть обнаружены с некоторой степенью неопределенности (в зависимости от их размера) на снимках с разрешением 1 м, в то время как при разрешении 50 см можно различить их стекла. Боковые зеркала, марку автомобиля можно рассмотреть только при разрешении 30 см. Стоит также отметить, что желтые линии на стоянке становятся четкими при разрешении 30 см, в то время как они едва видны при разрешении 1 м.

Спектральное разрешение связано с количеством спектральных каналов, в которых ведется съемка. Каждый из спектральных каналов предназначен для конкретных приложений и может располагаться в видимом, ближнем инфракрасном (NIR), коротковолновом инфракрасном (SWIR) или тепловом диапазонах. Коммерческие спутни-



Рис. 2. Увеличение пространственного разрешения на оптических космических снимках

ки первоначально имели четыре канала в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах (VNIR). Спутник компании DigitalGlobe WorldView-2 имеет восемь спектральных каналов в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

Дополнительные каналы имеют гораздо меньшую ширину (от 40 до 50 нм) по сравнению с 100 нм или более широкими полосами в типичных сенсорах VNIR. На рис. 3 наглядно продемонстрированы «проходы» спутника WorldView-2 над прибрежной акваторией в восьми каналах от самых длинных до самых коротких. Верхний левый снимок представлен в естественных цветах. Как можно заметить, различные элементы местности видны при различных комбинациях каналов. Например, волны и морская растительность видны на при синтезе комбинации ближних инфракрасных каналов, в то время как структурные особенности могут просматриваться при использовании более коротковолновых видимых каналов, таких как фиолетовый (coastal) и голубой.

Радиометрическое разрешение определяется чувствительностью сенсора к изменениям интенсивности электромагнитного излучения. Оно определяется количеством градаций значений цвета, соответствующих переходу от яркости абсолютно «черного» к абсолютно «белому», и выражается в количестве бит на пиксель изображения. Радиометрические характеристики значительно улучшились в последние годы от 8 до 11, и, в конечном счете,

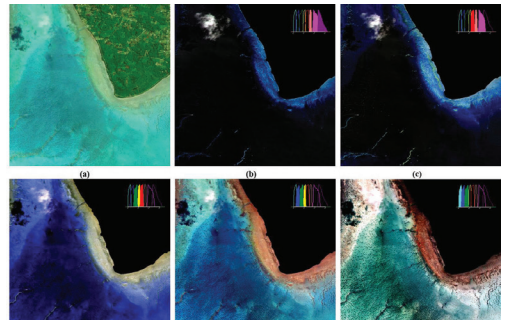


Рис. 3. Снимки со спутника WorldView-2 в различных спектральных каналах

до 14 бит на пиксель. Это определяет повышение качество изображения, а также улучшает возможность извлечения информации из снимков, в т.ч. и в автоматическом режиме.

Временное разрешение определяется периодичностью, с которой может быть осуществлена повторная съемка одного и того же участка района спутником (или группировкой спутников). С усовершенствованием технического оборудования, такого, например, как гироскоп, сегодняшние спутники способны производить съемку с все большим отклонением от надира, что привело к колоссальному росту производительности и возможности быстро проводить съемку необходимых объектов. Более высокому временному разрешению способствует также появление технологий, которые позволяют снимать в обоих направлениях. На рис. 4 показаны возможности всех пяти спутников DigitalGlobe.

Группировка спутников DigitalGlobe способна производить съемку любой точки земного шара и получать снимки ежедневно на площадь более 3 млн кв. км. Архив компании имеет полное покрытие большинства стран и городов мира, включая свежие снимки (не ранее трехмесячной давности).

Угловое разрешение определяется способностью сенсоров спутника производить съемку с отклонением от надира, а также стереосъемку. Спутники способны снимать со значительным отклонением от надира и полученные снимки могут быть использованы для измерения высоты объектов, таких как здания или нефтяные резервуары. Многоуровневые снимки определенной территории, полученные за один или несколько проходов, могут использоваться для создания точных 3D-моделей городов и цифровых моделей рельефа (ЦМР). Рис. 5 демонстрирует процесс автоматического создания реалистичной 3D-модели, начиная с планирования съемки (рис. 5а) до получения цифровой модели местности (ЦММ) с разрешением 2 м и ЦМР (рис. 5б) и, в конечном счете, законченной модели города (рис. 5с).

ТОЧНОСТЬ ГЕОПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И ТОЧНОСТЬ СЪЕМКИ

Поскольку системы определения местоположения становятся неотъемлемой частью нашей жизни, высокая точность геопозиционирования и точность съемки — это два аспекта, необходимые для использования

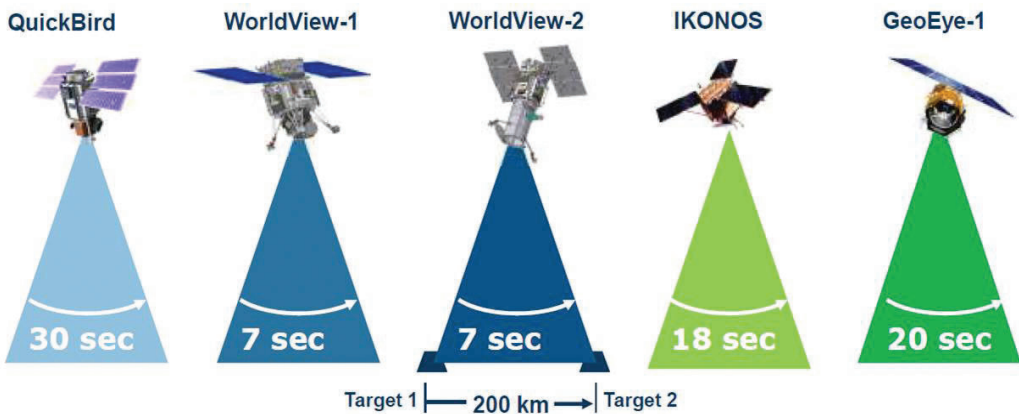


Рис. 4. Временное разрешение спутников DigitalGlobe

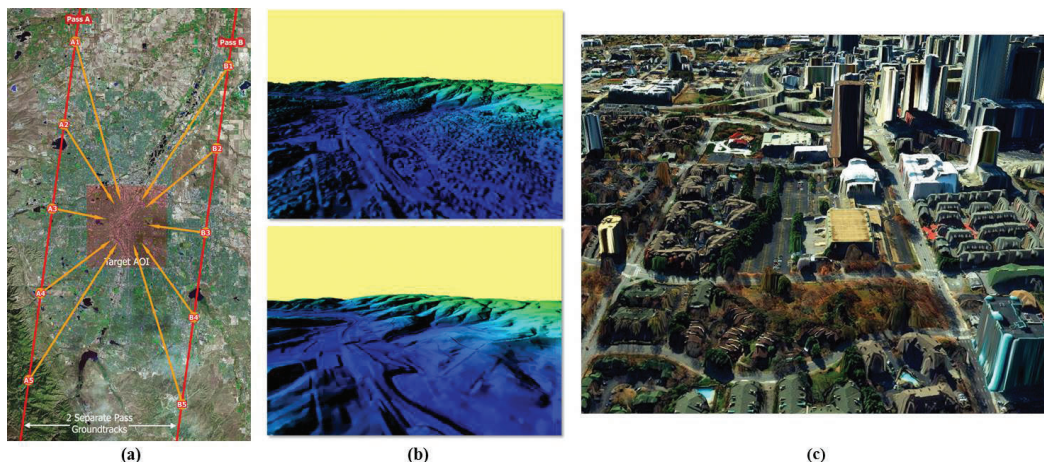


Рис. 5. 3D-модель города, созданная по результатам многогоразовой съемки

снимков в этой сфере. Точность геопозиционирования снимков постоянно улучшается — от средних ошибок в 23 м в начале 2000-х гг. до 3 м на сегодняшний день. Улучшение точности стало возможным, в первую очередь, благодаря более стабильным орбитам и появлению инновационных методов последующей обработки снимков, снижающих погрешности. На данный момент существуют технологии, которые позволяют совмещать снимки с векторной информацией с высокой степенью точности. Это, так называемые, «Ortho второго поколения», когда новый снимок совмещается с базовой картой, и, в свою очередь, используется для обновления геопространственных данных, отображенных на этой карте. В ближайшие годы точность должна увеличиваться по мере улучшения спектрального разрешения. С другой стороны важной составляющей является точность съемки объектов, проводимой в разное время. Это важный аспект, который учитывается при создании и поддержании геопространственных баз данных многолетних съемок. Рис. 6 иллюстрирует понятия точности геопозиционирования и точности съемки. Как видно, новые спутники, такие как WorldView-1 и

WorldView-2, имеют среднюю точность геопозиционирования 4 м, что можно сравнить с точностью, получаемой при аэрофотосъемки.

СКОРОСТЬ

Когда случаются события, такие как стихийные бедствия, снимки должны быть доступны пользователям в течение нескольких часов после заказа. Компания DigitalGlobe создала сеть наземных приемных комплексов по всему миру, благодаря чему, снимки передаются, обрабатываются и поставляются пользователям в течение нескольких минут.

Скорость также можно определить как количество времени требуемое для картографирования больших территорий. Используя традиционные методы картографирования, картографы, обычно затрачивают на создание достоверной карты от четырех до пяти лет. Но эти сроки совершенно не приемлемы в современную эпоху развития геоинформационных систем. Отрасль ДЗЗ стала использовать высокопроизводительные суперкомпьютеры и облачные вычисления с целью ускорить решение данных задач. На рис. 7 показаны покры-

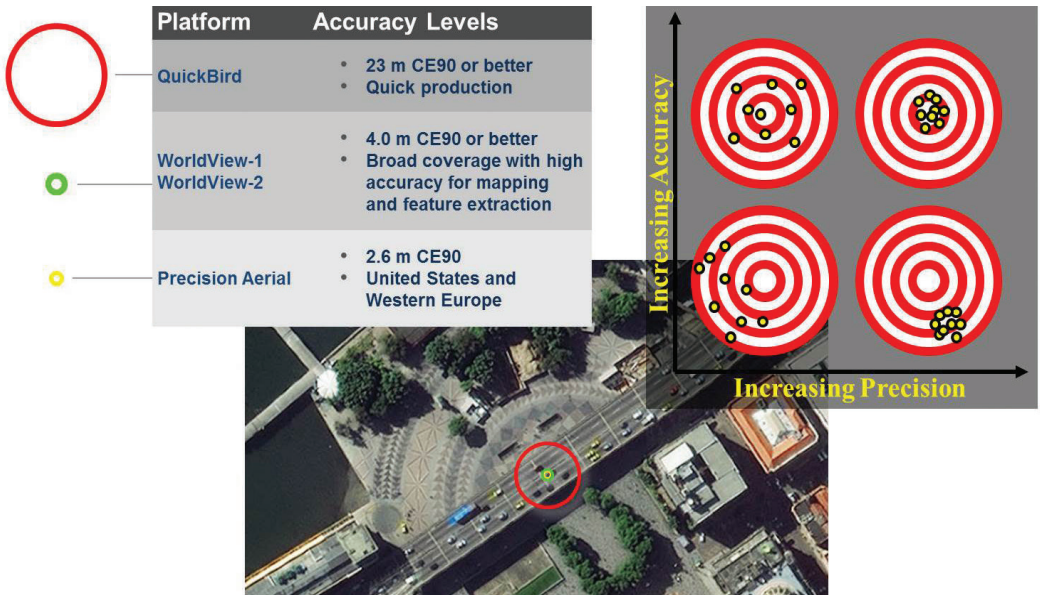


Рис. 6. Увеличение точности геопозиционирования космических снимков



Рис. 7. Безоблачные снимки территории Мексики, полученные в течение трех лет и соответствующая ортофотомозаика Северной Мексики с разрешением 50 см

тие безоблачными снимками территории Мексики, полученными в течение трех лет и соответствующая ортофотомозаика Северной Мексики, с разрешением 50 см, созданная компанией DigitalGlobe менее чем за три дня.

АНАЛИТИКА

На сегодняшний день архив компании DigitalGlobe содержит снимки общей площадью более 4,5 млрд кв. км. В связи с тем, что возрастают темпы картографирования Земли и потребности мониторинга объектов и явлений в глобальном масштабе, растет также необходимость в информации для целей «быстрого реагирования» и принятия решений. Это требует от геоинформационной отрасли к переходу к таким методам, которые до этого не применялись. Приведем пример: компания DigitalGlobe использует комбинацию автоматизированных технологий с применением аналитических методов для создания производных продуктов на большие территории. Информационные слои, созданные с помощью таких методов, имеют высокое спектральное, пространственное, и угловое разрешение, что позволяет создавать законченные производные информационные продукты, способные удовлетворить потребности заказчиков во многих областях.

С внедрением методов краудсорсинга в геоинформационной отрасли практически любой

человек может помочь дополнить информацию. Приведем пример: торнадо обрушившееся на Оклахому в мае 2013 г., поставило задачу перед группировкой спутников DigitalGlobe быстро провести съемки данной территории. После проведения съемки, компания DigitalGlobe запустила свою недавно разработанную программу Tomnod Crowdsourcing System (TCS), чтобы упростить извлечение информации из снимков. Участники программы были способны быстро локализовать пострадавшие районы с целью оказания помощи и поддержки. Программу TCS является самым эффективным в чрезвычайных ситуациях, когда необходимо немедленное реагирование для быстрого принятия решений. Для оказания поддержки программе TCS в Оклахоме, были размещены объявления в Facebook и Twitter, а также на форуме CrisisMappers (международное междисциплинарное сообщество, использующее новые технологии для предупреждения и реагирования на возникающие гуманитарные чрезвычайные ситуации). Пользователи получили краткое руководство, их попросили просмотреть снимки и определить разрушенные здания, снесенные крыши и упавшие деревья. В течение 60 минут участниками программы было определено более 15 000 пострадавших объектов, и «краудсорсинговая» карта разрушений немедленно была опубликована в сети Интернет. На карте (рис. 8)

Turning This Image...

DigitalGlobe



Рис. 8. Анализ ущерба, причиненного торнадо, проведенный в рамках программы TCS. Город Мур, штат Оклахома, США

виден основной маршрут торнадо в виде разрушенных зданий (оранжевый цвет), идентифицированных участниками программы TCS. Вблизи от основного маршрута, можно увидеть здания со снесенными сильным ветром крышами (выделены синим цветом).

WORLDVIEW-3

Последние тенденции в геоинформационной отрасли не могли, не оказать влияние на конструирование нового спутника компании DigitalGlobe. Спутник WorldView-3, запуск которого ожидается в 2014 г., будет первым коммерческим спутником высочайшего разрешения с уникальными спектральными характеристиками, имеющим на своем борту несколько приборов. Находясь на орбите высотой 617 км, он будет вести съемку с разрешением 31 см в панхроматическом, 1,24 м в мультиспектральном режиме (видимый и ближний инфракрасный диапазоны) и 3,7 м в коротковолновом инфракрасном режиме (680 000 кв. км ежедневно) со средним временем повторной съемки менее суток и точностью геопозиционирования 3,5 м CE90 (или лучше) без опорных точек.

Предполагается, что новый коротковолновый режим съемки (SWIR) окажет существенную помощь при комплексном моделировании и картографировании горных пород, грунтов и почв. Потенциальные области применения включают в себя: геологическое картирование, экологический контроль и мониторинг районов стихийных бедствий, разведку нефтяных месторождений, других полезных ископаемых и геотермальных ресурсов, а также оценка других невозобновляемых ресурсов.

Коротковолновый инфракрасный режим съемки (SWIR) определяется особенностями поглощения инфракрасного излучения водяным паром. Однако в атмосфере для этого излучения есть несколько зон относительно слабого поглощения. Это так называемые «окна пропускания» инфракрасного излуче-

ния. Есть три таких окна для которых в сенсоре WorldView-3 предусмотрены соответствующие каналы съемки. Первое окно включает в себя каналы с длиной волны около 1250 нм. Они полезны исследования особенностей поглощения железа. Индексы вегетации, которые чувствительны к содержанию влаги в листьях, такие например, как NDWI, также хорошо прослеживаются в каналах спектра 1250 нм. Второе окно коротковолнового инфракрасного диапазона находится в полосе 1500–1750 нм. Искусственные материалы и химические вещества, такие, например как пластмасса, стекловолокно, нефтепродукты, поглощают волны в этой части спектра. Здесь же также возможно отделить снег и лед от облаков. Третье «окно пропускания» находится в полосе 2000–2400 нм. Ключевым здесь является поглощение волн минеральными породами. С помощью сенсора с достаточным радиометрическим разрешением возможно выявление минералов и определение их химического состава.

Получение космических снимков как в видимом и ближнем инфракрасном (NIR), так и в коротковолновом инфракрасном диапазонах (SWIR) имеет свои уникальные преимущества, в том числе связанных с повышением «прозрачности» атмосферы и определением состава природных материалов. Из-за своих химических свойств, многие материалы и вещества имеют свои особенности отражения и поглощения волн спектра, что позволяет получать информацию о них из космоса. Это касается растительности, минералов, городских строений (а именно кровельных и строительных материалов и их способности переносить атмосферные воздействия), нефти (например, ее утечки) и множества других техногенных объектов. В коротковолновом инфракрасном диапазоне (SWIR) хорошо различаются снег и лед, а также можно отличить разные виды дыма, например, идентифицировать дым лесного пожара (рис. 9).

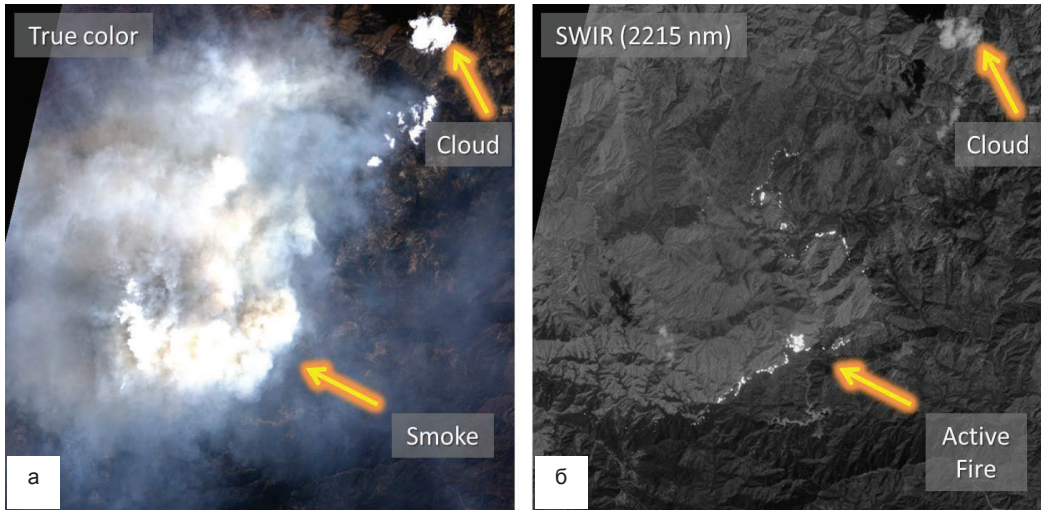


Рис. 9. Снимки лесного пожара недалеко от Лос-Анджелеса, штат Калифорния, 03.09.2009 г. В то время как дым почти прозрачный, в диапазоне SWIR облака водяного пара остаются непрозрачными
 а) композит в натуральных цветах (RGB)
 б) канал 2215 нм в диапазоне SWIR

В дополнение к сенсорам NIR и SWIR, обеспечивающих съемку в 17 каналах, спутник WorldView-3 оснащен также сенсором CAVIS (сокращенно от Cloud, Aerosol, Water Vapor, Ice, Snow — облачность, аэрозоли, водяной пар, лед, снег). Его главное назначение измерять характеристики составляющих атмосферы, необходимые для улучшения качества снимков путем внесения соответствующих поправок. Сенсор CAVIS обеспечивает съемку в дополнительных 12 каналах с разрешением 30 м в видимом и ближнем инфракрасном и коротковолновом инфракрасном диапазонах, причем два канала имеют стереоскопические характеристики, что позволяет получать 3D-изображения на каждом проходе. Спектральные диапазоны WorldView-3 проиллюстрированы на рис. 10.

Сенсор CAVIS несомненно улучшит возможности съемки, особенно в районах с повышенной влажностью. Качество изображения, которое не зависит от атмосферных условий, значительно повышает возможность анализа состояния земного покрова и обнаружения измене-

ний, упрощает сравнение разновременных и полученных с разных сенсоров снимков, и позволяет извлекать информацию, используя физические значения. Рис. 11 иллюстрирует влияние коррекции снимка с использованием данных сенсора CAVIS.

О КОМПАНИИ DIGITALGLOBE

Компания DigitalGlobe является ведущим поставщиком коммерческих космических снимков сверхвысокого разрешения и геоинформационных решений, которые помогают людям лучше понимать изменения, происходящие на нашей планете и принимать верные решения для улучшения жизни людей, сохранению ресурсов и времени. Компания является владельцем и оператором спутников ДЗЗ сверхвысокого разрешения IKONOS, QuickBird, GeoEye-1, WorldView-1, WorldView-2 перспективного WorldView-3 (рис. 12). Космические снимки, полученные с наших спутников на весь мир способны удовлетворить самые взы-

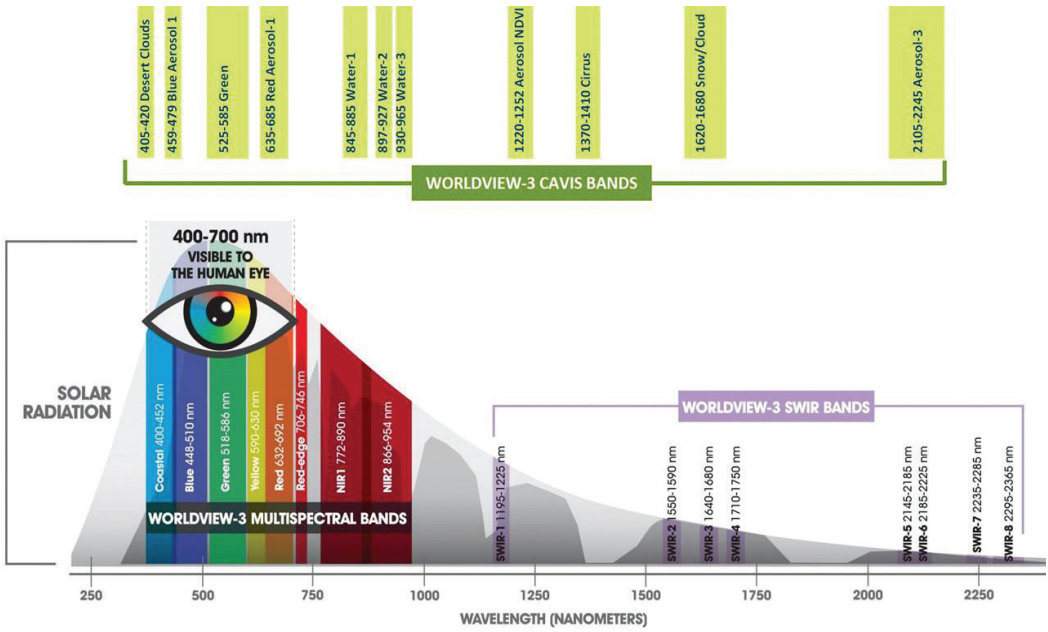


Рис. 10. Спектральные диапазоны спутника WorldView-3

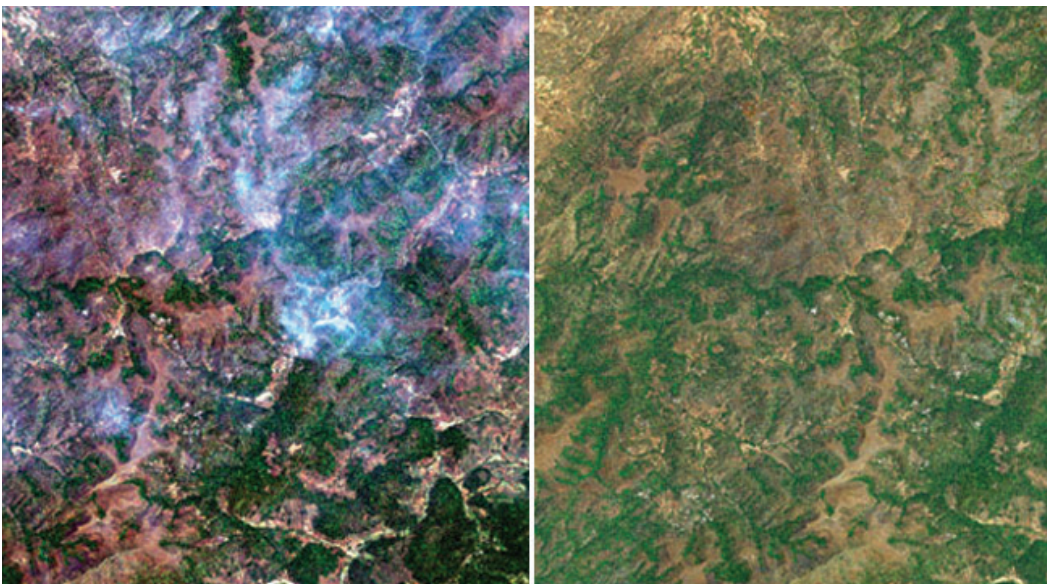


Рис. 11. Влияние коррекция изображения с использованием данных сенсора CAVIS



Рис. 12. Группировка спутников компании DigitalGlobe

скательные требования наших заказчиков. Ежедневно заказчики из военных и разведывательных структур, гражданских организаций и правительственных агентств, картографы и аналитики, экологи, нефтегазодобывающие компании, специалисты из сферы транспорта, поставщики навигационных устройств ждут данные и информацию от компании DigitalGlobe, надеются на ее технологии и опыт. В январе

2013 г., компания DigitalGlobe объединилась в единую компанию с GeoEye. Объединенная компания способна обеспечить повышенные требования заказчиков в космических снимках, получаемых общей группировкой спутников, и геоинформационных сервисах. Для получения дополнительной информации об объединении и его преимуществах можно узнать на сайте www.digitalglobe.com/combination