

**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 км<sup>2</sup>. Основные технические характеристики каждого спутника представлены в табл.1.



Рис. 3.  
Расположение спутников RapidEye на орбите

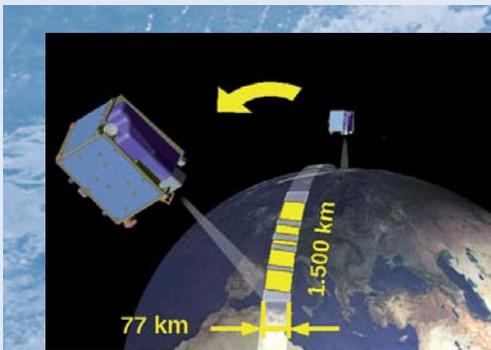


Рис. 4.  
Схема сеанса съемки спутником RapidEye

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.

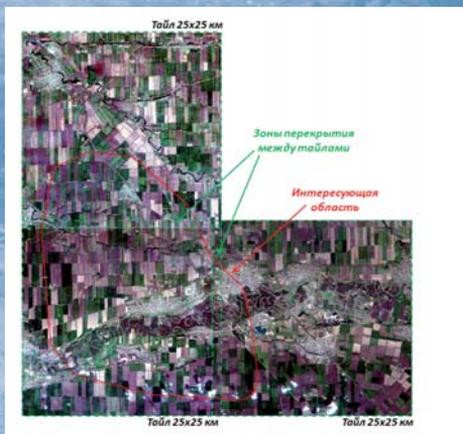


Рис. 5. Схема поставки снимков при уровне обработки Level 3A

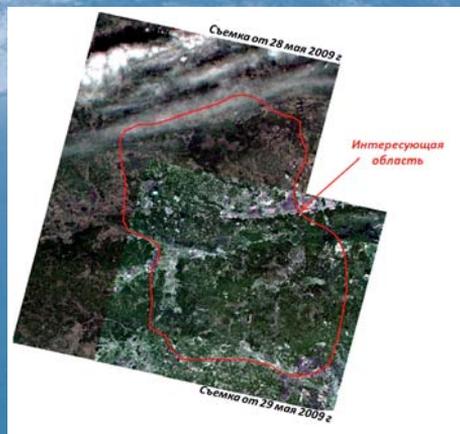


Рис. 6. Схема поставки снимков при уровне обработки Level 1B



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-

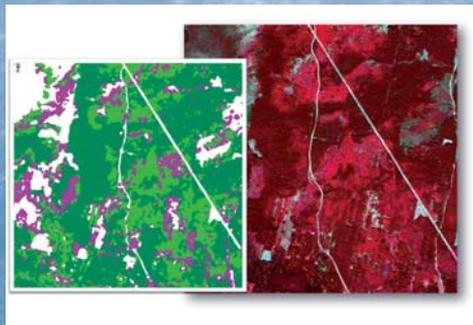


Рис. 9.  
Фрагмент снимка с RapidEye (синтезированное изображение: ближний инфракрасный — красный — зеленый; разрешение 5 м) и карта классификации леса по преобладающей породе, составленная на его основе

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 отснято 69 млн км<sup>2</sup> земной поверхности, причем 80% снимков — безоблачные. Общая площадь покрытия земной поверхности снимками составила больше 36 млн км<sup>2</sup>, 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.