

**Д.Б. Никольский** (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил факультет прикладной космонавтики МИИГАиК по специальности «исследование природных ресурсов авиакосмическими средствами». С 2007 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время – специалист по обработке радиолокационных данных.

## Современные тенденции в радиолокационном дистанционном зондировании Земли

Оперативность получения актуальной пространственной информации о земной поверхности является важным требованием, предъявляемым к современным данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), наряду с высоким пространственным разрешением, а также геометрической точностью. Именно оперативность является одним из основных преимуществ радиолокационных систем ДЗЗ или SAR-систем. Также следует отметить, что данные, получаемые в микроволновом радиодиапазоне (табл. 1), служат источником уникальной информации о подстилающей земной поверхности. Они позволяют определять вертикальные смещения с высокой точностью (вплоть до нескольких миллиметров), что является альтернативой дорогостоящим и трудозатратным наземным измерениям.

Таблица 1

**Параметры микроволнового радиодиапазона**

Диапазон	Длина волны, см	Частота, Гц
Ka	0,8-1,1	40,0-26,0
K	1,1-1,7	26,5-18,5
Ku	1,7-2,4	18,5-12,5
X	2,4-3,8	12,5-8,0
C	3,8-7,5	8,0-4,0
S	7,5-15,0	4,0-2,0
L	15,0-30,0	2,0-1,0
P	30,0-100,0	1,0-0,3

К современным тенденциям в области радиолокации можно отнести следующие основные направления:

- использование радиолокационных данных в различных отраслях в качестве пространственной основы для решения широкого круга задач, в том числе совместно с данными оптического диапазона;
- получение данных в режиме реального времени с задержкой буквально на несколько часов;
- создание высокоточных цифровых моделей местности (тандемные комплексы);
- определение просадок и подвижек земной поверхности с высокой точностью;
- применение поляриметрических данных;
- использование новых диапазонов и подходов в обработке данных.

Происходит активное развитие общемировой группировки коммерческих радиолокационных систем. В 2005 г. на орбите находилось только три космических аппарата с системами среднего разрешения, работающих в радиодиапазоне. В настоящее время доступны данные восьми радиолокационных систем, причем пространственное разрешение изображений, получаемых с их помощью, достигает 1 м.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

Рассматривая современные тенденции в радиолокационном дистанционном зондировании земной поверхности, нельзя не отметить активное развитие

именно спутникового сегмента, а не только технологий обработки данных. Круг задач, решаемых с помощью радиолокационных данных, постоянно расширяется, что требует использования данных с новыми параметрами. В табл. 2 представлена обобщенная информация о перспективных радиолокационных системах. Некоторые из них рассмотрим более подробно, так как они являются уникальными и в будущем позволят получать данные для решения принципиально нового класса задач.

Система TanDEM-X служит дополнением к системе TerraSAR-X и предназначена для измерения высот на земной поверхности. В настоящее время она является одной из наиболее ожидаемых космических радиолокационных систем, так как в результате совместного использования TerraSAR-X и TanDEM-X будет получена глобальная высокоточная цифровая модель местности (ЦММ), не имеющая аналогов, а также появится возможность получать данные для построения ЦММ на конкретные регионы независимо от метеословий.

Комплекс TerraSAR-X – TanDEM-X – это первый бистатический космический интерферометр, в котором земная поверхность облучается радиолокатором с одного спутника, а регистрируется радиоло-



Рис. 1.  
Комплекс TerraSAR-X – TanDEM-X

### Перспективные радиолокационные системы

Таблица 2

Наименование системы	Страна	Дата запуска, год	Диапазон	Периодичность, дней	Характеристики съемки		
					ПР, м	ПС, км	ПЛ
COSMO-SkyMed-3	Италия	2008	X	16	1	10	Да
RISAT-1	Индия	2009	C	12	2	10	Да
TanDEM-X	Германия	2009	X	11	1	10x5	Да
Кондор-Э	Россия	2009	S	–	1-2	10-20	Нет
HJ-1C	Китай	2010	S	31	1	–	Нет
SAOCOM-1A/1B	Аргентина	2010	L	16	7	50	Да
Kompsat-5	Южная Корея	2010	X	–	1	5	Нет данных
Sentinel-1	Европа	2011	C	12	5	80	Да
BIOMASS	Европа	2013	P	30	50	–	Да
CoRe-H2O	Европа	–	X и Ku	3-12	50	100	Да

Примечания:

ПР – максимальное пространственное разрешение, которое дает система;

ПС – полоса съемки, соответствующего режима;

ПЛ – возможность поляриметрической съемки.

Таблица 3

## Стандартные уровни цифровых моделей местности

Уровень	Пространственное разрешение, м	Вертикальная точность		Источник
		Абсолютная*, м	Относительная**, м	
DTED-1	90x90	30	20	SRTM-C, распространяемая свободно
DTED-2	30x30	18	12	ASTER, SRTM-X, ERS Tandem, SPOT 5 HRS, SRTM-C (ограниченные территории)
HRTI-3	12x12	10	2-4***	TanDEM-X, оптические спутниковые системы высокого разрешения
HRTI-4	6x6	5	0,8-2***	Системы самолетного базирования, TanDEM-X

## Примечания:

DTED (Digital Terrain Elevation Data) – ЦММ либо ЦМР среднего пространственного разрешения;

HRTI (High Resolution Terrain Information) – ЦММ либо ЦМР высокого пространственного разрешения;

\* – определяется как 90% линейная ошибка в глобальном масштабе;

\*\* – определяется как 90% линейная ошибка по точкам для участка 1x1;

\*\*\* – в зависимости от рельефа местности.

каторами двух спутников (рис. 1). Он создается для достижения ряда целей.

Основной целью является создание глобальной цифровой модели местности (90% поверхности Земли) стандарта HRTI-3 и региональных ЦММ более высокой точности стандарта HRTI-4 (табл. 3).

Среди дополнительных можно отметить следующие цели: поляриметрическую интерферометрию, достижение суперразрешения, обработку различных бистатических режимов, интерферометрию при использовании мультипространственной базовой линии (Multi Baseline InSAR), интерферометрию вдоль орбиты (Along-Track Interferometry), получение данных при использовании четырех фазовых центров (за счет разделения антенны на две на каждом спутнике) и т. д.

Запуск космического аппарата с системой TanDEM-X запланирован на сентябрь 2009 г., после чего около трех месяцев будет проводиться ее тестирование и, начиная с 2010 г., начнется плановая съемка земной поверхности, которая должна быть закончена в 2012 г. Съемка будет выполняться в несколько этапов.

**Первый этап (2010 г.).** Получение полного покрытия земной поверхности с небольшой пер-

пендикулярной базовой линией (около 300 м). Небольшая базовая линия дает меньшую точность, но обработка данных упрощается.

**Второй этап (2011 г.).** Достижение полного покрытия земной поверхности с большей перпендикулярной базовой линией (около 500 м). Полученные данные должны соответствовать стандарту HRTI-3. При обработке будут использоваться результаты, полученные на предыдущем этапе.

**Третий этап (2012 г.).** Съемка сложных в отношении рельефа регионов (зоны переналожений и теней) под «другим ракурсом», а также съемка с большими базовыми линиями для получения региональных ЦММ более высокой точности.

Комплекс TerraSAR-X – TanDEM-X за три года должен обеспечить многократную съемку земной поверхности, по результатам которой будет создана глобальная цифровая модель местности с относительной точностью по высоте 2 м для равнинных территорий и 4 м для горных районов. Точность ЦММ будет являться беспрецедентной для глобального покрытия. В настоящее время ближайшим аналогом можно назвать ЦММ, построенную по интерферометрическим радиолокационным данным С-диапазона системы SRTM (2000 г.) и имеющую уровень точности DTED-1 (табл. 3). Как

известно, в системе SRTM съемка проводилась и в X-диапазоне, но ввиду небольшой полосы захвата полученное покрытие содержало значительные пропуски (хотя уровень точности выше, чем для данных C-диапазона). SRTM имеет ограничения по широте 60°N, поэтому Антарктика, а также боль-

Одной из тенденций развития съемочных систем является получение данных в широкой полосе, но при этом с достаточно высоким разрешением. В режиме, предназначенном именно для интерферометрии, съемка будет проводиться в полосе 250 км с пространственным разрешением 5x20 м.

Таким образом, одна сцена будет иметь площадь более 60 тыс. км<sup>2</sup> и в совокупности с высокой периодичностью съемки это позволит достичь качественных результатов по выявлению малейших подвижек и просадок земной поверхности на значительных территориях.

Система BIOMASS также разрабатывается Европейским космическим агентством и предназначена для картографирования и мониторинга лесной растительности в глобальном масштабе. Съемка земной поверхности будет проводиться в P-диапазоне длин волн (около 70 см) при полной поляризации излучения. Уникальность системы

BIOMASS состоит в том, что она впервые будет проводить космическую радиолокационную съемку в P-диапазоне, который наилучшим образом обеспечивает решение задач, связанных с исследованием растительного покрова.

В настоящее время отсутствуют космические радиолокационные системы, работающие одновременно в двух диапазонах. Первой подобной системой станет CoRe-H<sub>2</sub>O, предназначенная для исследования снего- и влагозапасов холодных регионов. В ней будут использованы коротковолновые диапазоны X и Ku, которые обеспечивают существенно меньшую проникающую способность излучения (для данного случая в снежный и ледовый покровы), чем диапазоны с большей длиной волны.

*При подготовке статьи использованы материалы VII Европейской конференции, посвященной радиолокации с синтезированной апертурой EUSAR 2008 (2-5 июня 2008 г., Фридрихсхафен, Германия).*

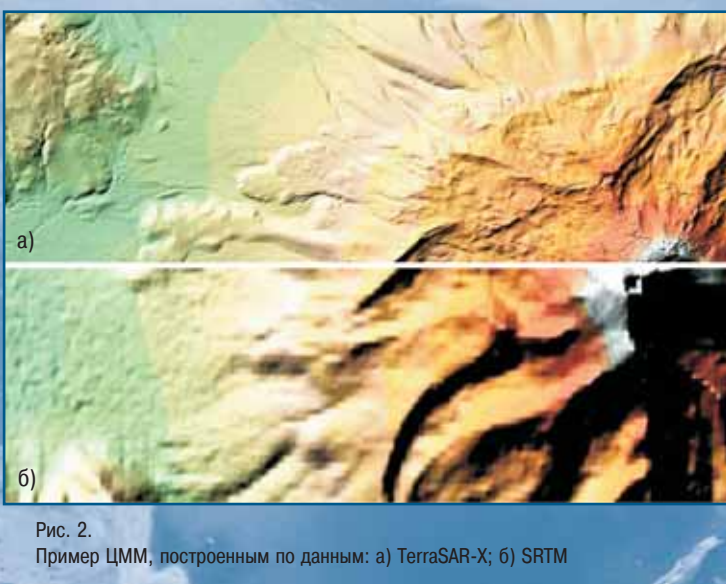


Рис. 2.  
Пример ЦММ, построенным по данным: а) TerraSAR-X; б) SRTM

шинство северных территорий (что актуально для России), не обеспечены достаточно точной высотной информацией. Запуск КА с системой TanDEM-X позволит решить эту проблему, и у пользователей появится возможность получать актуальные высокоточные высотные данные в глобальном масштабе. На рис. 2 для наглядности приведено сравнение ЦММ, построенным по данным TerraSAR-X (StripMAP, 12x12 м) и SRTM (90x90 м).

Космические аппараты серии SENTINEL являются новым проектом Европейского космического агентства и, в первую очередь, предназначены для получения регулярных данных через каждые 12 дней (один КА). В 2011 г. запланирован запуск КА Sentinel-1, а затем – КА Sentinel-2. С помощью двух КА появится возможность получать снимки земной поверхности с периодичностью в 6 дней. Такая периодичность съемки позволит выйти на новый уровень в интерферометрической обработке данных.