

**Н. Бертони** (Nicola Bertoni, e-GEOS; Италия)

Окончил университет della Tuscia по специальности «градостроительство и геоинформационные системы». С 2006 г. работает в компании e-GEOS, в настоящее время — менеджер аналитической группы, отвечающий за картографические сервисы.

**Л. Чезарано** (Lucio Cesarano, e-GEOS; Италия)

Окончил Неаполитанский университет им. Фридриха II по специальности «аэрокосмические технологии». С 2009 г. работает в компании e-GEOS, направление «Инновационные продукты и техническая поддержка группировки радарных спутников COSMO-SkyMed».

**Д. Джуство** (Gianfranco Giusto, e-GEOS; Италия)

Окончил Университет Бари по специальности «исследование природы и экология». С 2009 г. работает в компании e-GEOS, в настоящее время — технический руководитель ряда проектов.

**Ф. Бритти** (Filippo Britti, e-GEOS; Италия)

Окончил Римский университет La Sapienza по специальности «ДЗЗ». С 2007 г. работает в компании e-GEOS, в настоящее время — технический руководитель ряда проектов направления «Инновационные продукты и техническая поддержка группировки радарных спутников COSMO-SkyMed».

**В. Джентиле** (Vittorio Gentile, e-GEOS; Италия)

Окончил Неаполитанский университет Parthenope по специальности «океанология». С 2009 г. работает в компании e-GEOS, направление «Инновационные продукты и техническая поддержка группировки радарных спутников COSMO-SkyMed». Имеет докторскую степень.

**Л. Пиетранера** (Luca Pietranera, e-GEOS; Италия)

Окончил Римский университет La Sapienza по специальности «астрофизика и экспериментальная космология». С 2007 г. работает в компании e-GEOS, в настоящее время — руководитель направления «Инновационные продукты и техническая поддержка группировки радарных спутников COSMO-SkyMed».

## Новый подход к мониторингу изменений, основанный на когерентном анализе разновременных радарных снимков сверхвысокого разрешения со спутников COSMO-SkyMed

### ВВЕДЕНИЕ

В рамках инициативы GMES одним из крупных совместных проектов является G-MOSAIC. Этот проект, финансируемый согласно Седьмой общей программе Комиссии Европейского союза (FP7/2007-2013), нацелен на разработку продуктов, услуг и методов в области геопространственной информации, облегчающих принятие решений в области политики международных отношений Европейского союза (ЕС),

а также помогающих определить и продемонстрировать осуществимость глобальных перспектив инициативы GMES в области обеспечения безопасности.

В частности, сервисы G-MOSAIC должны облегчить выполнение мероприятий по предотвращению и урегулированию региональных кризисных ситуаций (с соответствующим вмешательством ЕС), например мероприятий по поддержанию мира, обеспечению общественного порядка, предотвращению кризисных

ситуаций, спасению граждан ЕС. Авторам представляется, что сервисы G-MOSAIC могут быть не менее полезны и при возникновении аналогичных ситуаций, затрагивающих Российскую Федерацию, в связи с чем ниже приведем обзор этих сервисов, в первую очередь основанных на радарных данных ДЗЗ сверхвысокого разрешения.

Данные радарной группировки спутников COSMO-SkyMed являются основой следующих сервисов G-MOSAIC:

- «Контроль ядерного оружия, технологий и соблюдения соглашений», включая подразделы «Контроль участков вывода из эксплуатации ядерного оружия», предусматривающий проверку списания ядерных подводных лодок на выбранных участках согласно международным соглашениям, и «Непрерывный мониторинг ядерных объектов» с целью контроля ядерной активности государств—участников международных соглашений (в том числе проверки соблюдения Договора о нераспространении ядерного оружия (NPT) по декларациям NPT, представленным соответствующими странами). Радарные данные COSMO-SkyMed высокого и сверхвысокого разрешения, получаемые с периодичностью раз в месяц, используются для расчета карт обнаружения изменений, несущих в себе ценную информацию о ходе работ по сокращению ядерных материалов и демонтажу ядерных объектов в указанной зоне.
- «Особо важные объекты», предусматривающий контроль особо важных объектов и анализ происходящих событий, прежде всего на территориях размещения постоянной и временной военной инфраструктуры. Сервис базируется на существующих стандартных технологиях идентификации объектов и мониторинга изменений по радарным и радарно-оптическим данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе с использованием объектноориентированных подходов к мониторингу территорий.
- «Кризисное управление и мониторинг чрезвычайных ситуаций», обеспечивающий оперативное и регулярное получение обзорных и детальных геопространственных данных сразу после возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС) и в период ее развития, а также позволяющий оперативно оце-

нить ущерб от ЧС и спланировать действия экстренных служб в условиях ЧС.

Спутниковая радарная группировка COSMO-SkyMed обладает уникальными техническими характеристиками, включая сверхвысокое пространственное разрешение и беспрецедентную частоту съемок, что определило использование данных именно этой группировки в качестве базовой геопространственной основы для вышеуказанных сервисов.

Компания e-GEOS имеет богатый опыт в области обработки радарных данных ДЗЗ. Специалисты компании используют в своей работе программное обеспечение SARscape (Exelis VIS, США), а также специализированное программное обеспечение (ПО) собственной разработки, включая инструменты планирования съемок COSMO-SkyMed, ПО для расчета цифровых моделей рельефа и карт смещений земной поверхности, софт для совместной корегистрации радарных и оптических данных и т.д. Эти возможности и уникальный опыт e-GEOS предопределили выбор именно этой компании в качестве исполнителя перечисленных выше сервисов.

### ГРУППИРОВКА СПУТНИКОВ COSMO-SKYMED

COSMO-SkyMed (Constellation of small Satellites for Mediterranean basin Observation — группировка малых спутников для наблюдения за Средиземноморским бассейном) является крупнейшим вкладом Италии в разработку космических систем ДЗЗ. Этот проект, реализуемый и финансируемый Итальянским космическим агентством (ASI) и Министерством обороны Италии (MoD), был изначально задуман как комплексная система ДЗЗ двойного (гражданского и оборонного) назначения, нацеленная на создание глобальной службы, предоставляющей данные, продукты и услуги, соответствующие признанным международным стандартам и имеющие широкий диапазон применения в таких областях, как, например, управление рисками, научные и коммерческие проекты, оборона и разведка.

Система спроектирована таким образом, чтобы обеспечить совместимость с другими (действующими и планируемыми к запуску) системами ДЗЗ, а также с учетом дальнейшего расширения самой группировки за счет запуска новых космических аппаратов (КА) как с аналогичными сенсорами, так и с принципиально

новым съемочным оборудованием. Такой подход в итоге обеспечивает функционирование интегрированной космической системы, предоставляющей комплексную космическую геопространственную информацию широкому сообществу пользователей, а также государствам-партнерам (функция IEM).

Эти особенности системы COSMO-SkyMed делают ее уникальным глобальным поставщиком геопространственной информации, облегчающей принятие решений при предотвращении, мониторинге и урегулировании кризисных ситуаций в любой точке мира.

Система COSMO-SkyMed состоит по состоянию на 2012 г. из четырех низкоорбитальных спутников (высота орбиты 620 км) среднего размера, каждый из которых оборудован многорежимным радиолокатором с синтезированной апертурой (РСА), работающим в X-диапазоне длин волн, и оснащен новейшим оборудованием для выполнения съемки и передачи информации. Фактически группировка спутников первого поколения в данное время уже находится на

орбите в полном составе (первый спутник был запущен в июне 2007 г., второй спутник — в декабре 2007 г., третий — в октябре 2008 г. и четвертый — в ноябре 2010 г.), и, кроме того, полным ходом идет подготовка к запуску спутников второго поколения COSMO-SkyMed-5, 6, 7, 8.

Ниже приводится основная техническая информация о радарных спутниках группировки COSMO-SkyMed:

- конструкция антенны: антенна с активной фазированной решеткой X-диапазона с управляемым лучом;
- ширина полосы частот передаваемого сигнала до 400 МГц;
- доступные углы съемки:  $20^\circ \div 59^\circ$ ;
- возможность съемки направо или налево по направлению движения спутника на восходящем или нисходящем витке орбиты.

Основные характеристики различных режимов съемки PCA COSMO-SkyMed приведены ниже (рис. 1):

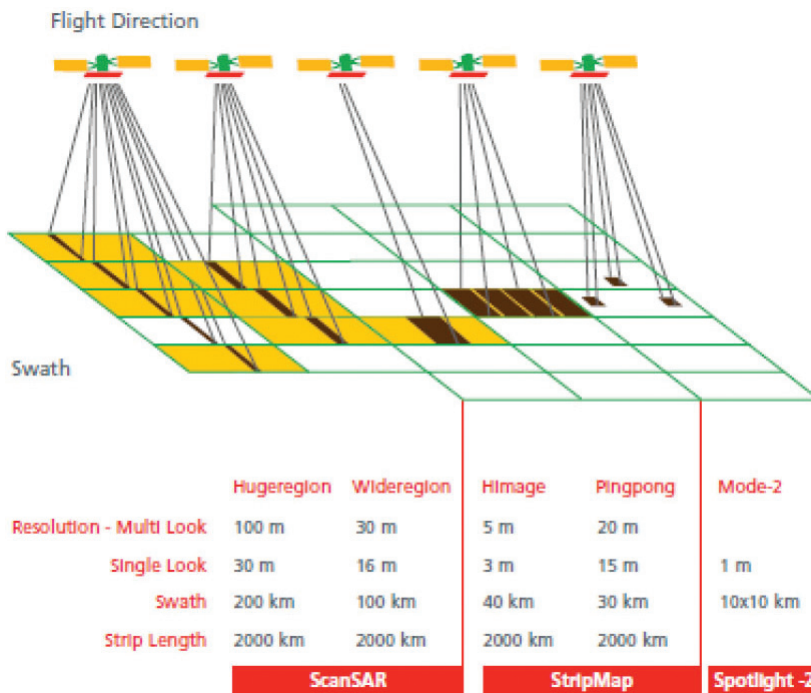


Рис. 1. Режимы съемки спутников COSMO-SkyMed

- SPOTLIGHT — прожекторный режим съемки, обеспечивающий получение снимков размером 10x10 км с пространственным разрешением 1x1 м;
- STRIPMAP (HIMAGE) — маршрутный режим съемки, обеспечивающий получение снимков размером 40x40 км с пространственным разрешением 3x3 м;
- STRIPMAP (PINGPONG) — маршрутный режим съемки с двойной поляризацией (HH/HV, VV/VH, HH/VV), обеспечивающий получение снимков размером 30x30 км с пространственным разрешением 15 м;
- SCANSAR (варианты WIDE и HUGE) — широкополосный режим съемки, обеспечивающий получение снимков размерами 100x100 км с пространственным разрешением 15 м (WIDE) и размером 200x200 км с пространственным разрешением 30 м (HUGE).

Группировка COSMO-SkyMed была изначально задумана как программа двойного назначения — гражданского (защита окружающей среды, защита гражданского населения, нефтегазовая и горнодобывающая отрасли, всепогодный мониторинг, лесное и сельское хозяйство, построение цифровых моделей рельефа и т.п.) и оборонного (разведка, всепогодный мониторинг). Такой многоцелевой подход возможен благодаря техническим характеристикам системы.

## ТЕХНОЛОГИЯ

### Формирование амплитудного изображения (картограммы коэффициента обратного рассеяния)

Процесс создания амплитудного изображения состоит из 4 этапов:

1. фокусировка «сырых» радарных голограмм;
2. формирование амплитудного изображения;
3. ортотрансформирование;
4. радиометрическая калибровка.

Результатом выполнения этапа фокусировки является комплексное радарное изображение, т.е. картограмма амплитуды отраженного сигнала в геометрии «наклонная дальность/азимут», в каждом пикселе которой записан комплексный сигнал (реальная и мнимая составляющая), зафиксированный при съемке участка земной поверхности, соответствующего этому пикселю.

На следующем этапе обработки происходит преобразование комплексного изображения в амплитудное (все еще в геометрии «наклонная дальность/азимут»), после чего происходит кодирование этого амплитудного изображения в выбранную географическую проекцию и ортотрансформирование этого изображения с использованием опорной цифровой модели рельефа. Радиометрическая калибровка изображения является последним этапом, позволяющим получить картограмму коэффициента обратного рассеяния (т.е. картограмму коэффициента «сигма-ноль»).

Следует отметить, что в целях удаления из радарных изображений спекл-шума может быть предусмотрен дополнительный этап обработки, включающий фильтрацию амплитуды снимка. Очевидно, что данный этап не является обязательным, так как хорошо известно, что улучшение радиометрического качества изображения при его фильтрации достигается за счет снижения разрешения изображения или потери его мелких деталей. Известны различные алгоритмы фильтрации (гамма, усредняющий, медианный, а также фильтры Ли, Фроста, Гаусса и т.п.). Их эффективность зависит от потребностей пользователя, и прежде всего от характеристик рассматриваемой территории.

На картограмме коэффициента обратного рассеяния хорошо заметны здания и сооружения, элементы транспортной инфраструктуры, наличие/отсутствие и различия в объеме биомассы растительности (рис. 2).

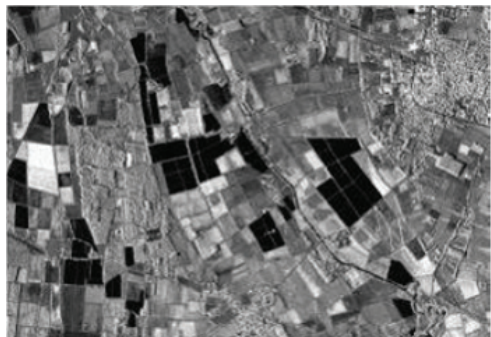


Рис. 2. Снимок COSMO-SkyMed, режим съемки Spotlight-2 (разрешение 1 м), одиночная поляризация HH. Градации серого цвета соответствуют значениям «сигма-ноль»

Хорошо выделяется граница «вода — суша». Кроме того, присутствующая в картограмме текстурная информация позволяет выполнять классификацию и тематическое картографирование территорий.

### Амплитудное обнаружение и мониторинг изменений по данным двух съемок

Для амплитудного обнаружения изменений используются мультивременные композитные изображения в условных цветах (RGB), сформированные из двух радарных изображений одной и той же территории, сделанных в два различных момента времени с одинаковыми параметрами съемки (направление орбиты, направление съемки, поляризация, угол съемки), т.е. из изображений, составляющих интерферометрическую пару. Эти два изображения должны быть совместно корегистрированы и подвергнуты ортотрансформированию с использованием цифровой модели рельефа. После этого первое по времени изображение помещается в красный канал композита, а второе — в зеленый и синий каналы. Цвета на таком композите следует интерпретировать следующим образом:

- красный цвет: точечные или площадные цели, присутствующие на первом снимке и отсутствующие на втором;
- сине-зеленый или голубой цвет: точечные или площадные цели, отсутствующие на первом снимке и присутствующие на втором;
- белый цвет или оттенки серого: точечные или площадные цели, присутствующие на обоих снимках.

Данный композит показывает все изменения, произошедшие на отснятой территории за период между двумя съемками. Например, все новые искусственные сооружения (появившиеся на втором снимке) будут ярко-голубого цвета, все снесенные здания (пропавшие на втором снимке) будут красного цвета, а городские зоны без изменений и лесные массивы (сильная амплитуда отражения на обоих снимках) будут отображаться белым цветом. Пример обнаружения изменений в случае сельскохозяйственного землепользования приведен на рис. 3.

Интерпретация композита следующая:

- темные участки (слабая амплитуда на обоих снимках) — рисовые поля, залитые водой во время обеих съемок (рис еще не взошел над уровнем воды на обоих снимках);



*Рис. 3. Амплитудный мультивременной RGB-композит на район сельскохозяйственного землепользования, сформированный по интерферометрической паре снимков COSMO-SkyMed в режиме Spotlight-2 (разрешение 1 м). На территории возделывается рис*

- красные участки (сильная амплитуда на первом снимке, слабая амплитуда на втором снимке) — участки, залитые водой после первой съемки;
- голубые участки могут являться, в зависимости от текстуры:
  - затопленными полями, на которых рис взошел выше уровня воды за период между первой и второй съемками (ярковыраженная текстура);
  - полями, осушенными за период между первой и второй съемками (слабовыраженная текстура).

### Амплитудное мультивременное изображение, составленное из трех съемок

Мультивременное изображение — это композит в условных цветах (RGB), сформированный из трех одиночных амплитудных радарных изображений одной и той же территории, полученных в три различных момента времени, с аналогичными параметрами и геометрией съемки (т.е. интерферометрическая серия из трех снимков). Мультивременные изображения обычно используются в целях мониторинга землепользования и активности, а также для тематического картографирования отражающей поверхности, подверженной определенным изменениям с течением времени, например для сельскохозяйственных полей. Фактически на основе понятия мультивременной радарной подписи (в каком-то смысле, аналога спек-

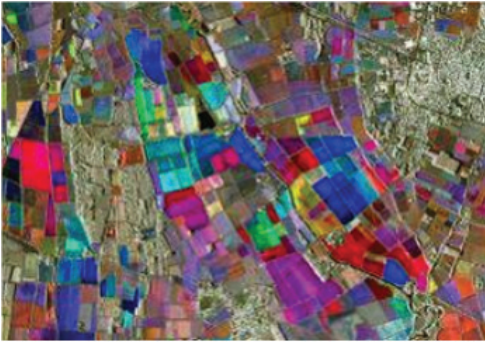


Рис. 4. Амплитудное мультивременное изображение, сформированное из трех снимков COSMO-SkyMed, сделанных в режиме Spotlight-2 (разрешение 1 м), с одинаковой геометрией и параметрами съемки. Различные цвета характеризуют различные стадии фенологического цикла возделывания риса

тральной подписи при оптических съемках), описывающей изменение характеристик отражающей поверхности во времени и рассчитываемой по мультивременным амплитудным изображениям, можно улучшить точность классификации точечных и распределенных отражающих целей и, например, идентифицировать различные типы растительности (рис. 4).

#### Когерентное мультивременное изображение

Когерентное мультивременное изображение (Multi-Temporal Coherence, или МТС) — это композит в условных цветах, сформированный интерферометрической парой радарных снимков (рис. 5). Отличие от вышеуказанных композитов заключается в том, что в данном композите используется не только амплитудная, но и фазовая информация радарного сигнала.

Данный композит, принципы его расчета и интерпретации подробно описаны в статье «Новый продукт МТС, рассчитываемый по данным COSMO-SkyMed» (с. 46—51).

Кратко отметим следующие основные моменты:

- изменения, регистрируемые по когерентности фаз разновременных радарных съемок, сопоставимы с длиной волны радара ( $\lambda$  не с пространственным разрешением). Поэтому при разрешении, например, 1 м (режим Spotlight-2 спутников COSMO-SkyMed) при когерентном мониторинге будут обнаруживаться изменения даже порядка нескольких



Рис. 5. Карта когерентности, рассчитанная для интерферометрической пары снимков COSMO-SkyMed, сделанных в режиме Spotlight-2 (разрешение 1 м). Темные участки — низкая когерентность, характеризующая наличие изменений за период между съемками, либо некогерентные поверхности (вода, растительность и т.п.). Светлые участки — высокая когерентность, характеризующая отсутствие изменений либо объекты со стабильной во времени фазой (территории без растительности, без воды, здания и сооружения)

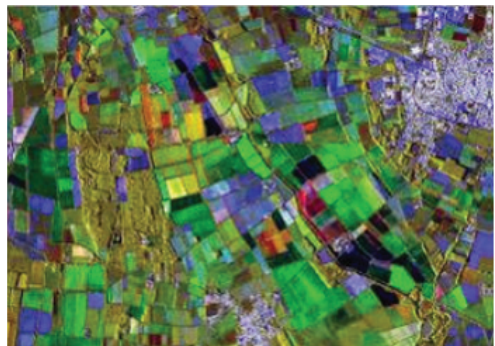


Рис. 6. МТС-изображение, сформированное по интерферометрической паре снимков COSMO-SkyMed, сделанных в режиме Spotlight-2 (разрешение 1 м): красный канал — первое по дате амплитудное изображение; зеленый канал — второе по дате амплитудное изображение; синий канал — картограмма когерентности фаз первого и второго снимков

сантиметров (длина волны радаров спутников COSMO-SkyMed составляет 3 см);

- фазовая когерентность, помимо собственно изменений характеристик отражающей поверхности, также фиксирует атмосферные условия при выполнении обеих съемок интерферометрической пары, систематическую пространственную декорреляцию фаз, возникающую за счет наличия базовой линии между положениями спутника, временную декорреляцию между двумя сценами, увеличивающуюся с течением времени, и аддитивный шум.

МТС является эффективным средством анализа, используемым для решения различных задач, таких, как тематическое картографирование землепользования и типов ландшафта или выделение специфических объектов (дорожная сеть, здания и сооружения, гидросеть и т.д.).

Следует отметить, что продукт МТС легче поддается интерпретации и лучше визуально сопоставляется с оптическими снимками, что позволяет обновлять единую оптико-радарную базу разновременных геопространственных данных на территорию интереса и классифицировать появление новых целей в пределах района мониторинга (рис. 6).

#### **ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ: АСМЭРА (ЭРИТРЕЯ)**

В свете рассмотрения операций по информационному обеспечению всепогодными и не зависящими от освещенности геопространственными данными в условиях чрезвычайных ситуаций и кризисов для задач мониторинга и оперативной оценки ущерба акцент делается на получение глобальной (и в то же время высокодетальной) картины кризисной ситуации на каждый момент съемки. Под кризисными ситуациями в данном случае понимаются международные войны, гражданские конфликты, природные катастрофы и стихийные бедствия и другие чрезвычайные ситуации, которые могут привести к человеческим жертвам.

В контексте программ обеспечения безопасности Европейского союза (типа G-MOSAIC) кризисная ситуация обычно требует вмешательства, нацеленного на поддержание мира, общественного порядка, охрану граждан ЕС и повышение международной безопасности в целом.

Один из рабочих пользовательских сценариев

G-MOSAIC сосредоточен на планировании и готовности к действиям. Этот сценарий отвечает потребностям пользователей в предкризисной ситуации и предоставляет информацию для:

- планирования эвакуации граждан;
- подготовки оперативных планов стратегических миссий.

Пример типичной ситуации: планирование эвакуации граждан ЕС из определенного города в случае возможного возникновения ЧС, где спутниковый геопространственный анализ может облегчить подготовку планов эвакуации.

В рамках такой ситуации могут быть предоставлены следующие сервисы:

- План мероприятий на случай ЧС, нанесенный на тематическую карту города, построенную по результатам интерпретации актуального оптического ортотрансформированного снимка и содержащую геопространственную информацию, облегчающую планирование эвакуации и вмешательства в потенциальную чрезвычайную ситуацию в условиях города и прилегающих территорий.
- Построение радарных композитов МТС, отражающих возникновение и развитие во времени ЧС за счет выявления изменений территории.
- Детальная тематическая карта ландшафтов и карта города, рассчитанная на основе спутникового ортотрансформированного снимка сверхвысокого разрешения в видимой и инфракрасной зонах спектра (разрешение 50 см).

По запросу Министерства обороны Италии был выполнен пилотный проект по обнаружению и картографированию заданных характеристик территории, а также обновлению этих характеристик с использованием разнородной архивной геопространственной информации и новых радарных съемок COSMO-SkyMed.

В частности, основными задачами пилотного проекта были следующие:

- оценка возможностей радарных данных Cosmo-SkyMed для тематического картографирования территорий, где регулярная оптическая съемка практически невозможна из-за погодных условий;
- оценка преимуществ радарных съемок COSMO-SkyMed перед оптическими, связанных с обнаружением объектов и элементов ландшафта, неза-

метных на оптических снимках, но заметных на радарных снимках;

- оценка возможностей радарных данных Cosmo-SkyMed в области обновления существующих карт. Пилотный проект был выполнен в два этапа:
- создание цифровой базы данных геоинформации, по плотности данных соответствующей топографической карте 1:50 000 (создание);
- создание карты обнаружения изменений (обновление). Министерство обороны Италии предоставило следующий набор данных, представляющий стандартную эталонную систему исходных данных для продуктов Министерства обороны Италии:
- оптическое изображение со спутника QuickBird (DigitalGlobe, США) с геометрическим разрешением 0,6 м в панхроматическом канале и 2,4 м в мультиспектральных каналах;
- цифровые растровые топографические карты (масштаб 1:100 000 и 1:200 000);
- цифровая модель рельефа/цифровая модель местности с геометрическим разрешением 30 м;
- база данных GeoNames, содержащая названия географических объектов;

- прочие данные (например, цифровые аэронавигационные данные о вертикальных препятствиях и воздушных сооружениях) для рассматриваемой территории.

Эти исходные эталонные данные были необходимы для выполнения пилотного проекта, поскольку эталонные ключи используются для выделения объектов или типов территории одного класса по всей гораздо большей площади новых снимков.

В табл. 1 указан набор всех использованных в рамках данного проекта данных – как относящихся к ДЗЗ, так и не относящихся к ним.

Из-за развитой инфраструктуры (дороги, шоссе, аэропорты, вертолетные площадки, железные дороги и т.д.), большого количества промышленных сооружений и непрерывного роста города Асмэра является показательным примером проверки применения оптических и радарных данных ДЗЗ сверхвысокого разрешения для подготовки плана мероприятий на случай ЧС.

Выделение различных объектов и типов ландшафта территории на основе данных ДЗЗ было выполнено на площади около 150 км<sup>2</sup>, а городские карты и

Таблица 1

## Асмэра — данные ДЗЗ

Сенсор	Разрешение (м)	Дата съемки	Стерео (да/нет)	Тип	Динамический диапазон, бит	Формат
Оптические данные						
QuickBird	0,6 – 2,4 м	14.12.2005	Нет	панхром + мультиспектр	8	Tiff
CitySPHERE	0,6 м	06.03.2005	Нет	паншар-пенинг		
Радарные данные						
COSMO-SkyMed	1 м	08.08.2009 09.08.2009 25.08.2009 01.09.2009 14.09.2009 07.10.2009	Нет	Spotlight 2	-	Tiff, Envi
COSMO-SkyMed	3 м		Нет	Stripmap Himage	-	Tiff, Envi



мультивременные композиты обнаружения изменений были сформированы на территорию площадью около 25 км<sup>2</sup>.

Городские карты и карты обнаружения изменений были представлены на выходе в виде цифровых векторных карт, сформированных на основе интерпретации композитов МТС, полученных системой COSMO-SkyMed в режиме Spotlight-2.

Выделяемые объекты и типы ландшафтов были выбраны в соответствии со стандартными условными обозначениями, принятыми в международной картографической программе (табл. 2).

В частности, были выполнены следующие действия:

1. Получение и подготовка данных:
  - Изображение QuickBird.

- Изображение CitySPHERE.
- Цифровая модель местности.
- Растровая топокарта.
- База данных Geonames и административные границы.
- Выделение из общего объема данных характеристик, необходимых Министерству обороны.

2. Определение области интереса, планирование радарных съемок со спутников COSMO-SkyMed, покрывающих большую часть района интереса, и выбор оптимальных характеристик съемки (уровень обработки, режим съемки: направление орбиты, направление съемки, угол съемки, поляризация). Два угла съемки (30 и 54°) были опробованы для определения оптимальной геометрии съемки, наилучшим образом отображающей различные

Таблица 2

### Выделяемые объекты и типы ландшафтов

Типы ландшафта (выделены в виде векторных полигонов)	Прочие площадные типы объектов (векторные полигоны)
Застроенные территории	Объект
Водоемы	Место захоронения отходов
Участки голой земли	Стадион
Сельскохозяйственные земли	Место стоянки воздушных судов
Луга	Взлетно-посадочная полоса
Кустарник	Рулежная дорожка
Лес	Аэродром
Линейные объекты (выделены в виде векторных полилиний)	Точечные объекты
Тротуар	Здание
Забор	Заправочная станция
Стена	Контрольно-диспетчерский пункт
Дорога	Параболическая антенна
Мост	Парк товарных резервуаров
Канавы	Навигационные огни аэропорта
Река	
Проселочная дорога	
Ограждение аэропорта	
Линия леса	

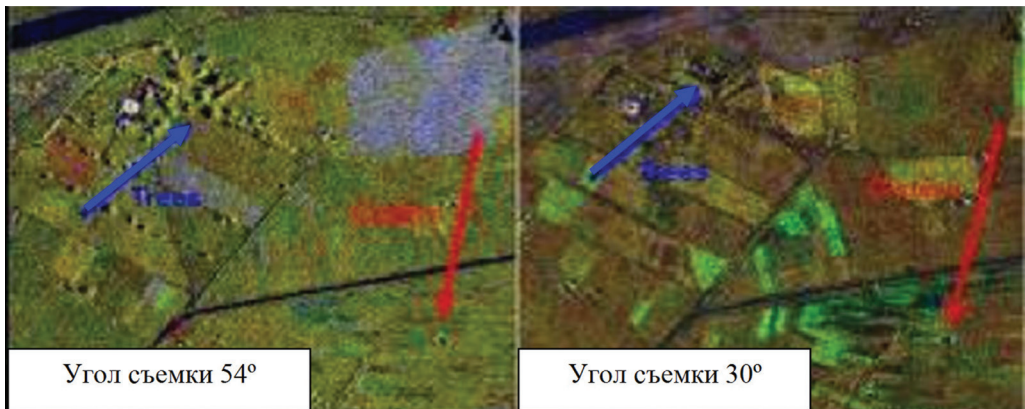


Рис. 7. Иллюстрация четкости отображения объектов (деревья и одиночный точечный объект) на радарных композициях МТС, полученных по снимкам COSMO-SkyMed с различными углами съемки

природные и искусственные цели, присутствующие на снимаемой территории. Угол съемки  $54^\circ$  оказался предпочтительным, так как он позволил визуализировать большую часть элементов рельефа за счет более четкого отображения радарной тени, рельефно подсвечивающей объекты поверхности (рис. 7).

3. Последовательность обработки мультивременных снимков COSMO-SkyMed (режим съемки Spotlight-2) для создания композита МТС:

- Загрузка данных уровня обработки 1А (комплексные данные).
- Загрузка ЦММ SRTM с геометрическим разрешением 30 м.
- Интерферометрическая обработка фазовой информации с получением на выходе геокодированной картограммы когерентности.
- Некогерентное накопление с получением на выходе амплитудных радарных изображений.
- Корегистрация амплитудных радарных изображений.
- Геокодирование и радиометрическая калибровка данных.
- Формирование мультивременных композитов МТС.

4. Корегистрация оптического снимка QuickBird с радарными снимками COSMO-SkyMed с использованием полинома 2-й степени с 21 контрольной точкой (приблизительно 1 точка на  $\text{км}^2$ ).

Среднеквадратическая погрешность при совмещении снимков QuickBird и COSMO-SkyMed до корегистрации составляла  $\geq 5$  м, а после корегистрации уменьшилась до  $< 3$  м.

5. Формирование ключей для интерпретации снимков COSMO-SkyMed с расчетом получить на выходе тематическую карту природных и техногенных объектов земной поверхности с набором слоев, запрошенных Министерством обороны Италии.

6. Создание цифровой карты (масштаб 1:50 000) на основе МТС-композитов, рассчитанных на основе радарных снимков COSMO-SkyMed в режиме Spotlight-2. Порядок выделения элементов (слоев) карты был следующим:

- полигональные объекты (например, типы ландшафтов);
- линейные объекты (элементы транспортной инфраструктуры);
- точечные объекты (например, здания).

7. Создание обновленной цифровой карты на основе радарного композита МТС, рассчитанного по снимкам COSMO-SkyMed в режиме Spotlight-2 за более поздние даты.

Фрагменты полученных тематических карт, содержащих растровую подложку из композита МТС и набор наложенных на нее векторных слоев, приведены на рис. 8.

Аналогичные работы в рамках проекта G-MOSAIC были выполнены на основе данных COSMO-SkyMed

и других геопространственных данных, например, по территориям городов Хараре (Зимбабве) и Тир (Ливан).

### ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

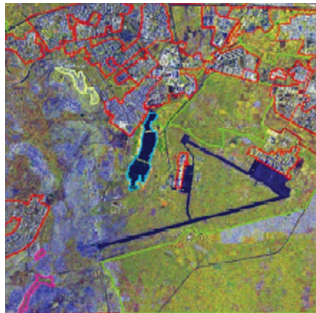
Проект G-MOSAIC нацелен на создание пакета услуг по геоинформационному обеспечению планирования гуманитарных и других международных операций в соответствии с потребностями пользователей, таких, как, например, министерства обороны. Развитие данного проекта позволит перевести научные исследования в прикладную плоскость и обеспечить планирование операций, с тем чтобы на стадии выполнения этих операций только отслеживать изменения, уже имея в наличии актуальную геопространственную основу.

Анализ продуктов, таких, как радарные когерентные мультитременные композиты (МТС) и другие продукты тематической обработки данных COSMO-SkyMed, позволил создать «сигнатуры» для идентификации самых разных природных и техногенных

объектов земной поверхности (например, различных типов ландшафта, участков землепользования и невозделываемых земель, линейных объектов транспортной инфраструктуры, точечных объектов, таких, как здания и сооружения, и т.д.).

Продемонстрированы возможности создания регулярно обновляемых карт землепользования и обеспечения непрерывного мониторинга большого числа природных и техногенных процессов, происходящих на земной поверхности. Причем использование именно радарных данных для такого мониторинга обеспечивает всепогодность и независимость от облачности и освещенности.

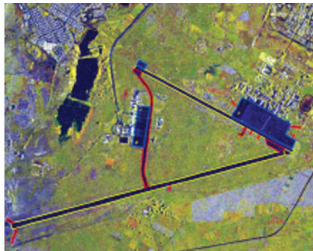
Таким образом, продукты тематической обработки радарных снимков Cosmo-SkyMed сверхвысокого разрешения позволяют облегчить планирование и проведение правительственных мероприятий по поддержанию порядка и мира, обеспечению безопасности, а также обеспечить актуальную геопространственную основу для проведения гуманитарных операций.



**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:**

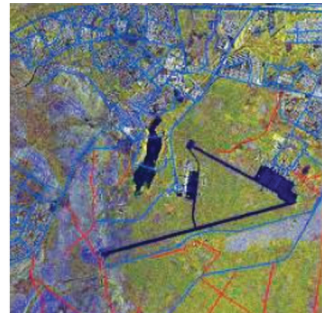
**Транспортная сеть**  
 — ДОРОГА  
 — ПРОСЕЛОЧНАЯ ДОРОГА

**Почвенный покров**  
 ■ Застройка  
 ■ Поверхность почвы  
 ■ Земля под культурой  
 ■ Водоемы  
 ■ Земля под травой  
 ■ Молодые насаждения  
 ■ Лес



**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:**

**Область деятельности**  
 ■ Влетно-посадочная полоса  
 ■ Рулежная дорожка  
 ■ Место стоянки воздушных судов  
 ■ Стадион



**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:**

— ДОРОГА  
 — ПРОСЕЛОЧНАЯ ДОРОГА

*Рис. 8. Результаты интерпретации радарных композитов МТС, рассчитанных на основе снимков COSMO-SkyMed (Spotlight-2)*