

ГЕОМАТИКА

GEOMATICS

Осень 2008 #1

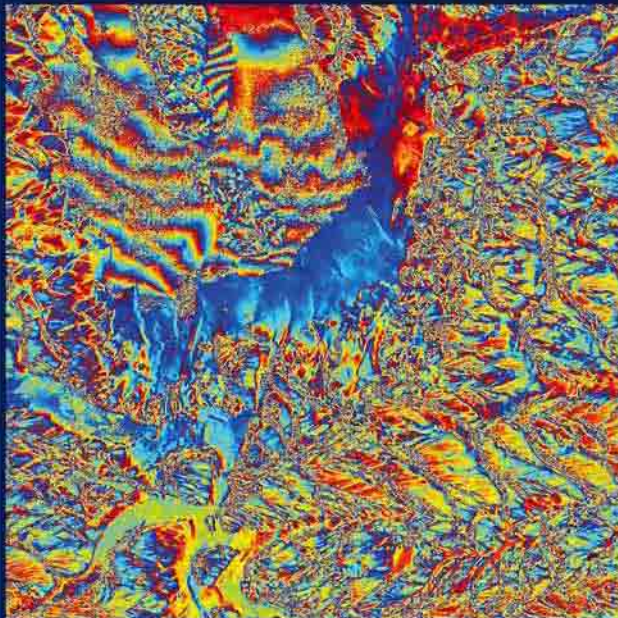
ЖУРНАЛ О ГЕОИНФОРМАТИКЕ И ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ЗЕМЛИ



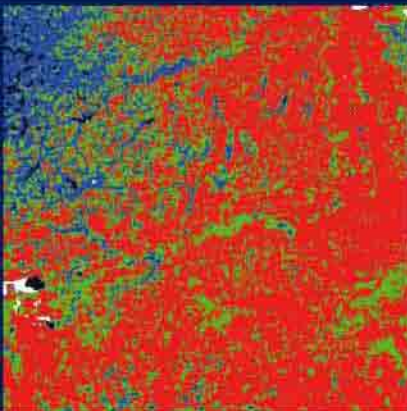
SOVZOND
Издание компании
«СОВЗОНД»



НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТА
SARSCAPE ДЛЯ ОБРАБОТКИ
РАДИОЛОКАЦИОННЫХ
ДАННЫХ – стр. 24



ПЕРЕДОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ОБРАБОТКЕ
И ПРИМЕНЕНИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ
ДАННЫХ – стр. 35



ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ
РЕЛЬЕФА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ ALOS PALSAR – стр. 5

SAR
журнал



КОМПАНИЯ «СОВЗОНД» - ВРЕМЯ РЕШЕНИЙ.



- Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) различного пространственного разрешения.
- Геопорталы на базе современных данных ДЗЗ.
- Программное обеспечение для технических проектов различного уровня сложности.
- Комплексные проекты по обработке космических снимков для создания и обновления картографической продукции.
- Тематическая обработка космических снимков.
- Создание прикладных ГИС.
- Центры оперативного космического мониторинга и пространственного анализа (ведомственные, региональные, отраслевые, корпоративные).
- Консалтинговый центр.



КОМПАНИЯ "СОВЗОНД"
Тел.: +7 (495) 988-7511, 988-7522, 514-8339
Факс: +7 (495) 988-7533
E-mail: sovzond@sovzond.ru
Web-site: www.sovzond.ru

Уважаемые коллеги!

Можно смело утверждать, что дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса относится к одной из наиболее успешно и динамично развивающихся сфер современного информационного общества. Научно-технические достижения последних лет в деле создания и развития космических систем, технологий обработки, хранения, интерпретации и использования получаемых данных многократно расширили круг и масштаб задач, решаемых с помощью ДЗЗ. Растет число потребителей: данные космических съемок активно используются не только в научных и производственных целях, но и в повседневной жизни людей.

Стремительное развитие отрасли ДЗЗ естественно вызывает все возрастающее желание специалистов поделиться опытом использования космических технологий, рассказать и узнать о разрабатываемых и реализованных проектах. В этом главная причина идеи создания специализированного журнала по ДЗЗ, которая наконец-то нашла свое материальное воплощение!

Перед Вами первый номер журнала «ГЕОМАТИКА» – издания компании «Совзонд», предназначенного для широкого круга специалистов, работающих в различных областях геоинформатики и активно интересующихся новейшими достижениями в сфере ДЗЗ.

Почему мы назвали свой журнал «ГЕОМАТИКА»? На наш взгляд, это название как нельзя лучше отражает основную концепцию журнала. Что такое «Геоматика»? Это – совокупность методов и средств интеграции информационных технологий сбора, обработки и использования пространственных данных. Какова структура ДЗЗ, как отрасли? Это – получение, обработка и использование космических данных! Именно по этим направлениям Вы и сможете почерпнуть информацию на страницах журнала «ГЕОМАТИКА».

Помимо подробных статей по различным проблемам и решениям важное место в журнале займут материалы о знаменательных событиях и достижениях отрасли, международных конференциях, в том числе организуемых компанией «Совзонд». Читая

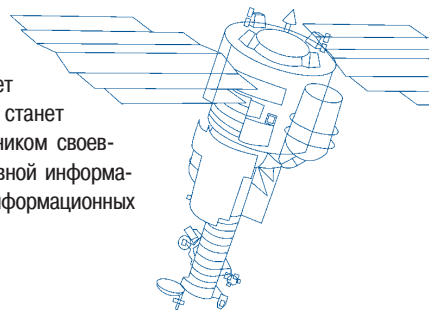
наш журнал, Вы будете в курсе новейших достижений в сфере ДЗЗ. Будут также публиковаться информационно-аналитические статьи по актуальным вопросам развития ДЗЗ. Надеемся, что Вам будет интересен и полезен наш справочный раздел.

Мы планируем посвящать каждый номер журнала определенным направлениям.

Тема первого номера – радиолокационная съемка Земли из космоса. Это крайне перспективное направление, которое до сих пор в недостаточной мере знакомо специалистам, работающим в геоинформационной сфере. С активным развертыванием в последнее время коммерческой группировки космических аппаратов сверхвысокого разрешения с радиолокационными системами появляются новые перспективы – становится реальным получение высокодетальных данных на большие территории в сверхоперативном режиме и вне зависимости от погодных условий. Одна из уникальных особенностей космических радиолокационных комплексов заключается также в возможности определения смещений земной поверхности с высочайшей точностью.

Мы рассчитываем, что статьи специалистов компании «Совзонд» и других организаций по вопросам получения, обработки и использования радиолокационных данных, окажут Вам помощь и послужат основой для появления новых идей в практическом применении технологий ДЗЗ.

Мы уверены, что уже с первого номера журнал «ГЕОМАТИКА» найдет своего читателя и станет авторитетным источником своевременной и объективной информации в области геоинформационных технологий.



Редакционная коллегия

Содержание

| | |
|---------------|---|
| Новости | 4 |
|---------------|---|

Данные дистанционного зондирования

| | |
|--|----|
| Д.Б. Никольский Современные тенденции в радиолокационном дистанционном зондировании Земли | 7 |
| Д.Б. Никольский Сравнительный обзор современных радиолокационных систем | 11 |

Обработка данных ДЗЗ

| | |
|--|----|
| О.Н. Колесникова Новые возможности программного обеспечения SARscape для обработки радиолокационных данных | 18 |
| Д.Б. Никольский Передовые направления в обработке и применении радиолокационных данных..... | 21 |
| Д.Б. Никольский Уровни обработки радиолокационных данных | 25 |
| Ю.Б. Баранов, Ю.И. Кантемиров, Е.В. Киселевский, М.А. Болсуновский Построение ЦМР по результатам интерферометрической обработки радиолокационных изображений ALOS PALSAR..... | 37 |
| Консалтинговый центр компании «Совзонд»..... | 46 |

Использование данных ДЗЗ

| | |
|--|----|
| Д.Б. Никольский Области применения радиолокационных данных | 47 |
| Ю.Б. Баранов, Ю.И. Кантемиров, Е.В. Киселевский, М.А. Болсуновский Мониторинг смещений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов с помощью комплекса космических и геодезических методов | 51 |

Наши конференции

| | |
|--|----|
| III Международная конференция «Космическая съемка – на пике высоких технологий»..... | 57 |
|--|----|

Справочный раздел

| | |
|--|----|
| Всемирная орбитальная группировка космических аппаратов ДЗЗ | 60 |
| Космические аппараты с радиолокационными системами ДЗЗ | 63 |
| Словарь терминов | 70 |
| Любимый город – взгляд из космоса. Алматы – «Южная столица» Казахстана | 72 |

Content

News4

Remote sensing data

D. Nikolskiy
Modern trends in Earth remote sensing with Synthetic Aperture Radar7

D. Nikolskiy
Comparative study of modern SAR systems..... 11

SAR processing

O. Kolesnikova
New capabilities of SARscape software for SAR processing 18

D. Nikolskiy
State-of-the-art trends in SAR processing21

D. Nikolskiy
Methods of SAR processing25

U. Baranov, U. Kantemirov, E. Kisilevskiy, M. Bolsunovskiy
DEM generation based on the result of ALOS PALSAR
data interferometry37

Sovzond consulting center46

Application of RS data

D. Nikolskiy
Main tendencies of SAR image exploitation47

U. Baranov, U. Kantemirov, E. Kisilevskiy, M. Bolsunovskiy
Ground movement monitoring through space and geodetic
methods in the area of hydrocarbons mines51

Our conferences

III international conference «Remote Sensing – the Synergy of High
Technologies»57

References

Worldwide orbital constellation of remote sensing satellites60

Satellites with radar system of remote sensing63

Glossary70

Near and dear city – the view from space (Almaty)72



**Учредитель – Компания
«Совзонд»**

**Издатель – Информационное
агентство «ГРОМ»**

Редакционная коллегия

М.А. Болсуновский,
А.М. Ботрякова,
В.В. Грошев,
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

Перепечатка материалов без
разрешения редакции запрещается.

Тираж 999 экз.

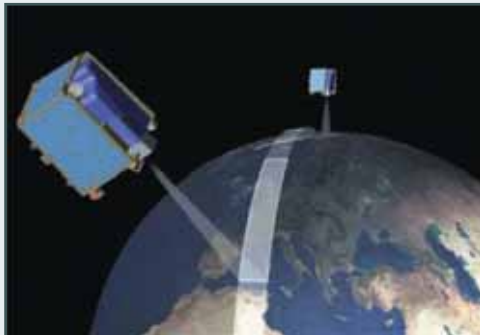
Цена свободная

Номер подписан в печать
21.10.2008 г.

Предпечатная подготовка
Информационное агентство «ГРОМ»

Печать
Издательство «Перспект»

ПЯТЬ СПУТНИКОВ ДЗЗ СЕРИИ RAPIDEYE (ГЕРМАНИЯ) БЫЛИ ЗАПУЩЕНЫ ОДНОЙ РАКЕТой-НОСИТЕЛЕМ С КОСМОДРОМА БАЙКОНУР



29 августа 2008 г. с космодрома Байконур ракетой-носителем «Днепр» (Россия) были запущены и выведены на солнечно-синхронную орбиту высотой 630 км сразу 5 мини-спутников ДЗЗ серии RapidEye.

Владельцем космических аппаратов является

компания RapidEye AG (Германия). Спутники оснащены оптико-электронной аппаратурой для съемки земной поверхности в мультиспектральном режиме с пространственным разрешением до 5 м. Вес каждого спутника RapidEye составляет 175 кг.

Площадь ежедневной съемки – 4 млн. кв. км, ширина полосы – 77 км. Повторная съемка одного и того же района Земли проводится ежедневно.

RapidEye – первый в Германии коммерческий гражданский проект дистанционного зондирования Земли. Компания RapidEye AG планирует предоставлять потребителям данные ДЗЗ разного уровня обработки: от необработанных снимков до ортотрансформированных на основе цифровых моделей рельефа изображений (с радиометрической и геометрической калибровкой).

Маневренность, большие площади съемки и возможность их ежедневного повтора, а также высокое пространственное разрешение делают использование данных, полученных от группировки спутников RapidEye, особенно перспективным в сельском и лесном хозяйстве; для целей мониторинга чрезвычайных ситуаций и охраны окружающей среды; для решения задач планирования и управления в нефтегазовой и транспортной сфере.

НА ОРБИТУ ВЫВЕДЕН КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЗЗ GEOEYE-1 С БЕСПРЕЦЕДЕНТНЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ – 41 СМ



4 сентября 2008 г. с авиабазы Ванденберг ракетой-носителем Delta II был запущен и выведен на околоземную солнечно-синхронную орбиту высотой 681 км спутник GeoEye-1.

Владельцем космического аппарата является компания GeoEye (США). Спутник оснащен оптико-электронной аппаратурой для съемки земной поверхности в панхроматическом режиме с беспрецедентным пространственным разрешением 41 см и в мультиспектральном режиме с разрешением 1,65 см. Вес спутника составляет 1955 кг.

Площадь ежедневной съемки в панхроматическом режиме – 700 тыс. кв. км, ширина полосы съемки – 15,2 км. Повторная съемка одного и того же района Земли будет проводиться каждые 1-3 дня (в зависимости от широты). Важно отметить, что пространственное позиционирование спутника GeoEye-1 будет выполняться с небывалой для коммерческих спутников точностью – 3 м.

Данные с КА GeoEye-1 будут идеальной основой для крупномасштабного картографирования. Маневренность, большие площади съемки, стереорежим, а также высочайшее пространственное разрешение, делают использование данных, полученных со спутника GeoEye, особенно перспективным в гра-

достроительной сфере и муниципальном управлении; для инвентаризации объектов в нефтегазовой, энергетической и транспортной сфере; в сельском и лесном хозяйстве; для мониторинга чрезвычайных ситуаций и охраны окружающей среды.

Предполагается обеспечить заказчиков следую-

щими уровнями обработки изображений: Geo (геометрическая коррекция), GeoProfessional (ортотрансформирование), GeoStereo (стереоданные), а также производной продукцией, такими как: цифровые модели местности и рельефа, мозаики и тематические карты.

КОМПАНИЯ «СОВЗОНД» ПРИНЯЛА УЧАСТИЕ ВО II МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ОСВОЕНИЕ РЕСУРСОВ НЕФТИ И ГАЗА РОССИЙСКОГО ШЕЛЬФА: АРКТИКА И ДАЛЬНИЙ ВОСТОК» – ROOGD-2008



II Международная конференция «Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток» (ROOGD-2008), организованная ООО «ВНИИГАЗ», прошла 17-18 сентября 2008 г. в п. Развилка (Московская область).

Компания «Совзонд», единственный представитель геоинформационной отрасли среди спонсоров Форума, приняла в нем активное участие.

Шельф арктических и дальневосточных морей России представляет широкую перспективу для развития морской добычи нефти и газа. В то же время суровые климатические и ледовые условия повышают уровень сложности при освоении открытых здесь запасов угле-

водородов. Конференция была посвящена вопросам геологии, разработки, обустройства и освоения морских нефтегазовых месторождений, основным тенденциям в развитии подводной техники и технологии добычи нефти и газа, промышленной и экологической безопасности работ на шельфе Арктики и Дальнего Востока, созданию нормативной базы. В конференции приняли участие руководители и специалисты ОАО «Газпром», ООО «ВНИИГАЗ», ОАО «Зарубежнефть», ГНЦ ВНИИГеосистем и других крупных российских и зарубежных компаний.

От компании «Совзонд» с докладами выступили заместитель генерального директора компании М.А. Болсуновский («Центр космического мониторинга для решения задач нефтегазового комплекса») и специалист по обработке радиолокационных данных Д.Б. Никольский («Использование радиолокационной съемки для мониторинга ледовой обстановки»).

Во время проведения конференции проходила выставка «Техника и технология освоения морских месторождений». На выставочном стенде компании «Совзонд» можно было ознакомиться с образцами снимков с космических аппаратов высокого разрешения, получить демо-версии программного комплекса ENVI для обработки данных ДЗЗ и дополнительных модулей SARscape Basic и SARscape InSAR для обработки материалов радиолокационных съемок.

КОМПАНИЯ «СОВЗОНД» ПРИНЯЛА УЧАСТИЕ В VII МЕЖДУНАРОДНОМ ИНВЕСТИЦИОННОМ ФОРУМЕ «СОЧИ-2008»



VII Международный инвестиционный форум «Сочи-2008» прошел 18-21 сентября 2008 г. Организаторы Форума – Министерство экономического развития РФ, МИД РФ, Министерство регионального развития РФ,

Аппарат Полномочного представителя Президента РФ в Южном ФО, Торгово-промышленная палата РФ и Администрация Краснодарского края, при поддержке Президента и Правительства РФ.

Основная цель Форума – организация международного центра общения наиболее авторитетных

представителей российского и зарубежного бизнеса, научных кругов и государственных структур по вопросам, связанным с модернизацией и инвестиционным развитием экономики России.

В форуме приняли участие около 3500 представителей федеральных органов законодательной и исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов РФ, российских и зарубежных деловых и научных кругов, дипломатических и торговых миссий, средств массовой информации.

На открытии Форума выступил Председатель Правительства РФ В.В. Путин.

Мероприятие включало в себя конференцию, круглые столы, выставку. Специалисты компании «Совзонд» приняли активное участие в заседании круглого стола по теме «Перспективы градостроительного развития Краснодарского края. Инвестиционный потенциал». Они рассказали о научно-технических достижениях последних лет в области создания и развития космических средств дистанционного зондирования Земли, технологиях обработки, хранения, интерпретации и использования получаемых данных, особенно в градостроительной сфере.

КОМПАНИЯ DIGITALGLOBE (США) И ЕЕ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИЯ «СОВЗОНД» НАЧАЛИ КОММЕРЧЕСКОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ НОВЕЙШИХ СЕРВИСОВ IMAGECONNECT И IMAGEBUILDER

В 2008 г. компания DigitalGlobe (США) и ее дистрибьютор компания «Совзонд» начали коммерческое распространение новейших сервисов ImageConnect и ImageBuilder, позволяющих обеспечить мультипользовательский доступ к высокоточным данным со спутников QuickBird и WorldView-1 непосредственно из геоинформационной среды предприятия, а также создавать и обновлять собственные геопорталы и сайты.



За последние несколько лет был получен огромный архив данных космической съемки с разрешением 50-70 см, обеспечивающий покрытие территории по всему земному шару. Сервис ImageConnect является уникальным расширением к ГИС-программам, позволяющим загрузить пространственно-привязанные космические изображения высокого разрешения в геоинформационную среду пользователя непосредственно из архива компании

DigitalGlobe. При этом происходит мгновенное отображение спутниковых данных в программном обеспечении заказчика с автоматическим преобразованием в нужную проекцию (установленную в программе на момент отбора данных). В настоящее время сервис ImageConnect могут приобрести пользователи следующих программных средств: ESRI (ArcGIS 8.x и 9.x), MapInfo Professional, Autodesk (Map 3D, Land Desktop, Raster Design, Civil 3D, и AutoCAD).

Сервис ImageConnect уже используется рядом крупных корпоративных пользователей за рубежом и доказал свою высокую эффективность.



ImageBuilder – это средство разработчика, обеспечивающее связь с сервером и базой данных снимков компании DigitalGlobe, позволяющее пользователю выкладывать в Интернет изображения со спутников QuickBird и WorldView-1, обновляя космическими снимками или создавая с нуля собственные геопорталы и сайты. При помощи ImageBuilder возможно также использование космических изображений в любых мобильных устройствах связи, подключенных к сети Интернет.

Основным достоинством ImageBuilder является возможность интеграции спутниковых изображений с векторными данными пользователя, что позволяет создавать картографические геопорталы.

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 метеоусловий.

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. км² 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-H₂O, 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).

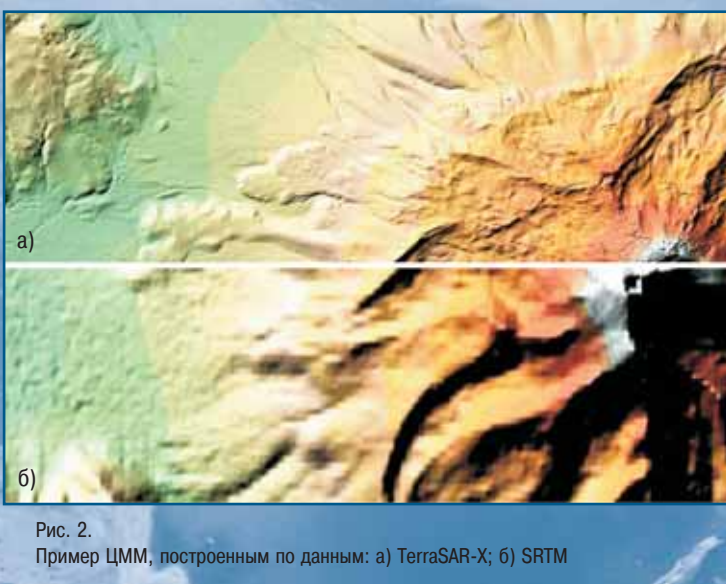


Рис. 2.
Пример ЦММ, построенным по данным: а) TerraSAR-X; б) SRTM

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.

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.

Сравнительный обзор современных радиолокационных систем

В настоящее время идет активное развитие рынка данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в различных направлениях: это и возможность использования новых, ранее недоступных данных, и появление новых технологий обработки, новых решений на базе данных ДЗЗ. Можно четко выделить два несколько обособленных направления получения пространственной информации о земной поверхности: съемка в видимом и инфракрасном диапазонах длин электромагнитных волн – пассивное ДЗЗ (за исключением теплового ИК-диапазона) и съемка в сантиметровом (радио) диапазоне – активное ДЗЗ. Данные, получаемые в оптическом диапазоне, используются достаточно широко и технологии их обработки давно разработаны, в отличие от радиолокационных данных, активное применение которых для решения широкого круга задач – от классификации и до построения точных цифровых моделей местности/рельефа (ЦММ/ЦМР) и картограмм смещений земной поверхности – в России только начинается. Можно выделить ряд основных тенденций развития в этой области:

- увеличение пространственного разрешения и как результат точности радиолокационных данных;
- уменьшение периода между повторными съемками;
- возможность интерферометрической съемки;
- возможность многополяризационной съемки;
- использование данных, полученных в различных

радиодиапазонах разнообразными радиолокационными системами;

- запуск тандемных систем для проведения единовременной интерферометрической съемки.

В настоящее время на орбите находится 8 космических аппаратов с радиолокационными системами, данные с которых доступны широкому кругу пользователей. Для достижения хороших результатов при решении различных задач необходимо корректно выбрать исходные данные. Цель этого обзора – показать, какие современные радиолокационные данные представлены на ранке ДЗЗ, и какие классы задач можно решать с помощью тех или иных данных.

ОСОБЕННОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ

Радиолокационное дистанционное зондирование Земли проводится при длинах волн от 1 мм до 1 м и соответствующих им частотах от 0,3 до 300 ГГц. Радиолокатор направляет луч электромагнитных импульсов на объект (около 1500 импульсов в секунду). Часть импульсов отражается от объекта, и радиолокационная система измеряет как характеристики отраженного сигнала, так и расстояние до объекта в зависимости от времени прохождения сигнала до объекта и обратно. Для радиолокации используют микроволновые радиодиапазоны, параметры которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Области применения микроволновых радиодиапазонов

| Области применения | Диапазон |
|--|-----------|
| Воздушные радиолокационные системы | Ka, K, Ku |
| Воздушные и космические радиолокационные системы | X, C, L |
| Космические радиолокационные системы | S, P |

Диапазоны Ka, K и Ku применяются для воздушных радиолокационных систем, но они уже довольно редки. Диапазоны X, C и L, как правило, используются для получения данных как с воздушных летательных аппаратов, так и из космоса, а S и P – для зондирования с космических аппаратов (КА). Радиосигнал способен проникать через облачность и дождевые капли. Эта способность определяется его длиной волны. При длине волны более 2 см радиосигнал гарантированно проникает через облачность, а при длине волны 3-4 см и больше – и через дождевые капли. Длина волны существенно влияет на амплитуду отраженного радиолокационного сигнала,

а также на характеристики обратного рассеяния от подстилающей поверхности. Радиолокация в диапазоне L (длина волны 15,0-30,0 см) обеспечивает сильные отраженные сигналы, главным образом от более крупных объектов земной поверхности, а также частичное проникновение радиоволн сквозь снежный и растительный покровы и, при определенных условиях, через песок и почву. Более короткие волны, используемые в диапазонах C (3,8-7,5 см) и X (2,4-3,8 см), позволяют выявить границы малых объектов местности, кроме того, излучение в этих диапазонах имеет тенденцию более сильно отражаться от растительного и снежного покровов, а также от почвы.

Съемка радиолокационными системами существенно отличается от съемки системами в оптическом диапазоне, так как она выполняется при значительном отклонении от надира. Для радиолокационных данных система координат снимка выглядит следующим образом: азимут – направление, параллельное траектории, и дальность – наклонное расстояние от радиолокатора до поверхности. Значения углов съемки меняются в зависимости от типа радиолокатора и режимов съемки и могут достигать от 8°

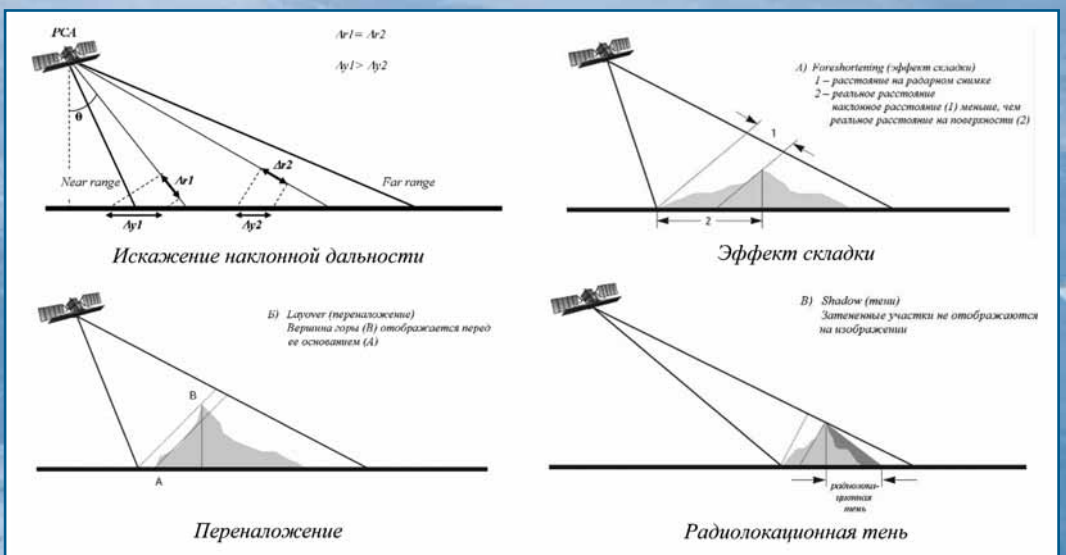


Рис. 1. Эффекты, возникающие на радарных снимках, обусловленные геометрией съемки и рельефом местности

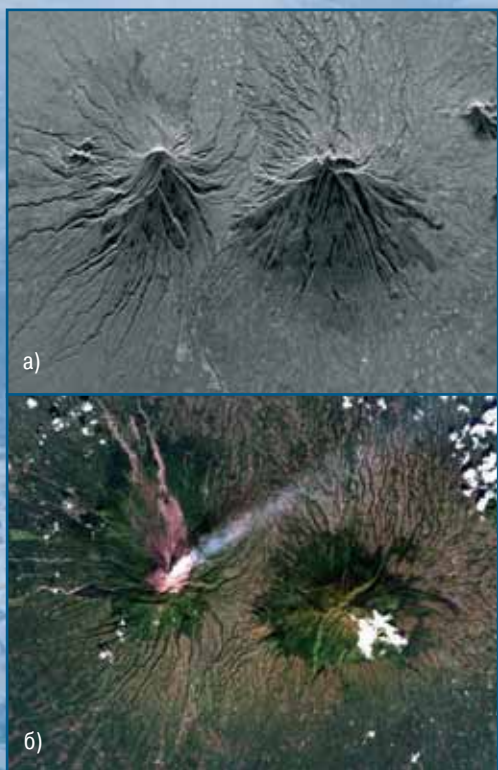


Рис. 2
Сравнение радиолокационного снимка и снимка в оптической зоне спектра:
а) TerraSAR-X (режим SCANSAR, пространственное разрешение 16 м);
б) Landsat-7 (комбинация каналов: 3-2-1, пространственное разрешение 30 м)

до 60° . Такая геометрия съемки вызывает ряд геометрических искажений на снимках (рис. 1): искажение наклонной дальности (неравномерность разрешения снимка по дальности), эффект складки, переналожения и радиолокационные тени. Устранение этих эффектов выполняется при ортотрансформировании снимков по точной ЦМР. На рис. 2 приведены два изображения, наглядно демонстрирующие значительные отличия в геометрии съемки между радиолокационными данными и данными в оптической зоне спектра.

Радиолокационные изображения имеют ряд радиометрических особенностей: на снимках даже для однородной поверхности проявляются значительные вариации уровня яркости между соседними пикселями, создавая зернистую текстуру. Это – спекл-шум, который возникает из-за того, что результирующее значение конкретного пиксела получается в результате сложения множества значений, фиксируемых системой при различных положениях приемной антенны КА, движущегося по орбите. При получении изображений используется принцип радиолокации с синтезированной апертурой (РСА либо SAR). Все современные космические радиолокационные системы – это SAR-системы, и на всех радиолокационных изображениях присутствует спекл-шум. Применение именно SAR-систем вызвано тем, что при небольших размерах реальных антенн радиолокационных систем невозможно получить высокое пространственное разрешение. При использовании же синтезированной апертуры, когда небольшая бортовая антенна последовательно формирует антенную решетку на достаточно боль-

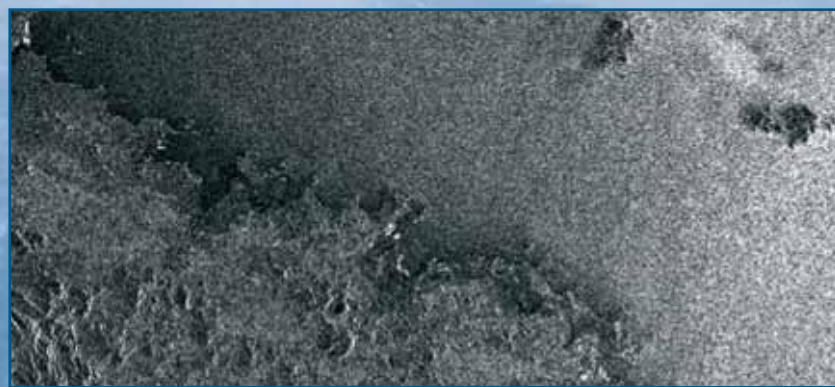


Рис. 3
Радиометрические искажения (снимок ERS-1)

шом участке орбиты, удается достигнуть высокого пространственного разрешения. Спекл-шум (зернистость на рис. 3) – это мультипликативное искажение, т. е., чем сильнее сигнал, тем сильнее искажение. Для устранения спекл-шума используются различные типы фильтрации.

Наряду со спекл-шумом, на изображении присутствуют радиометрические искажения, вызванные геометрией съемки. Так как съемка проводится под различными углами для различных точек снимка, то появляется неоднородность яркости по полю снимка: при малом угле – ярче, чем при большем угле съемки (рис. 3). Данное искажение устраняется путем введения различных коэффициентов усиления антенны по полю снимка.

Еще одна группа искажений вызвана геометрией съемки и рельефом поверхности: это области затенений и переналожений, они относятся к геометрическим искажениям, но также влияют на радиометрию.

Многие из современных радиолокационных спутниковых систем ДЗЗ (ALOS-PALSAR, TerraSAR, Radarsat-2 и др.) позволяют получать изображения при различной поляризации излучения. Поляризация определяется ориентацией вектора электромагнитной индукции, при взаимодействии с объектом поляризация изменяется и несет в себе информацию об объекте.

Параллельная поляризация – направленный и принятый сигнал имеет одну и ту же поляризацию – HH и VV. С какой поляризацией облучается поверхность, с такой же поляризацией принимается от-

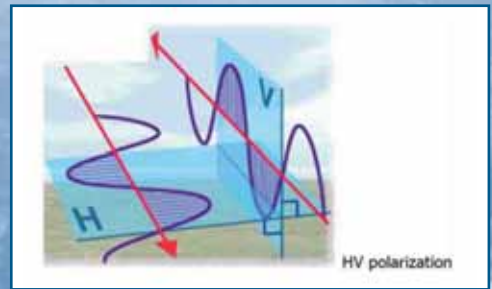


Рис. 4
Принцип кроссполяризации

раженное излучение. Такие типы поляризации имеют тенденцию фиксировать отраженное рассеяние волн от объектов, ориентированных в том же самом направлении, что и падающая радиоволна.

Кроссполяризация – направленный и принятый сигнал имеет различную поляризацию – HV и VH. Облучение объекта идет при одной поляризации, а принимается отраженный сигнал с другой поляризацией. Такие типы поляризации позволяют фиксировать отраженные сигналы, образующиеся в результате объемного рассеивания, которое деполаризует энергию как, например, в случае сигналов, отраженных от земной поверхности и стволов деревьев. На рис. 4 схематично показан принцип кроссполяризации.

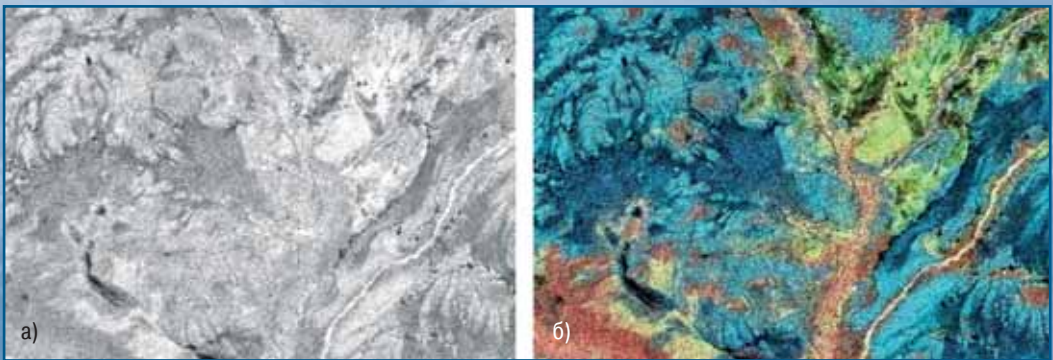


Рис. 5
Радиолокационное изображение, полученное с ALOS PALSAR PLR:
а) поляризация HH (слева);
б) композитное поляриметрическое изображение HV-HH-VV (справа)

Изображения, получаемые при различных поляризациях радиоизлучения, позволяют более корректно проводить классификацию объектов подстилающей поверхности. Как видно из приведенного примера (рис. 5), при использовании ложноцветового поляриметрического композитного изображения можно четко классифицировать объекты: голубые и синие тона – это низкорослая растительность, красные – лес, зеленые – болотная растительность, более темные оттенки свидетельствуют об увлажнении поверхности. В данном случае по снимку с единичной поляризацией достаточно сложно различить низкорослую растительность и лес, поскольку тонкие отличия минимальны.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ (SAR-СИСТЕМ)

В настоящее время в дополнение к восьми КА с радиолокационными системами, находящимися на околоземной орбите, планируется запуск довольно большого числа новых космических аппаратов. Основные технические характеристики действующих и планируемых к запуску КА с радиолокационными системами приведены в табл. 2.

Данные существующих радиолокационных систем можно разделить на несколько групп:

- среднего разрешения (ERS и ENVISAT);

Таблица 2

Современные и перспективные космические радиолокационные системы ДЗЗ

| Наименование радиолокационных систем | Страна | Дата запуска, год | Диапазон | Периодичность, дней | Съемка | | |
|--------------------------------------|-------------|-------------------|----------|---------------------|--------|--------|-----|
| | | | | | ПР, м | ПС, км | ПЛ |
| Действующие системы | | | | | | | |
| ERS-2 | Европа | 21.04.1995 | C | 35 | 30 | 100 | – |
| Radarsat-1 | Канада | 04.11.1995 | C | 24 | 8 | 50 | – |
| Envisat /ASAR | Европа | 01.03.2002 | C | 35 | 25 | 100 | +/- |
| ALOS / PALSAR | Япония | 24.01.2006 | L | 46 | 7 | 70 | + |
| COSMO-SkyMed-1* | Италия | 07.06.2007 | X | 16 | 1 | 10 | + |
| TerraSAR-X | Германия | 15.06.2007 | X | 11 | 1 | 10x5 | + |
| COSMO-SkyMed-2* | Италия | 08.12.2007 | X | 16 | 1 | 10 | + |
| Radarsat-2 | Канада | 14.12.2007 | C | 24 | 3 | 20 | + |
| Перспективные системы | | | | | | | |
| COSMO-SkyMed-3 | Италия | 2008 | X | 16 | 1 | 10 | + |
| Кондор-Э | Россия | 2009 | S | – | 1-2 | 10-20 | – |
| RISAT-1 | Индия | 2009 | C | 12 | 2 | 10 | + |
| TanDEM-X | Германия | 2009 | X | 11 | 1 | 10x5 | + |
| Huan Jing-1C (HJ-1C) | Китай | 2010 | S | 31 | 1 | – | – |
| SAOCOM-1A/1B | Аргентина | 2010 | L | 16 | 7 | 50 | + |
| Kompsat-5 | Южная Корея | 2010 | X | – | 1 | 5 | н/д |

Примечания.

ПР - максимальное пространственное разрешение, которое дает система.

ПС - полоса съемки, соответствующего режима.

ПЛ - возможность поляриметрической съемки (- нет, + есть, +/- частично, н/д - нет данных).

* Вопрос коммерческого распространения данных на территории России уточняется.

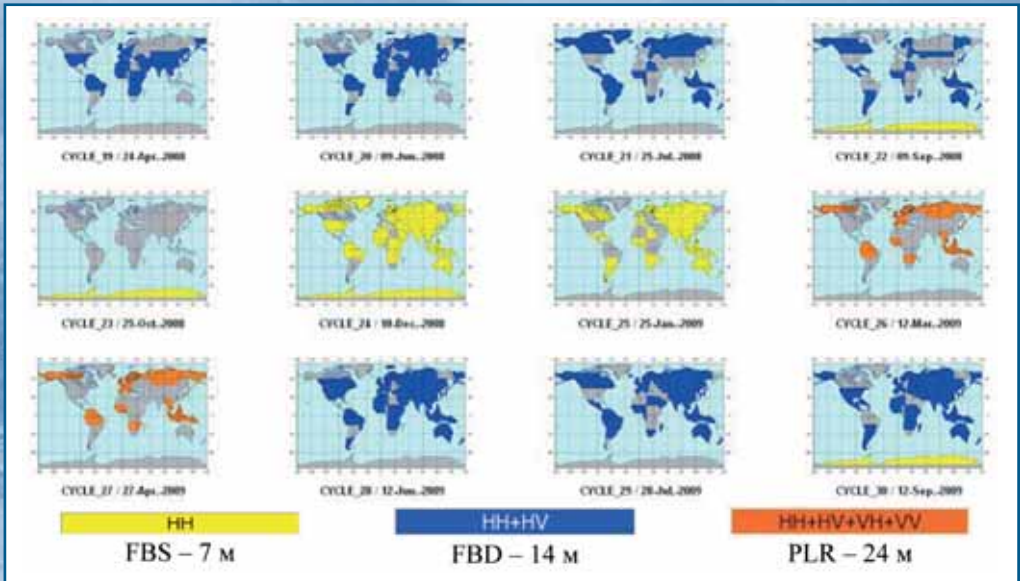


Рис. 6
План съемки земной поверхности с КА ALOS/PALSAR в трех режимах за период с апреля 2008 г. по сентябрь 2009 г.

- высокого разрешения (Radarsat и ALOS/PALSAR);
- сверхвысокого разрешения (TerraSAR-X, COSMO-SkyMed).

Приведенные системы также имеют возможность выполнять съемку с более низким разрешением, но большей территории (в табл. 2 приведено максимальное разрешение). Важным параметром является период повторения орбиты – это минимально возможное время для получения интерферометрической пары радиолокационных снимков той или иной системой, либо для получения снимка территории при одинаковой геометрии съемки. На сегодняшний день минимальный период имеет спутник TerraSAR-X (11 дней), а максимальный – ALOS/PALSAR (46 дней).

Следует отметить, что для всех находящихся на орбите радиолокационных систем, за исключением ALOS/PALSAR, существует возможность заказа новой съемки, причем даты проведения съемки согласовываются с заказчиком. Что касается данных ALOS/PALSAR, съемка данным аппаратом земной поверхности выполняется по специальной программе

и архив данных постоянно пополняется. На рис. 6 приведен план съемок земной поверхности с КА ALOS/PALSAR в трех основных режимах.

Как видно из приведенного плана (рис. 6), съемка территории России ведется и планируется регулярно. Основными съемочными режимами являются FBS (единичная поляризация) и FBD (двойная поляризация). Съемка в широкополосном режиме (WS с разрешением 100 м) также проводится на регулярной основе.

Стоимость радиолокационных данных варьируется в зависимости от разрешающей способности и типа радиолокационной системы. В табл. 3 приведена обобщенная информация по основным техническим параметрам и стоимости радиолокационных данных, получаемых различными SAR-системами.

Как видно из табл. 2 и табл. 3, на рынке представлены достаточно разнообразные радиолокационные данные как по разрешению, диапазонам съемки, так и по стоимости. По этим причинам при их использовании важно правильно выбрать необходимые снимки для решения конкретных задач.

Таблица 3

Основные технические параметры и стоимость радиолокационных данных

| Наименование радиолокационных систем | Режим съемки | ПР, м | Размер сцены, км | Поляризация ¹ | Стоимость данных ² , руб. | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
| | | | | | Архив ³ | | Новая съемка ⁴ | |
| | | | | | сцена | 1 км ² | сцена | 1 км ² |
| TerraSAR-X | HighSpot | 1 | 5×10 | HH/VV | 121500 | 2430 | 243000 | 4860 |
| | SpotLight | 2 | 10×10 | HH/VV или HH+VV | 121500 | 1215 | 243000 | 2430 |
| TerraSAR-X | StripMap | 3 | 30×50 | HH/VV/ HV/VH или HH+HV/ VV+VH/ HH+VV | 94500 | 63 | 135000 | 90 |
| | ScanSAR | 16 | 100×150 | HH/VV | 69300 | 4,6 | 99000 | 6,6 |
| Radarsat-2 | Ultra-Fine | 3 | 20×20 | HH/VV/ HV/VH | 138000 | 345 | 135000 | 337,5 |
| | Fine ⁵ | 8 | 50×50 | HH/VV/ HV/VH или HH+HV/ VV+VH | 93000 | 37,2 | 90000 | 36,0 |
| | Standard ⁵ | 25 | 100×100 | | 93000 | 9,3 | 90000 | 9,0 |
| | Wide ⁵ | 30 | 150×150 | | 93000 | 4,1 | 90000 | 4,0 |
| | ScanSAR Narrow ⁵ | 50 | 300×300 | | 93000 | 1,03 | 90000 | 1,0 |
| | ScanSAR Wide ⁵ | 100 | 500×500 | 93000 | 0,4 | 90000 | 0,36 | |
| | Extended High | 25 | 75×75 | HH | 93000 | 16,5 | 90000 | 16,0 |
| | Fine Quad-Pol | 12 | 25×25 | полная | 138000 | 220,8 | 135000 | 216 |
| Standard Quad-Pol | 25 | 25×25 | 138000 | | 220,8 | 135000 | 216 | |
| ALOS / PALSAR | Fine Beam Single (FBS) | 7 | 70×70 | HH/VV | 13750 | 2,8 | – | – |
| | Fine Beam Dual (FBD) | 14 | 70×70 | HH+HV/VV+VH | 13750 | 2,8 | – | – |
| | Polarimetric (PLR) | 24 | 35×70 | Полная | 13750 | 5,6 | – | – |
| | ScanSAR | 100 | 350×350 | HH/VV | 13750 | 0,1 | – | – |
| Radarsat-1 ⁶ | Fine | 8 | 50×50 | HH | 94375 | 37,8 | 90000 | 36,0 |
| | Standard | 25 | 100×100 | | 94375 | 9,4 | 90000 | 9,0 |
| | Extended High | 25 | 75×75 | | 94375 | 16,8 | 90000 | 16,0 |
| | Wide | 30 | 150×150 | | 94375 | 4,2 | 90000 | 4,0 |
| | Extended Low | 35 | 170×170 | | 94375 | 3,3 | 90000 | 3,1 |
| | ScanSAR Narrow | 50 | 300×300 | | 94375 | 1,05 | 90000 | 1,0 |
| | ScanSAR Wide | 100 | 500×500 | | 94375 | 0,4 | 90000 | 0,36 |
| Envisat / ASAR | Image (IM) | 25 | 100×100 | VV | 10800 | 1,1 | 18000 | 1,8 |
| | Alternating Polarisation (AP) | 25 | 100×100 | VV+VH | 10800 | 1,1 | 18000 | 1,8 |
| | Wide Swath (WS) | 100 | 400×400 | VV | 10800 | 0,07 | 18000 | 0,1 |
| ERS-2 | Image (IM) | 30 | 100×100 | VV | 6480 | 0,65 | 10800 | 1,1 |

Примечания.

¹ Знак «/» означает, что при заказе может быть выбрана какая-то одна поляризация из указанных.

² Стоимость данных приведена без учета НДС.

³ Для разных КА, данные являются архивными по истечении следующих сроков:

- TerraSAR-X - HighSpot и SpotLight (6 месяцев), StripMap и ScanSAR (12 месяцев);
- Radarsat-1 и Radarsat-2 после выполнения съемки;
- ALOS-PALSAR после выполнения съемки;
- ENVISAT, ERS-2 после выполнения съемки.

⁴ Стандартный режим съемки (при заказе новой съемки для ряда спутников существует понятие приоритетной съемки, при которой стоимость данных увеличивается).

⁵ При заказе данных Radarsat-2 возможно выбрать единичную или двойную поляризацию, при этом за двойную необходимо доплатить 5000 руб.

⁶ Архивные данные Radarsat-1, полученные до 1 января 1999 г. предлагаются по сниженной цене 37500 руб.

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.

Новые возможности программного обеспечения SARscape для обработки радиолокационных данных

Радиолокационные данные позволяют получать информацию о земной поверхности при любых погодных условиях, а также освещенности, что особенно актуально для большей части территории России. Они имеют целый ряд особенностей: сложность обработки из-за геометрических искажений, а также не простую интерпретацию изображений.

Компания Sarmap s.a. (Швейцария) совместно с Privateers и Aresys разработала программное обеспечение SARscape, которое предназначено для обработки материалов радиолокационных съемок, выполненных SAR-системами: ERS-1, ERS-2, Radarsat-1, Radarsat-2, Envisat, Alos (PALSAR), TerraSAR-X, Cosmo-Skymed 1, Cosmo-Skymed 2, а также оптических мультиспектральных данных. **SARscape** разработан как дополнительный модуль к программному комплексу ENVI. Его отличительной особенностью является возможность обработки и совмещения радиолокационных данных, полученных из любых предшествующих, существующих и будущих космических систем, что позволяет создавать специализированную продукцию с наиболее полной информацией. Благодаря современным алгоритмам работы с данными в оптическом диапазоне, реализованным в ENVI, обеспечивается полная совместимость между программами на основе радиолокационных и оптических данных, что позволяет говорить о данном программном средстве как о полноценном и мощном средстве для обработки данных ДЗЗ.

Кроме передовых функциональных возможностей обработки данных, SARscape также включает в себя модуль InSAR/DInSAR, который может использоваться для создания цифровых моделей рельефа (ЦМР) и вычисления смещения земной поверхности.

Радиолокаторы с синтезированной апертурой могут выполнять съемку различными способами. Очевидно, различные режимы съемки предполагают различные способы последующей обработки. Для их поддержки в пакете SARscape предусмотрено несколько модулей, два из которых определяют комплект поставки: **SARscape Basic** и **SARscape Interferometry**.

Модуль **SARscape Basic** включает следующие возможности обработки данных: фокусировку, корегистрацию, удаление спекл-шумов, извлечение характеристик (включая когерентность), геокодирование, радиометрическую калибровку и нормализацию, составление мозаики и классификации. Этот набор функций дополнен инструментами, включающими широкий диапазон возможностей: визуализацию и импорт изображений, интерполяцию цифровой модели рельефа (ЦМР), картографические и геодезические преобразования, а также возможности для обработки оптических мультиспектральных данных (ортотрансформирование, радиометрическую калибровку, искусственное увеличение пространственного разрешения и классификацию).

Модуль **SARscape Focusing** расширяет возможности фокусировки модуля SARscape для режимов Fine Beam и Standard Beam Radarsat-1 и данных Envisat ASAR режимы Image (изображение) и Wide Swath (широкая полоса захвата), а также для данных Alternating polarization (с переменной поляризацией), и данных Alos PALSAR (режимы FBS, FBD и PLR). В данном модуле используется w-k процессор с оптимизированным сохранением фазы.

SARscape Gamma-Gaussian Filter – модуль фильтрации, расширяющий возможности SARscape Basic, который включает различные радиолокационные фильтры. Алгоритмы фильтрации основаны на Гамма/Гауссовом распределении по сцене. Они эффективны для уменьшения спекл-шумов, так как сохраняют отражающие характеристики радиосигнала, структурные свойства и пространственное разрешение, особенно в сильно текстурированных радиолокационных изображениях.

Модуль **SARscape Interferometry** (рис. 1) предназначен для обработки интерферометрических радиолокационных данных (интерферометрия с двух соседних витков, InSAR) и дифференциальных интерферометрических радиолокационных данных (интерферометрия n-проходов, DInSAR) для создания ЦМР, получения последовательности изображений и построения карт смещения/деформаций земной поверхности. Основная идея метода заключается в формировании интерферограммы, которая представляет собой результат перемножения фазовой информации радиолокационных изображений местности, полученных идентичными съемочными SAR-системами из близко расположенных точек орбиты, одной и той же территории.

Модуль **SARscape ScanSAR Interferometry** расширяет возможности модуля SARscape Interferometry с использованием режима ScanSAR (данные ENVISAT Wide Swath), обеспечивая возможность получения интерферограмм на большие территории (500x500 км), а также позволяет получать комбинированные интерферограммы (один снимок – Wide Swath, второй – Image). Данный модуль содержит несколько функций для предварительной обработки таких данных, основная часть работы выполняется в модуле SARscape Interferometry.

Модуль **Polarimetry/Polarimetric Interferometry** позволяет проводить обработку поляриметрических

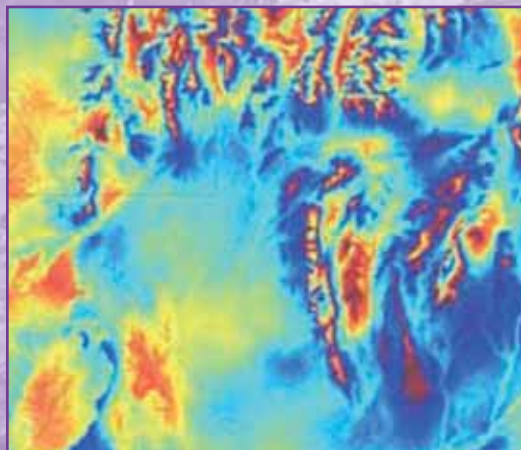


Рис. 1. Пример интерферограммы, построенной в программном модуле SARscape по интерферометрической паре снимков

SAR-данных (таких как Alos PALSAR): калибровку данных, синтезирование изображений, расчет различных параметров радиолокационных данных (энтропия, анизотропия, альфа), расчет поляриметрических интерферограмм (PolInSAR). Поляриметрические данные являются ценным источником информации о подстилающей поверхности и используются при классификации объектов.

Модуль **Persistent Scatterers (PS)**, в котором реализован метод исследования, обладающий уникальной способностью по измерению относительных изменений земной поверхности и объектов на миллиметровом уровне. В основе метода лежит совместная обработка большого массива снимков территории, полученных в течение нескольких лет. Все имеющиеся снимки трансформируются в геометрию основного снимка, а затем каждое изображение обрабатывается с целью локализации излучателей, таких как здания, мосты, скальные породы, отображающихся на радиолокационных изображениях в виде интенсивных вспышек, либо точек. Точное измерение миллиметровых подвижек осуществляется на фоне этих объектов. Результат представляет собой таблицу, в которой сравниваются измерения среднегодовых подвижек и временные серии подвижек для каждой точки измерений. Эти данные могут исполь-

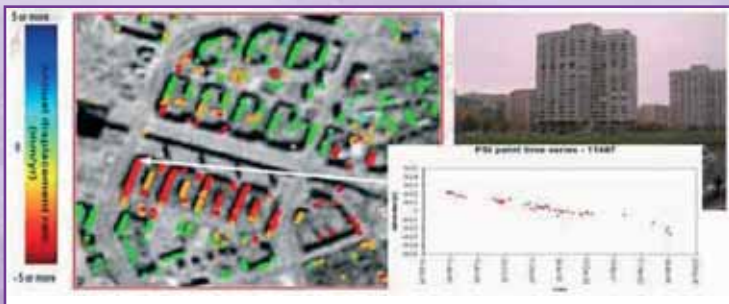


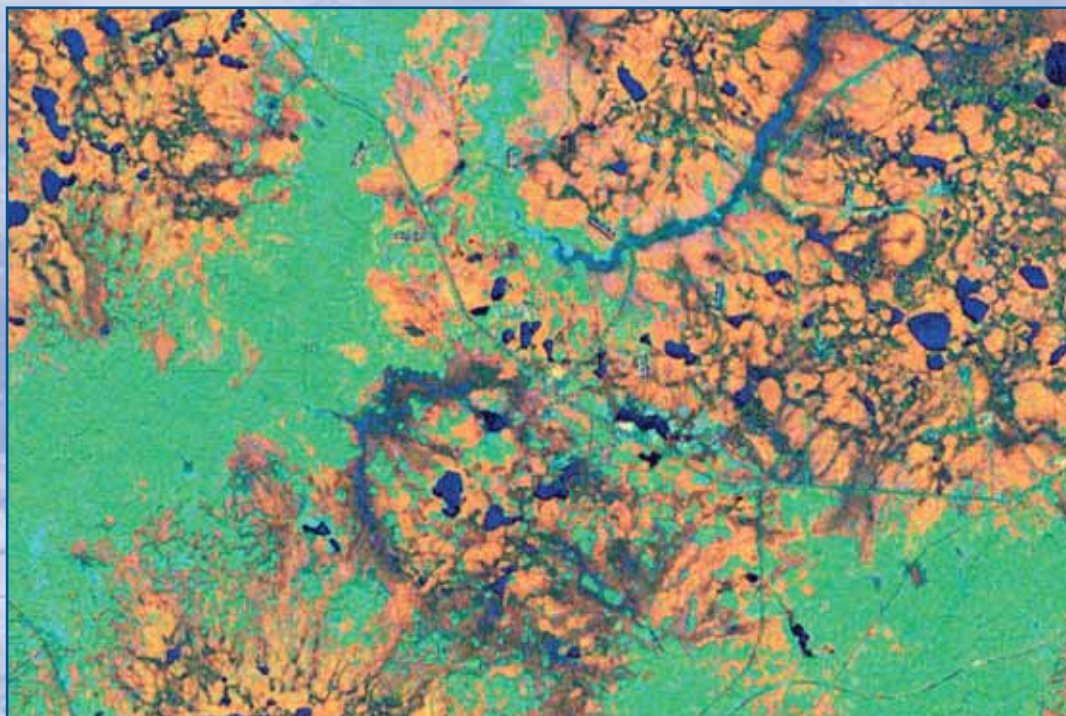
Рис. 2.
Санкт-Петербург. Пример просадки зданий (1991-2005 гг., данные ERS1-2)

зываются для различных строительных и инженерных проектов, так как определяют положение и масштабы оседаний и сдвигов на городских территориях с

имеют разрешение не хуже 1 м с возможностью построения высокоточных ЦМР на основе интерферометрических изображений.

субмиллиметровой точностью (рис. 2). Данный модуль поддерживает работу с данными ERS и Envisat (ASAR) и является уникальной программой.

В связи с запуском в 2007 г. радиолокационных систем нового поколения TerraSAR-X и Cosmo-SkyMed-1,2, актуальность использования материалов радиолокационных съемок и их обработки с помощью программных решений SARscape значительно возросла. Данные, получаемые с этих SAR-систем,



Композитное мультитременное изображение на основе карты когерентности. ALOS PALSAR, режим съемки FBS. Пространственное разрешение - 12,5 м. Кустовые технологические площадки добычи нефти. Ханты-Мансийский автономный округ, 2007 г.

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.

Передовые направления в обработке и применении радиолокационных данных

В настоящее время происходит активное развитие различных направлений и методик обработки радиолокационных данных (SAR-данных), причем большое число из них еще находится на экспериментальном, и даже на теоретическом уровнях. Рассмотрим наиболее перспективные из них с точки зрения практического использования.

1. SAR-данные – как пространственная основа.

Упор делается на минимизацию времени, проходящем между размещением заказа и поставкой данных заказчику. Причем речь идет как об изображениях (исправленных геометрически и радиометрически), так и о готовой конечной картографической продукции, такой как: топографические, ситуационные и тематические карты, карты изменений местности (в большей степени двухмерные). Изучение вертикальных просядок и подвижек является отдельным направлением. При этом обработка радиолокационных данных максимально автоматизируется (в первую очередь, в области выявления изменений на местности – change detection), что позволяет существенно сократить сроки предоставления готовой продукции. Таким образом, заказчик может получить обработанные актуальные данные и созданную по ним картографическую продукцию в сжатые сроки – в течение нескольких дней.

2. Измерение высот объектов местности, построение высокоточных ЦММ. Для решения этих задач используется радиолокационная интер-

ферометрия. Классическая методика интерферометрической обработки подразумевает использование данных, полученных при некоторых значениях базовых линий и, как правило, через определенный промежуток времени. Для достижения высокой точности, а также обеспечения полноты результирующей интерферограммы наиболее эффективно применение однопроходной интерферометрической съемки, которую практически невозможно реализовать для космических систем. В связи с этим разработчиками комплекса TerraSAR-X – TanDEM-X была предложена уникальная система из двух спутников, работающих в бистатическом режиме, которые будут вести однопроходную интерферометрическую съемку.

Для самолетных систем развивается другое направление – интерферометрия при различных значениях базовых линий (multi baseline interferometry). По сути, обрабатываются матрицы данных с различными базовыми линиями, что позволяет работать на высокодетальном уровне. Другая методика, подразумевающая использование серий интерферометрических изображений (минимум при двух базовых линиях), будет реализована в проекте TerraSAR-X – TanDEM-X. Также следует отметить, что для интерферометрической обработки данных сверхвысокого разрешения используются несколько отличные алгоритмы, чем при работе с данными среднего разрешения. В новой версии программного модуля



Рис. 1.
Иллюстрация методики SAR-tomography, представленная в среде GoogleEarth (цвет точек соответствует высотам объектов на местности)

SARscape (ПК ENVI), предлагаемого компанией «Совзонд», такая поддержка уже реализована.

Наряду с описанными методиками существует методика определения высот объектов на радиолокационных изображениях, которая называется SAR-tomography (рис. 1). Ее сущность заключается в определении высот объектов по серии изображений (около 5) и по одним и тем же объектам – отража-

телям (наподобие методики Persistent Scatterers). Используя данный метод, можно получить точные высоты объектов (как правило, объекты городской или промышленной застройки), но не цифровую модель местности.

3. Мониторинг деформаций различных объектов, выявление просадок. Методика определения просадок земной поверхности и сооружений на ней, основанная на совместном выявлении постоянных объектов (отражателей) на большой серии снимков (Persistent Scatterers), стала активно применяться относительно недавно. Причем для обработки использовались только снимки среднего пространственного разрешения. С появлением данных нового поколения с разрешением 1-3 м данная методика получила дальнейшее развитие, так как высокое разрешение обеспечивает на порядок большее количество объектов (отражателей) на 1 км², по которым выполняется определение величин деформаций, чем для данных среднего разрешения. Описанная методика развивается и в другом направлении: в целом принцип обработки остается неизменным, но объекты обработки (отражатели) выбираются на основе значений их когерентности (Coherence Scatterers).

Классическая дифференциальная интерферомет-

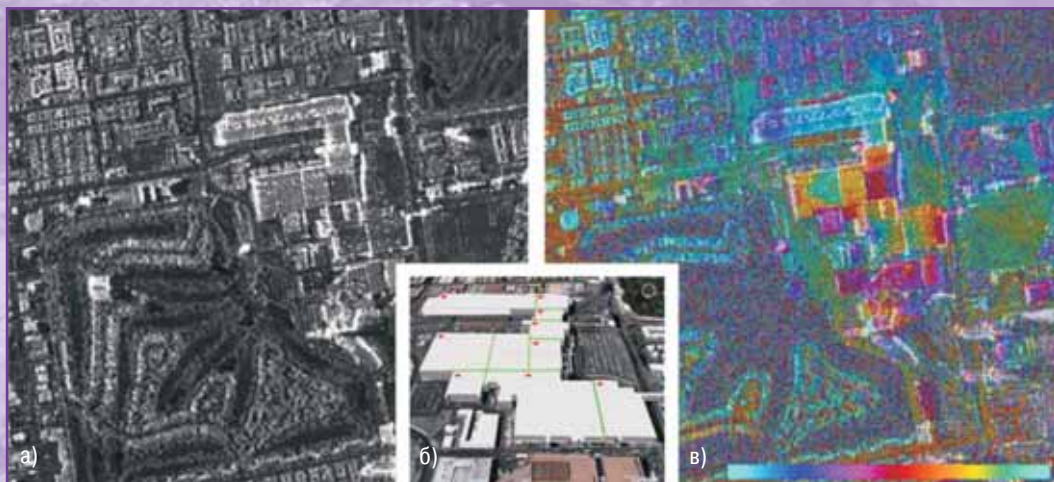


Рис. 2.
Пример мониторинга деформаций здания конгресс-центра (Лас-Вегас, США): а) амплитудное изображение; б) модель исследуемого здания; в) интерферограмма



Рис. 3.

Графическое представление методики определения скоростей автомобилей по данным TerraSAR-X в экспериментальном режиме съемки DRA

рия также остается актуальной для данных сверхвысокого разрешения. Изменения коснулись масштабов обработки: появилась возможность исследовать деформации отдельных крупных сооружений. На рис. 2 приведен пример мониторинга деформаций здания конгресс-центра (Лас-Вегас, США) по данным TerraSAR-X, выполненным в режиме съемки SpotLight. На интерферограмме (рис. 2), полученной за 44 дня, видны вертикальные смещения – одна цветовая полоса соответствует величине смещения в 1,55 см.

4. Определение скорости быстро движущихся объектов. По радиолокационным спутниковым данным можно уверенно определять скорость быстро движущихся объектов, например, автомобилей. Для этого используется методика – интерферометрия вдоль орбиты (Along-track Interferometry). Интерферометрическая пара представляет собой два изображения, полученных с одной орбиты, но с различными фазовыми центрами. Для отработки алгоритма использовались данные TerraSAR-X экспериментального режима Dual-Receive Antenna (DRA), при котором «разделение» на две субантенны (поддержка такого режима есть и у спутника Radarsat-2) позволяет получить два фазовых центра. В данном

случае определяющей является временная базовая линия, составляющая миллисекунды или секунды. Полученные изображения обрабатываются совместно. Так как имеется задержка во времени и объекты движутся со значительной скоростью, появляется возможность получить смещение этих объектов относительно их реального положения и направления движения, которое определяет скорость (методика основана на доплеровском смещении). На рис. 3 приведен пример, иллюстрирующий данную методику. Цветные стрелки на трассе показывают скорость и направление движения, а красные квадраты обозначают автомобили, по которым, собственно, и определяется скорость.

5. Поляриметрическая интерферометрия (Pol-inSAR). Использование поляриметрических данных в настоящее время развито достаточно хорошо. Одна из главных тенденций в этой области касается интерферометрических многополяризационных данных, причем акценты в использовании данных такого типа в последнее время изменились. Если раньше поляриметрические данные применялись для интерферометрии с целью оптимизации и улучшения значений когерентности, то теперь основным направлением является исследование рас-

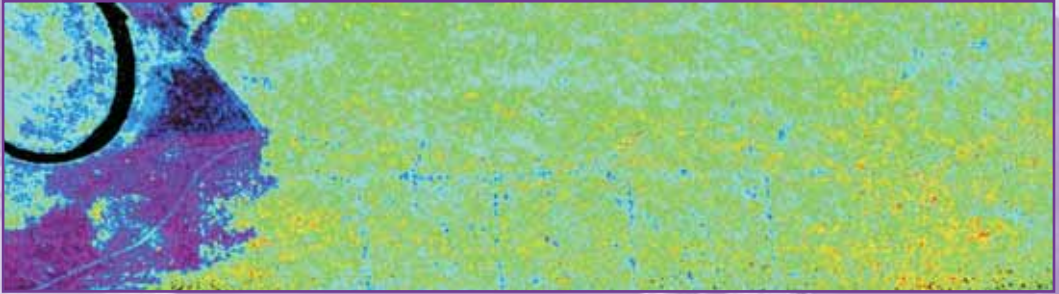


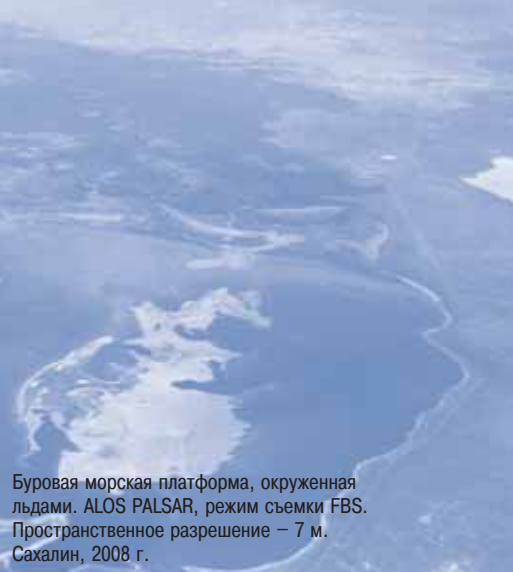
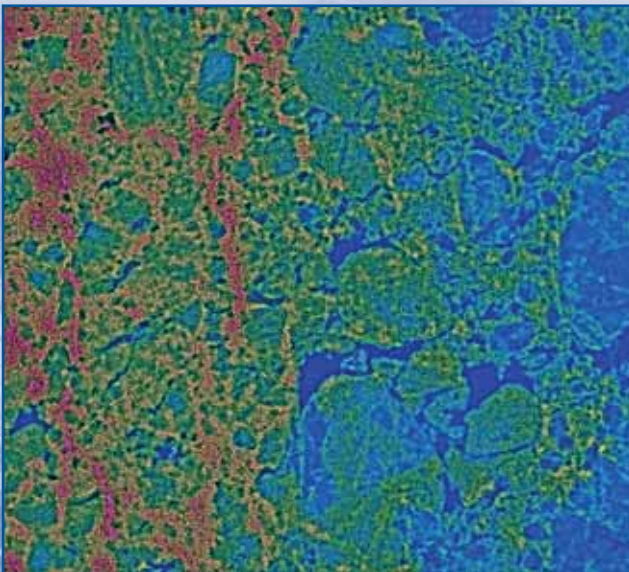
Рис. 4.
Карта (картограмма) высот растительности, построенная по данным интерферометрической многополяризационной съемки системой E-SAR в L-диапазоне

тительного покрова, в частности, определение высот деревьев. Комбинация интерферометрических и поляриметрических данных позволяет извлечь информацию о вертикальной структуре лесного покрова. На рис. 4 приведена карта с высотами растительного покрова. Описанная методика уже отработана на самолетных радиолокационных данных, а ее реализация на основе спутниковой съемки еще исследуется.

В статье рассмотрен только ряд наиболее интересных новых направлений применения радиолока-

ционных данных. В действительности возможных прикладных направлений гораздо больше. Так как данная отрасль развивается достаточно активно, в дальнейшем число сфер деятельности и объем конкретных задач, решаемых по данным дистанционного зондирования Земли в радиодиапазоне, будет только увеличиваться.

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



Буровая морская платформа, окруженная льдами. ALOS PALSAR, режим съемки FBS. Пространственное разрешение – 7 м. Сахалин, 2008 г.

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.

Уровни обработки радиолокационных данных

Для радиолокационных данных можно выделить пять основных уровней обработки. Названия этих уровней немного изменяются в зависимости от типа радиолокационной системы, но суть остается.

«Сырые», не фокусированные данные. Переход от сырых данных к следующему уровню обработки называется фокусировкой (так как используется принцип синтеза апертуры, то каждый «элемент» поверхности дает многократные отклики, при данной обработке эти отклики фокусируются в одно значение, таким образом осуществляется переход к следующему уровню обработки данных (SLC). Работа с «сырыми» данными может осуществляться только в специализированном программном обеспечении. Основным преимуществом, которое дает использование данных этого уровня является то, что весь цикл обработки может быть выполнен в одном программном обеспечении.

SLC (Single Look Complex). Это следующий уровень обработки, работа с которым также возможна только в специализированном программном обеспечении. Данные этого уровня обработки представляют собой радиолокационный снимок в комплексном виде, т. е. изображение имеет два слоя: первый – амплитудная информация сигнала (по сути, изображение поверхности), второй – фазовая информация (по фазе определяется удаленность от радиолокатора до конкретной точки поверхности). Изображение с SLC уровнем обработки

представляется в системе координат снимка, оно довольно сильно деформировано ввиду специфической геометрии съемки (рис. 1а). Для работы с данными такого уровня обработки также необходимо специализированное программное обеспечение. Изображения этого уровня подходят для выполнения любого вида обработки данных.

Амплитудное изображение. Для данного уровня обработки не поставляется фазовый слой, то есть имеется только изображение поверхности в радиодиапазоне. Изображение также представлено в системе координат снимка. Переход от уровня обработки SLC к данному типу осуществляется с помощью усреднения значений по азимуту и дальности для того, чтобы приблизительно привести размер пикселя к квадратному. Размер пикселя устанавливается в зависимости от типа данных (рис. 1б). Этот тип данных является переходным от специализированных к стандартным уровням обработки данных ДЗЗ.

Геокодированное изображение. Это снимок земной поверхности, имеющий пространственную привязку в заданной системе координат (рис. 1в). Для данного уровня обработки, особенно для горных районов, характерно наличие больших геометрических искажений, вызванных тем, что съемка проводится со значительным отклонением от надира. Для равнинных (плоских) территорий, где перепад высот небольшой, такой уровень обработки подходит для решения задач, не требующих высокой точности.

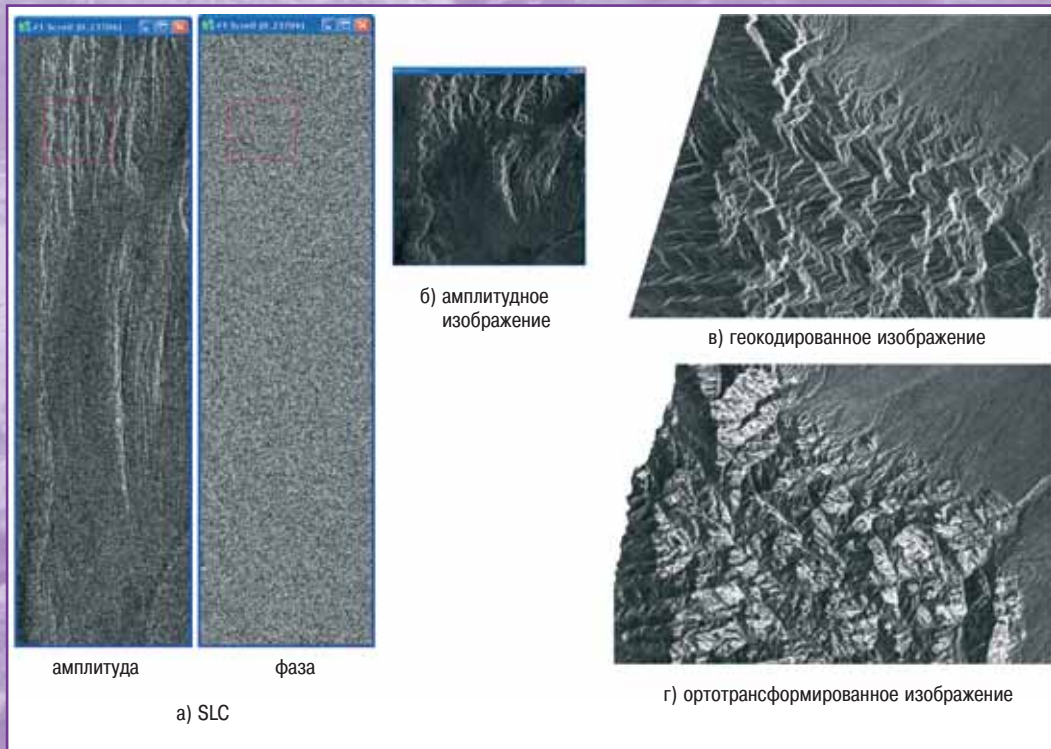


Рис. 1.
Уровни обработки радиолокационных данных

Ортотрансформированное изображение. Это снимок земной поверхности, имеющий пространственную привязку в заданной системе координат, на котором устранены геометрические искажения (рис. 1г). Для выполнения ортотрансформирования необходима ЦМР.

Геокодирование и ортотрансформирование данных может выполняться без использования наземных опорных точек, только по орбитальным данным, но, как и для снимков, получаемых в оптическом диапазоне, для достижения необходимой точности требуются опорные точки. Для того, чтобы опорные точки уверенно идентифицировались на радиолокационных изображениях, перед съемкой наземной поверхности необходимо установить специальные уголкового отражатели, которые дают яркий отклик на изображении.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ С РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ ДАННЫМИ

Данные космической радиолокационной съемки существенно отличаются от данных получаемых из космоса в оптическом диапазоне, в первую очередь, тем, что при съемке регистрируются амплитуда и фаза сигнала. Для работы с радиолокационными изображениями начальных уровней обработки требуется специализированное программное обеспечение.

Одним из наиболее современных программных средств позволяющим выполнять комплексную обработку радиолокационных данных является SARscape (среда ENVI). Это модульное программное обеспечение, в котором реализована поддержка современных

радиолокационных данных. Ниже приведено краткое описание модулей программного комплекса SARscape.

SARscape Basic. Модуль включает следующие возможности обработки данных: фокусировку, корегистрацию, удаление спекл-шумов, извлечение характеристик (включая когерентность), геокодирование, радиометрическую калибровку и нормализацию, составление мозаики и классификации. Этот набор функций дополнен набором средств, обладающих широким диапазоном возможностей: от визуализации изображения до импорта, интерполяции ЦМР и картографических и геодезических преобразований, а также возможностями для обработки оптических мультиспектральных данных (ортотрансформирование, радиометрическая калибровка, искусственное увеличение пространственного разрешения и классификация).

SARscape Focusing. Модуль расширяет возможности фокусировки модуля SARscape для режимов (Fine Beam и Standard Beam) RADARSAT-1 и данных ENVISAT ASAR для переменной поляризации, а также данных ALOS PALSAR.

SARscape Gamma-Gaussian Filter. Модуль включает специализированные алгоритмы фильтрации радиолокационных данных, основанные на Гамма/Гауссовом распределении.

SARscape Interferometry. Модуль предназначен для обработки интерферометрических серий радиолокационных изображений для создания ЦМР (двухпроходная интерферометрия, InSAR) и построения картограмм смещения земной поверхности (n-проходная интерферометрия, DInSAR).

SARscape ScanSAR Interferometry. Расширяет функции модуля SARscape Interferometry с использованием режима ScanSAR, обеспечивая возможность получения интерферограмм на большие территории (500x500 км).

Polarimetry/Polarimetric Interferometry. Предназначен для обработки поляриметрических SAR-данных (ALOS PALSAR): калибровки данных, возможности синтезирования изображений, расчета различных параметров радиолокационных данных (энтропия, анизотропия, альфа), расчета поляриметрических интерферограмм (PolInSAR).

Persistent Scatterers (PS). Обеспечивает определение относительных вертикальных смещений объектов на земной поверхности на миллиметровом уровне.

Распространение и техническая поддержка программного комплекса SARscape на территории России и стран СНГ осуществляется компанией «Совзонд».

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ

Радиолокационные изображения используются для решения широкого круга задач. Они, во-первых, могут дать дополнительную информацию о состоянии поверхности и объектов, наряду с данными в оптическом диапазоне. Во-вторых, радиолокационные данные могут служить источником уникальной информации, которую можно получить либо только по радиолокационным данным, либо по наземным измерениям. Ниже приводятся основные направления использования радиолокационных данных.

Одиночные снимки используются либо дополнительно к оптическим, либо как альтернатива оптическим данным. При качественно выполненном ортотрансформировании изображения могут применяться как пространственная основа для решения задач по топографическому и тематическому картографированию местности. Для радиолокационных данных возможность получения изображения конкретного района в сжатые сроки достаточно высока (до нескольких дней), в отличие от оптических, где срок напрямую зависит от метеоусловий. Таким образом, в экстренных, срочных ситуациях радиолокационные данные незаменимы как единственный источник информации.

Работа с поляриметрическими изображениями – это отдельное направление, существенно улучшающее возможности по классификации объектов на радиолокационных изображениях. Поляриметрические данные дополнительно позволяют улучшить качество интерферометрической обработки, так как возможно использовать четыре изображения, полученные при различных поляризациях вместо одного при параллельной поляризации данных.

При использовании серий снимков, полученных при одной и той же геометрии, во-первых, появляется возможность рассматривать изменения, происходящие на местности, а, во-вторых, наличие серии снимков обеспечивает их совместную фильтрацию, при которой устраняется спекл-шум, а разрешающая способность, в отличие от стандартных алгоритмов фильтрации, не ухудшается.

Совместная обработка данных в оптическом диапазоне и радиолокационных данных применяется для получения композитных изображений, которые содержат в себе информацию о подстилающей поверхности, полученную в разных методах космической съемки.

Работа со стереоснимками, полученными в радиодиапазоне (радарграмметрия) применяется не очень широко, так как точность ЦММ, получаемых при такой обработке невысокая, в отличие от интерферометрии.

Интерферометрическая обработка пар снимков с целью построения ЦММ является одним из наиболее перспективных направлений в использовании радиолокационных снимков, так как иногда из-за метеословий и высокой стоимости получить достаточно современную и точную ЦМР практически невозможно.

Интерферометрическая обработка серий радиолокационных снимков с целью получения информации о смещениях/просадках, происходящих на местности, позволяет получить величины смещений на сантиметровом уровне. Основным результатом при дифференциальной интерферометрической обработке являются картограммы смещений.

Интерферометрическая обработка большой серий (15-20) радиолокационных изображений (Persistent Scatterers) позволяет получать точечные значения вертикальных смещений на миллиметровом уровне. Используется преимущественно для городских территорий и районов с развитой инфраструктурой.

Рассмотрим более подробно методики обработки радиолокационных данных применительно к перечисленным выше направлениям использования на осно-

вании технологических цепочек и алгоритмов, реализованных в специализированном программном комплексе SARscape 4.0, который предназначен для проведения комплексной обработки радиолокационных данных.

ОДИНОЧНЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ И СЕРИИ СНИМКОВ

Одиночные снимки могут использоваться как основной, так и вспомогательный источник информации о поверхности. Для данной группы задач снимки выбираются в соответствии с необходимым рабочим масштабом (определяется разрешающей способностью, табл. 1), а также возможностью заказа новой съемки, либо наличием данных в архиве. Уровень обработки данных может быть различным, в зависимости от решаемых задач.

Таблица 1

Соответствие разрешающей способности и масштаба

| Наименование SAR-систем | Максимальное пространственное разрешение, м | Масштаб |
|-------------------------|---|-----------|
| TerraSAR-X | 1 | 1:10 000 |
| Cosmo SkyMed | 1 | 1:10 000 |
| Radarsat-2 | 3 | 1:25 000 |
| ALOS / PALSAR | 7 | 1:50 000 |
| Radarsat-1 | 8 | 1:50 000 |
| Envisat /ASAR | 25 | 1:200 000 |
| ERS-1 и ERS-2 | 30 | 1:200 000 |



Амплитудное изображение ENVISAT



Отфильтрованное (по 5 снимкам) амплитудное изображение ENVISAT

Рис. 2.
Результат мультитременной фильтрации радиолокационных изображений

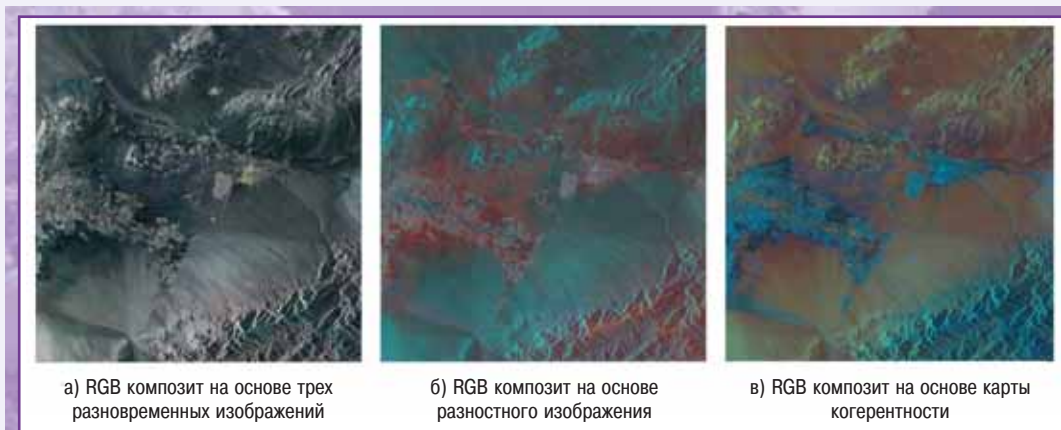


Рис. 3.

Различные виды композитных мультивременных изображений

Если радиолокационные данные используются в качестве геопространственной основы, и не будут обрабатываться по специализированным алгоритмам (например, совместная обработка снимков), необходимо выполнить их ортотрансформирование. Когда речь идет о совместной обработке разновременных радиолокационных снимков одной и той же территории, то первоначальной процедурой является корегистрация данных, т. е. трансформирование всех изображений к единой геометрии с субпиксельной точностью. В данном случае для выполнения обработки требуются, по крайней мере, амплитудные изображения. На рис. 2 приведен пример совместной фильтрации группы изображений, которая существенно улучшает изобразительные свойства радиолокационного изображения.

Еще одним приложением, при наличии мультивременных данных, является возможность создания на их основе мультивременных композитных изображений, которые могут быть рассчитаны по различным методикам.

Одна из них – совмещение изображений за три различные даты, каждая из которых соответствует одному из каналов RGB. В данном случае, преобладающем цветом, соответствующим дате, будет показано какое-либо изменение состояния объектов, либо земной поверхности (рис. 3а). Важно объединять соответствующие комплекты данных в нужных целях. Например, для определения состояния посевов: несколько сеансов получения данных в период роста и созревания; для

картографирования наводнений: получение данных до, в течение, и (если возможно) сразу после пика наводнения; для обнаружения более долгосрочных изменений: комбинированные сеансы получения данных за один и тот же сезон, но в разные годы. Относительно интерпретации изображений можно сказать следующее: объекты без изменений будут отображаться в черно-белом цвете; любое изменение в сцене, (выраженное в изменении обратного рассеяния), между двумя сеансами измерений отображается в цвете;

Вторая основана на выявление изменений по двум изображениям (change detection). Может быть несколько вариантов реализации: расчет композитного изображения, основанного на разностном изображении (рис. 3б, оттенки красного соответствуют максимальным изменениям), расчет композитного изображения на основе карты когерентности, создаваемой по двум изображениям (значения когерентности от 0 до 1) и характеризующей согласованность этих снимков между собой, а также наличие изменений, при использовании карты когерентности выполняется очень четкая локализация временных изменений (рис. 3в, оттенки синего соответствуют максимальным изменениям), и расчета карты изменений в виде классифицированного изображения.

Как было сказано выше, работа с поляриметрическими данными – это несколько обособленное направление, хотя в настоящее время большинство новых космических радиолокационных систем предусматривают проведение многополяризационной съемки. Ос-

новными «рабочими» поляризациями остаются HH (горизонтальная) и VV (вертикальная). Они используются при проведении интерферометрической обработки, да и в целом съемка проводится преимущественно с этими видами поляризации излучения (в зависимости от типа радиолокационной системы), так как изображение поверхности получается более информативным. Крос-поляризации HV и VH дают дополнительную информацию о поверхности и для некоторых задач являются важным дополняющим фактором. Например, для лесного и сельского хозяйства наличие изображений HV или VH позволяет более достоверно выполнить классификацию различных типов объектов. На основе многополяризационных данных создаются ложноцветовые композитные изображения. В качестве примера на рис. 4 приведено сравнение радиолокационных данных поляризации: HH, HV, а также композитное изображение, полученное на основе этих данных. Как видно, поляризация HV дает более четкую дифференциацию между участками леса и вырубками, хотя структурность изображения лучше на изображении HH.

СОВМЕСТНАЯ ОБРАБОТКА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ДАННЫХ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

Совместная обработка радиолокационных и данных в оптической зоне спектра выделена как отдельное направление, так как во многих случаях именно их совместное использование дает более полные результаты. Изображения в оптическом диапазоне содержат ин-

формацию об отраженной или переотраженной энергии света и информацию о «химических» свойствах поверхностного слоя, в то время как изображения, полученные в микроволновом диапазоне, предоставляют данные о геометрических параметрах (шероховатость, физическая структура и диэлектрические свойства) поверхности. Способ слияния данных заключается в геометрическом слиянии данных от различных источников и при необходимости их дальнейшей обработке, например, какое-либо совместное преобразование. В качестве примера приведем два различных направления комбинирования оптических и радиолокационных данных.

1. Геометрическое совмещение данных на примере выявления новых площадей вырубок в лесном массиве. Задача решается по стандартному алгоритму, при наличии двух изображений в оптическом диапазоне (желательно наличие красного или ближнего ИК каналов). В рассматриваемом случае, современного снимка в оптическом диапазоне необходимого разрешения не было, в то время как радиолокационная съемка, с нужными параметрами была в архиве. В данном случае можно выделить ряд особенностей, возникающих при совместной обработке. Геометрия радиолокационных изображений существенно отличается от геометрии оптических, поэтому от качества выполнения ортотрансформирования данных существенно зависит результат работ. Разрешение используемых изображений должно быть сходным, либо оптический снимок может иметь более низкое разрешение, так как изоб-

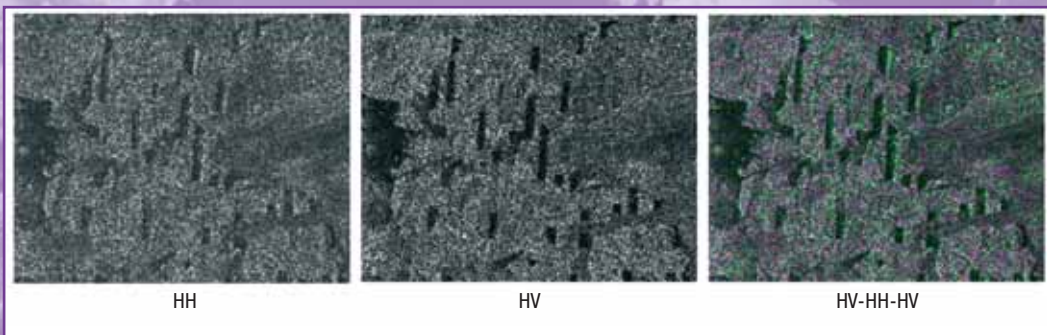
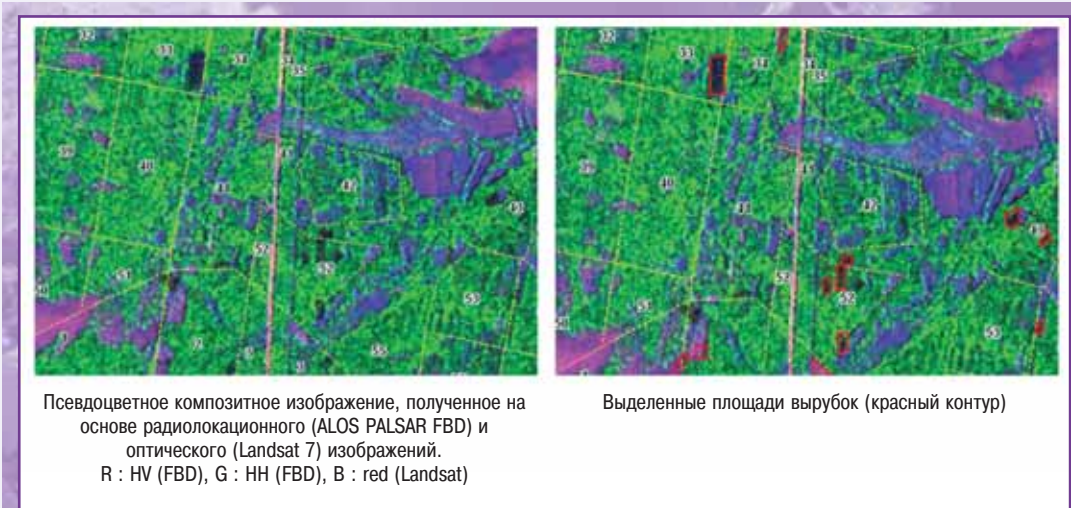


Рис. 4. Сравнение информативности данных, полученных при различных поляризациях излучения, при локализации вырубок



Псевдоцветное композитное изображение, полученное на основе радиолокационного (ALOS PALSAR FBD) и оптического (Landsat 7) изображений.
R : HV (FBD), G : HH (FBD), B : red (Landsat)

Выделенные площади вырубок (красный контур)

Рис. 5.
Выявление новых вырубок в лесных массивах (на изображения нанесены номера и границы кварталов)

разительные способности таких изображений выше. Желательно использование радиолокационных данных, полученных при нескольких поляризациях излучения (HH и HV), а оптических – в красной либо ближней ИК зонах спектра. На рис. 5 показана реализация описанной выше задачи.

Аналогично определению вырубок в лесных массивах могут выявляться другие различные природные и антропогенные явления. Возникает много ситуаций, когда современных данных в оптическом диапазоне в наличии нет, а чтобы выполнить новую съемку требуется значительное время. В этих случаях радиолокационные данные могут служить хорошей альтернативой, так как их получение не зависит от метеоусловий.

2. Комбинирование данных, основанное на преобразовании RGB↔HIS (Hue Intensity Saturation). Такое действие позволяет совместить на одном выходном изображении информацию о местности, полученную в двух разных диапазонах. Сначала выполняется преобразование трех наиболее информативных спектральных каналов RGB→HIS (оттенок цвета – яркость – насыщенность), затем в полученном изображении яркость заменяется на радиолокационный снимок и осуществляется обратное преобразование, при проведении которого необходимо сбалансированное растяжение каналов для повы-

шения качества конечного представления в RGB. Конечные цвета не имеют физического значения, но их можно объяснить, поскольку цвет и насыщенность сохранены из оптического диапазона. По таким изображениям можно определить шероховатость (низкая/высокая растительность, затопленный/незатопленный район), также при выполнении данного преобразования за счет радиолокационного изображения четко отображается структурность территории, что необходимо при решении геологических задач.

Комплексный анализ оптических и радиолокационных данных позволяет в особых условиях исследовать объекты различного геологического строения. Некоторые из них слабо видимы на обоих типах изображений и поэтому могут быть выделены в объединенном комплексе данных, иногда они могут быть полностью невидимы на оптических изображениях (экранированы), но четко отображены на радиолокационных снимках, или наоборот. На рис. 6 приведены примеры совмещения оптических и радиолокационных данных на основе преобразования RGB↔HIS.

Рассмотренные варианты комбинирования данных иллюстрируют два основных направления, в каждом из которых существует множество различных вариантов комбинирования и дальнейшего использования данных.



Снимок Landsat-5 (каналы 7-5-2)



Снимок ERS-1



Синтез данных (ERS-1 и Landsat-5). Отражены литологические различия (цвет с Landsat), а также подробная карта структурных линейментов



Снимок Landsat-7 (каналы 3-2-1)



Снимок Envisat



Синтез данных

Рис. 6.

Пример совмещения оптических и радиолокационных данных на основе преобразования $RGB \leftrightarrow HIS$

РАДАРГРАММЕТРИЯ

Под радарграмметрией понимается обработка стереопары радиолокационных изображений. Она не нашла широкого практического применения, так как конечная точность данных довольно невысокая по сравнению с точностью данных, получаемых при обработке стереопар оптических изображений и интерферометрической обработке радиолокационных данных. Это вызвано тем, что при радарграмметрической обработке исходной является амплитудная информация, т. е. используются только значения интенсивности радиолокационных изображений, полученных под двумя различными углами, а вследствие того, что снимки имеют невысокие изобразительные свойства и зашумлены, точность ЦММ, получаемых по радиолокационным стереоснимкам, по сравнению с оптическими не высока. В случае же с интерферометрическим подходом, ключевой информацией является не амплитудная информация, а фазовая, по которой и проводится восстановление высот местности.

Из современных радиолокационных систем, данные с которых используются для радарграмметрии, можно

выделить RADARSAT-1 и RADARSAT-2, обладающие высокими возможностями по проведению съемки в различных режимах и под различными углами. Условием получения радиолокационных снимков, пригодных для стереообработки, является съемка с одноименных витков (восходящих или нисходящих) с разностью углов визирования примерно от 5 до 30 градусов. При подборе стереопар желательно выбирать снимки, сделанные с меньшим временным интервалом, чтобы избежать взаимной декорреляции изображений из-за различных изменений на земной поверхности, произошедших за время между съемками.

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРЫ И СЕРИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Интерферометрическая обработка пар и серий снимков с целью построения ЦММ либо определения просадок земной поверхности является одним из уникальных и перспективных направлений в использовании радиолокационных изображений.

Радиолокационная интерферометрия – метод измерений, использующий эффект интерференции элект-

ромагнитных волн. Технология интерферометрической обработки радиолокационных данных предполагает получение нескольких когерентных измерений одного и того же района земной поверхности со сдвигом в пространстве приемной антенны радиолокатора.

Основная идея метода заключается в формировании интерферограммы, которая представляет собой результат перемножения двух комплексных радиолокационных изображений местности, полученных идентичными съемочными SAR-системами из близко расположенных точек орбиты одной и той же территории.

Радиолокационное изображение содержит информацию об амплитуде, характеризующей отражательные свойства объекта, и о фазе сигнала, которая определяется удаленностью до объекта. Для определения геометрических характеристик объекта необходимо знать разность фаз между двумя радиолокационными изображениями интерферометрической пары, полученными из близко расположенных точек в пространстве, а также разницу наклонных дальностей и геометрические параметры съемки.

Для построения качественной интерферограммы и, соответственно, определения высот или смещений, необходимо, чтобы два изображения обладали высокой когерентностью (условие интерференции), а также были совмещены геометрически с высокой точностью. Т. е. вспомогательное изображение предварительно должно быть трансформировано в геометрию основного снимка с субпиксельной точностью, после чего вы-

полняется перемножение этих двух изображений, в результате которого получается интерферограмма, характеризующая рельеф территории, а также содержащая информацию о смещениях, произошедших на поверхности. На рис. 7 приведена цепочка изображений, демонстрирующая основные шаги интерферометрической обработки пары радиолокационных снимков с целью получения ЦММ.

Для выполнения интерферометрической обработки необходимо соблюдение целого ряда условий.

1. Съемка должна выполняться идентичными радиолокационными системами (тандемная съемка ERS-1 и ERS-2, будущая TanDEM-X) либо одним и тем же радиолокатором через определенное время.

2. При съемке идентичными радиолокационными системами также необходима одинаковая геометрия съемки, т. е. съемка должна быть проведена с одинаковых орбит КА и с одинаковыми углами наклона. Таким образом, съемка проводится из близких точек пространства. Расстояние между точками съемки называется пространственной базовой линией (для интерферометрии определяющей является ее перпендикулярная составляющая), его величина существенно влияет на результаты обработки, его величина существенно влияет на результаты обработки. Теоретически для построения ЦММ, чем больше величина базовой линии, тем выше точность результирующей модели местности. Однако на практике большие базовые линии приводят к тому, что когерентность такой пары изображений получается до-

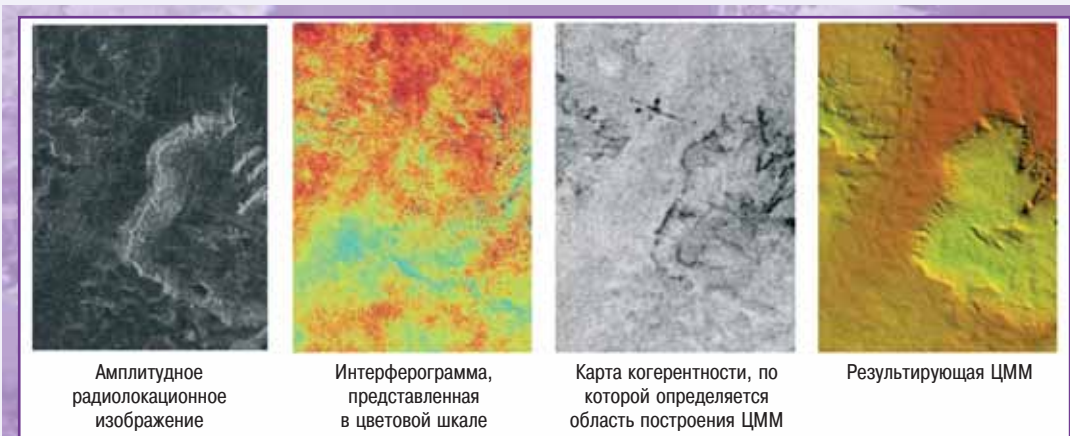


Рис. 7. Изображения, демонстрирующие основные шаги интерферометрической обработки (использованы данные ENVISAT)

вольно низкая, и в итоге – неудовлетворительный результат. Для выявления смещений желательнее использовать пары изображений с минимальной базовой линией, так как теоретически на интерферограмме с нулевой базовой линией отображаются только смещения. Для различных диапазонов можно рассчитать предельную величину базовой линии, при которой еще возможно построение интерферограммы. Но использование пар с такими базовыми линиями не целесообразно, так как вероятность получения результата очень низкая. При обработке данных С диапазона (ERS, Envisat, Radarsat) наилучшими являются значения базовой линии 100-300 м (при построении ЦММ). Для L диапазона (PALSAR) значения базовых линий могут быть на порядок больше, также как и для данных TerraSAR-X.

3. Необходима небольшая временная базовая линия между двумя съемками (для построения ЦММ), так как при большом промежутке времени между съемками происходит больше изменений, и степень корреляции снижается. При выявлении смещений, наоборот, часто необходимо использовать данные с большой временной базой. В этом случае подбираются снимки за схожие даты, сезоны. При этом важна стабильность подстилающей поверхности.

4. Также немаловажным фактором являются погодные условия, хотя радиоизлучение и проникает через облачность, но влияние облачности все равно присутствует и, соответственно, вносятся изменения в распространение посланного и отраженного сигналов, особенно, если облака насыщены влагой. Наряду с наличием облачности важным является состояние подстилающей поверхности. Например, если первый снимок из интерферометрической пары получен при малооблачной сухой погоде, а второй – при влажной погоде, то корреляция этих снимков будет довольно низкая. То же самое относится к наличию и состоянию снежного покрова, растительности и т. п.

Чтобы повысить вероятность получения хорошего результата, нужно тщательно выбирать данные. В первую очередь, необходима оценка пространственной и временной базовых линий, а затем – метеоусловий в регионе на момент съемок.

Для интерферометрической обработки можно использовать данные, получаемые при соблюдении вышеописанных условий всеми SAR-системами, но, для того, чтобы получить удовлетворительные результаты, необходимо использовать не пары, а серии (цепочки)

изображений. При использовании интерферометрических цепочек (от 4-х изображений) существенно повышается вероятность получения полного и качественного результата. Дело в том, что даже при тщательном выборе данных нельзя гарантировать их высокую когерентность по всему полю изображения из-за различных факторов, а при использовании цепочек данных эта проблема частично решается.

Следует также отметить, что уровень когерентности данных существенно зависит от типа подстилающей поверхности. Например, для полупустынной территории, почти лишенной растительности, значения когерентности будут в целом выше и однороднее, чем для зеленых территорий. Так как значительная часть территории России покрыта лесами, рекомендуется использовать:

- цепочки данных, в том числе и разносезонные;
- данные, получаемые в L диапазоне, так как большая длина волны обладает большей проникающей способностью, а, следовательно, состояние растительного покрова оказывает меньшее влияние на уровень когерентности;
- поляриметрические наборы данных.

В целом для интерферометрии наиболее подходят данные с параллельной поляризацией, максимальный уровень когерентности имеют данные V V-поляризации, HH – чуть ниже. При выполнении специальной обработки поляриметрических пар данных (HH, V V, HV, VH) удастся повысить суммарный уровень когерентности за счет расчета когерентности по четырем поляризациям.

Для горных территорий со сложным рельефом при проведении радиолокационной съемки практически всегда присутствуют тени, а также другие эффекты, что сильно снижает качество выходной продукции. Устранить влияние этих эффектов можно за счет использования интерферометрических цепочек данных получаемых с разных орбит – восходящей и нисходящей, таким образом, при комбинировании итоговых цифровых моделей информация обо всех склонах будет полной.

Построение цифровой модели местности.

Для получения корректного результата при построении ЦММ необходимо наличие, во-первых, опорной цифровой модели рельефа (могут быть использованы GTOPO-30, SRTM, чем точнее, тем лучше), во-вторых, наличие опорных точек с известными координатами и высотами, которые уверенно опознаются на радиолокационном снимке. Для уверенного распознавания опорных точек на радиолокационных изображениях

Таблица 2

**Оценка точности определения
высот ЦММ, получаемых в результате
интерферометрической обработки**

| Наименование SAR-систем | Пространственное разрешение, м | Средняя погрешность определения высоты, м |
|----------------------------|-----------------------------------|---|
| TerraSAR-X | 3 | 2-4 * |
| Radarsat-2 | 3 | 3-6 |
| ALOS / PALSAR | 7-14 | 5-10 |
| Radarsat-1 | 8-25 | |
| Envisat /ASAR | 25 | |
| ERS-1, 2 | 30 | |

Примечание.

* Точность определения высоты в таблице указана достаточно в широких пределах, так как зависит от большого числа факторов, перечисленных выше и определяющих качество интерферограммы.

среднего разрешения на земной поверхности в районе съемки устанавливают специальные металлические уголковые отражатели (рис. 8) с размером грани около 1 м (размер зависит от съемочной системы), точно сориентированные на радиолокатор, которые дают яркий отклик на изображении (эффект многократного отражения сигнала).

Вместо уголковых отражателей могут быть использованы специальные устройства – транспондеры, дающие сильный отклик на радиолокационных изображениях, которые не требуют ориентации на радиолокатор, и будут давать отклик при съемке любой SAR-системой. Их применение пока развито не очень широко. На одно изображение необходимо 5-8 отражателей, равномерно распределенных по территории съемки. Опорные точки используются для уточнения параметров интерферометрической модели и восстановления высот. Точности создаваемых ЦММ достаточно сильно варьируются в зависимости от множества факторов и могут быть оценены только приблизительно.

В табл. 2 приведена оценка точности высот цифровых моделей местности, создаваемых в результате интерферометрической обработки радиолокационных изображений с использованием опорных точек.

Построение карт (картограмм) вертикальных смещений. В данном случае, необходима актуальная опорная цифровая модель рельефа максимальной точности, так как по ней устраняется влияние рельефа

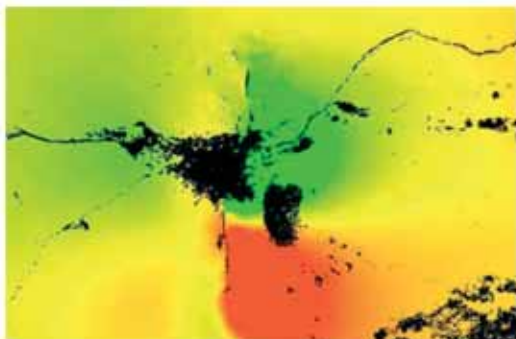


Рис. 8.
Уголковый отражатель

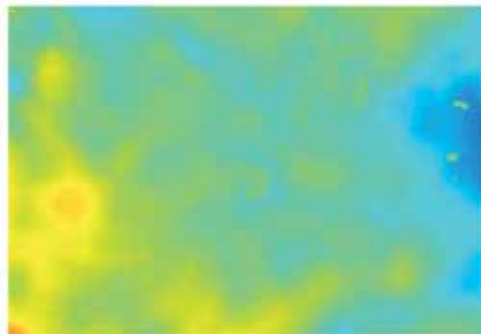
местности на интерферограмме. Если точность используемой ЦММ будет невысокой, то на карте смещений будут присутствовать значительные ошибки. Такой метод обработки данных называется дифференциальной интерферометрией (рис. 9), и часто для определения смещений используется несколько разновременных интерферограмм. Тем самым можно избежать использования внешней точной ЦММ напрямую, так как рельеф фиксируется на обеих интерферограммах, и его влияние может быть устранено при построении дифференциальной интерферограммы.

Для расчета величин вертикальных смещений также необходима опорная информация, т. е. точки с известными величинами смещений. Так как получить такую информацию существенно сложнее, нежели координаты точек, то идут от обратного. В качестве опорных точек берут те точки, где смещения теоретически должны быть нулевые, либо минимальные. На рис. 10 показано наглядное трехмерное представление вертикальных смещений земной поверхности, произошедших в результате землетрясения.

Наряду с приведенной выше методикой, существует другой подход к определению вертикальных смещений земной поверхности, который эффективно применяется для городских территорий и позволяет фиксировать просадки на миллиметровом уровне на основе большой серии изображений (15-20 снимков). В основе метода (Persistent Scatterers) лежит совместная обработка большого массива снимков территории, полученных в течение нескольких лет. Все имеющиеся снимки обрабатываются совместно, с целью локализации излучателей, таких как разнообразные металлические и бе-

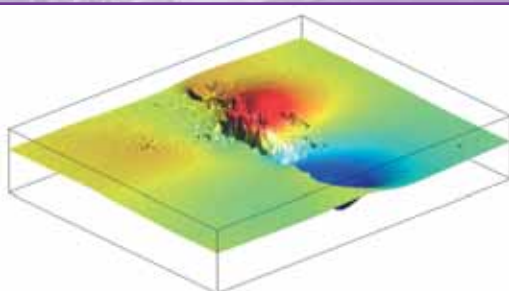


Карта вертикальных смещений территории землетрясения, смещения ± 25 см (период между съемками 35 дней)

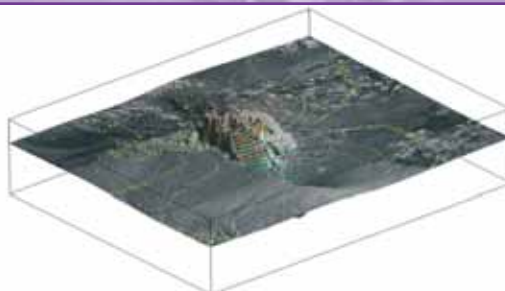


Карта вертикальных смещений, территории нефтегазового месторождения. Максимальные величины смещений порядка $-0,5 - -1$ см/год

Рис. 9.
Карты смещений, полученные методом дифференциальной интерферометрии



Трехмерное представление карты вертикальных смещений в цветовой шкале



Трехмерное представление карты смещений на базе радиолокационного амплитудного снимка, с нанесенными изолиниями вертикальных смещений

Рис. 10.
Трехмерное представление вертикальных смещений земной поверхности

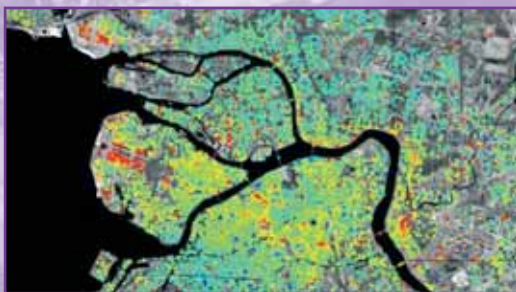


Рис. 11.
Графическое представление метода Persistent Scatterers. Цвет точек соответствует значениям от -5 (красный) до 5 (синий) мм/год

тонные сооружения: здания, мосты, скальные породы, специально установленные уголкового отражатели, которые отображаются на радиолокационных изображениях в виде интенсивных вспышек либо точек. Точное измерение подвижек определяется на фоне этих объектов. Результат таких измерений представляет собой таблицу, в которой сравниваются измерения среднегодовых подвижек и временные серии подвижек для каждой точки измерений (графическое представление показано на рис. 11). Эти данные могут использоваться при мониторинге зданий и сооружений, так как позволяют определять направление и величину деформаций (смещение и просадка) с миллиметровой точностью.

Ю.Б. Баранов (ВНИИГАЗ)

В 1978 г. окончил Московский геологоразведочный институт (Российский государственный геологоразведочный университет – РГГРУ). В настоящее время – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геоинформатики РГГРУ и начальник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности ООО «ВНИИГАЗ».

Е.В. Киселевский («Газпром»)

В 1976 г. окончил Московский горный институт. В настоящее время – начальник отдела маркшейдерско-геодезического и информационного обеспечения недропользования ОАО «Газпром».

Ю.И. Кантемиров (ВНИИГАЗ)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работает в ООО «ВНИИГАЗ», в настоящее время – младший научный сотрудник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности.

М.А. Болсуновский (Компания «Совзонд»)

В 1990 г. окончил Киевское высшее инженерное радиотехническое училище. С 2004 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время – заместитель генерального директора.

Построение ЦМР по результатам интерферометрической обработки радиолокационных изображений ALOS PALSAR

Задача получения цифровых моделей рельефа (ЦМР) на территории объектов добычи, транспорта и хранения нефти и газа в настоящее время является одной из наиболее актуальных для ОАО «Газпром» в части картографического обеспечения производственной деятельности. Это объясняется многими причинами. Готовятся к разработке новые месторождения, вводятся в эксплуатацию более глубокие продуктивные горизонты уже разрабатываемых месторождений, проектируются новые объекты наземного обустройства месторождений и нефтегазотранспортной инфраструктуры. Для ряда месторождений выполняется мониторинг смещений земной поверхности, вызванных подработкой залежей углеводородов, интерферометрическим методом, для чего также необходим высокоточный опорный рельеф. Наконец, цифровые модели рельефа используются в научных исследованиях, для моделирования геодинамических напряжений, анализа линейментов, структурного и геоморфологического дешифрирования и т. д.

Как известно, существует несколько методов получения ЦМР. Можно отметить широко применяемую спутниковую и авиационную стереосъемку (как оптическую, так и радиолокационную), а также воздушное лазерное сканирование, характеризующееся, с одной стороны, максимально высокой точностью, а с другой – достаточно высокой стоимостью. Кроме того, существует метод получения ЦМР по одиночным космическим изображениям или аэрофотоснимкам. Применяется оцифровка существующих топографических карт с последующим получением ЦМР в соответствующем программном обеспечении.

В данной статье авторы предлагают подробнее рассмотреть технологию получения ЦМР на основе метода радиолокационной интерферометрии. Очевидными преимуществами получения модели современного рельефа на основе радиолокационных данных являются:

- всепогодность радиолокационной съемки (нет зависимости от облачности и времени суток в отличие от оптической стереосъемки);

- относительно низкая стоимость и широкая полоса захвата по сравнению с аэроосъемкой и воздушным лазерным сканированием;
- минимальные трудозатраты при обработке данных космической съемки по сравнению со стереоскопической обработкой (процесс получения рельефа в программном модуле SARscape ПК ENVI практически полностью автоматизирован);
- в случае использования данных радиолокатора PALSAR с космического аппарата (КА) ALOS с гарантированной субпиксельной точностью геопозиционирования возможно построение ЦМР без наземных контрольных точек, либо с их минимальным количеством;
- высокая точность и детальность получаемых результатов (в частности, по экспертной оценке авторов, для данных ALOS PALSAR результирующий рельеф близок рельефу топографической карты масштаба 1:25 000 при размере одной сцены порядка 70x70 км).

Кроме перечисленных преимуществ, обработка технологии получения ЦМР интерферометрическим методом представляет интерес в связи с планируемым запуском группировки космических аппаратов ДЗЗ ОАО «Газком», среди которых будут КА с радиолокаторами.

В головном научно-исследовательском институте ОАО «Газпром» – ООО «ВНИИГАЗ» – проводится полномасштабный анализ потенциала радиолокационных данных для решения различных задач нефтегазовой отрасли (мониторинг смещений земной поверхности, получение ЦМР, обнаружение нефтяных пятен в акваториях, дешифрирование геологических структур и т. д.).

В настоящее время авторами выполняется мониторинг смещений земной поверхности на Заполярном газоконденсатонефтяном месторождении дифференциальным интерферометрическим методом по радиолокационным данным. Для такого мониторинга необходима многопроходная цепочка радиолокационных космических снимков и опорный входной рельеф. Для получения опорного рельефа был также выбран интерферометрический метод (но по другим исходным космическим снимкам), исходя из следующих соображений.

Чем выше точность опорного рельефа по высоте, тем увереннее определяются смещения и отфильтровываются фазовые помехи. Для максимально корректного разделения фазы опорного рельефа и фазы смещений земной поверхности необходима цифровая модель местности (ЦММ), по состоянию наиболее близкая по времени данным, используемым для интерферометрической обработки, поскольку в таком случае выделение высотной составляющей фазы будет более точным. В связи с этим ЦМР, построенная по результатам оцифровки топографических карт, не была бы лучшим решением. С другой стороны, район Заполярного месторождения расположен севернее 60° северной широты, и, следовательно, ЦММ, полученная по результатам радарной топографической съемки SRTM (Shuttle radar topographic mission), для этого района недоступна (и, в целом, ее пространственное разрешение, равное 90 м, недостаточно при использовании в качестве опорного рельефа для отслеживания смещений). ЦМР GTOPO-30 (пространственное разрешение 1 км) также совершенно не подходит для решения поставленной задачи.

Таблица 1

Радиодиапазоны современных космических радиолокационных комплексов

| Диапазон | Частота, ГГц | Длина волны, см | Космические аппараты с радиолокационными комплексами |
|----------|--------------|---------------------|--|
| X | 5,20-10,90 | 2,75-5,77 (2,4-3,8) | USGS SLAR, TerraSAR-X, Cosmo-SkyMed |
| C | 3,9-6,2 | 3,8-7,6 | ERS-1,2, ENVISAT-ASAR, RADARSAT-1, RADARSAT-2 |
| L | 0,39-1,55 | 19,3-76,9 (15-30) | SIR-A, SIR-B, ALOS |
| P | 0,225-0,391 | 40,0-76,9 (30-100) | AIRSAR |

Таким образом, получение опорного рельефа высокого пространственного разрешения интерферометрическим методом для данной ситуации было безальтернативным. Следующей проблемой стал выбор исходных данных.

ВЫБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Космические аппараты, находящиеся в настоящее время на орбите, ведут радиолокационную съемку земной поверхности в различных диапазонах радиоволновой области электромагнитного спектра (см. таблицу 1). Наиболее доступными являются архивные радиолокационные изображения с этих КА.

На основе накопленного опыта интерферометрической обработки значительных объемов архивных радиолокационных космических снимков, авторами сделан вывод о наличии двух вариантов набора исходных данных при построении рельефа интерферометрическим методом для условий большей части территории Российской Федерации.

Первый вариант – использование результатов тандемной съемки с небольшой временной базой (например, архив снимков, сделанных спутниками ERS-1 и ERS-2). Положительными факторами являются следующие: идеальная интерферограмма в большинстве случаев; высокая когерентность; пространственное разрешение 20-25 м, что приблизительно в 4 раза выше, чем у ЦМР SRTM. Минусами этого варианта являются: неполное покрытие территории РФ радиолокационными изображениями; отсутствие свежих архивных данных (в том случае, если необходима современная ЦМР); резкое падение когерентности в районе лесных массивов, характерное в целом для С-диапазона радиоволновой области электромагнитного спектра.

Второй вариант – использование результатов радиолокационной съемки со спутника ALOS (бортовым радиолокатором с синтезированной апертурой PALSAR). Основным плюсом использования этих данных для получения информации о рельефе земной поверхности представляется длина зондирующей волны этого радиолокатора – 23 см, соответствующая L-диапазону. Соответственно, в большинстве случаев снимается проблема временной декорреляции интерферометрических пар радиолокационных снимков, вызванной влиянием растительнос-

ти. В связи с этим интерферометрические пары изображений ALOS PALSAR характеризуются высокой когерентностью, даже несмотря на то, что минимально возможный временной интервал между ними составляет 46 дней. При этом режим съемки PLR (полная поляризация излучения) позволяет дополнительно повысить когерентность и оптимизировать интерферограмму за счет съемки с полной поляризационной матрицей. В свою очередь, данные ALOS PALSAR FBS (однополяризационный режим съемки) характеризуются высоким пространственным разрешением – 7 м, что в 3-4 раза превышает разрешение данных тандемной съемки с ERS-1 и ERS-2.

В связи с отсутствием в настоящее время на орбите тандемов КА с радиолокационными комплексами, современная ЦМР не может быть получена с помощью первого рассматриваемого варианта. Таким образом, авторами был выбран второй вариант, а именно: получение рельефа с помощью интерферометрической обработки пары изображений ALOS PALSAR.

ПОИСК АРХИВНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ ALOS PALSAR

Подбор архивных данных с учетом характеристик, необходимых для обеспечения результатов работ, был выполнен официальным российским дистрибьютором данных с КА ALOS – компанией «Совзонд». На исследуемый участок земной поверхности – район месторождения Заполярное (многоугольник красного цвета на рис. 1) – было найдено несколько комплектов радио-



Рис. 1. Схема покрытия района Заполярного месторождения радиолокационными данными ALOS PALSAR

локационных данных, подходящих для интерферометрической обработки. Два перекрывающихся прохода от 18.07.2007 г. и от 02.09.2007 г. были сделаны в режиме FBD (двойная поляризация), а два перекрывающихся прохода от 09.06.2006 г. и от 25.07.2006 г. – в режиме FBS (одинарная поляризация).

Отметим, что радиолокационные данные, полученные в режиме FBD, покрывают район месторождения на 80% двумя интерферометрическими парами изображений, в то время как одна пара изображений в режиме FBS полностью покрывает район месторождения и, кроме того, характеризуется более высоким пространственным разрешением (7 м). Радиолокационные данные ALOS PALSAR PLR (полная поляризационная матрица) также присутствуют в архиве на рассматриваемый участок, но они отсняты в весенний период (по опыту авторов не самый благоприятный для этой территории).

В итоге для построения рельефа была выбрана интерферометрическая пара изображений от 09.06.2006 г. и 25.07.2006 г., сделанных в режиме FBS (одинарная поляризация HH).

ПОЛУЧЕНИЕ РЕЛЬЕФА ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Коротко остановимся на теоретических основах получения рельефа интерферометрическим методом. Входными данными для построения рельефа этим методом является пара (или цепочка) радиолокационных снимков земной поверхности, которая образует интерферометрическую пару. Ограничением для получения интерферометрической пары, а следовательно, возможности интерферометрической обработки пары (или цепочки) радиолокационных снимков, являются пространственная и временная базы.

Пространственная база (или базовая линия B на рис. 2) представляет собой расстояние между орбитальными положениями радиолокатора 1 и радиолокатора 2 при получении изображений, образующих интерферометрическую пару. Качество результатов интерферометрической обработки (т. е., в данном случае, качество результирующей цифровой модели рельефа) напрямую зависит от величины базовой линии и, в общем случае, возрастает с ее увеличением. Но при превышении некоторого критического значения длины пространственной базы интерферометрическая обработка становится невозможной, вследствие пространственной декорреляции.

Временной базой называют промежуток времени, прошедший между временем получения изображений радиолокаторами 1 и 2 (рис. 2). Понятие временной базы напрямую связано с такой важной проблемой как временная декорреляция, возникающей за счет изменений рельефа, растительности, влажности и т. д., произошедших в период между съемками первым и вторым радиолокаторами. В общем случае, эффект временной декорреляции становится менее заметен с увеличением длины зондирующей радиолокационной волны.

Каждое радиолокационное изображение интерферометрической пары (или цепочки) содержит амплитудный и фазовый слой. Амплитудный слой более пригоден для визуального анализа. Результирующая фаза Φ , полученная в ходе интерферометрической обработки фазовых слоев изображений интерферометрической пары, состоит из следующих компонентов:

$$\Phi = \Phi_{\text{topo}} + \Phi_{\text{def}} + \Phi_{\text{atm}} + \Phi_{\text{n}},$$

где Φ_{topo} – фазовый набег за счет обзора топографии под двумя разными углами;



Рис. 2.
Пространственное положение радиолокаторов, изображения с которых образуют интерферометрическую пару

Φ_{def} – фазовый набег за счет смещения поверхности в период между съемками;

Φ_{atm} – фазовый набег за счет различия длин оптических путей из-за преломления в среде распространения сигнала;

Φ_n – вариации фазы в результате электромагнитного шума.

Непосредственно интерферометрическая обработка пары радиолокационных изображений с целью получения ЦМР в общем случае состоит из нескольких базовых шагов:

1. Совмещение основного и вспомогательного радиолокационных изображений интерферометрической пары (в автоматическом режиме либо с ручным вводом контрольных точек).

2. Генерация интерферограммы, являющейся результатом комплексного поэлементного перемножения основного изображения и изображения, комплексно сопряженного к вспомогательному.

3. Разделение компонентов фазы Φ_{topo} и Φ_{def} за счет синтеза фазы рельефа.

4. Фильтрация интерферограммы, позволяющая в определенной степени уменьшить фазовый шум (помехи) за счет закругления выходной ЦМР.

5. Получение файла когерентности для области перекрытия двух снимков, составляющих интерферометрическую пару, в значениях от 0 до 1 для каждой пары соответствующих друг другу пикселей.

6. Развертка фазы (процедура перехода от относительных значений фазы к абсолютным).

7. Коррекция базовой линии.

8. Преобразование абсолютных значений фазы в относительные либо абсолютные высотные отметки в метрах, с получением на выходе ЦМР.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ (ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ)

На основе изучения мирового рынка программного обеспечения для интерферометрической обработки радиолокационных изображений был выбран специализированный программный комплекс SARscape (SARMAP, Швейцария), распространяемый в качестве дополнительного модуля к программному комплексу ENVI (ITT Visual Solutions, США). Эксклюзивным дистрибьютором обоих программных комплексов на территории Российской Феде-

рации и стран СНГ является компания «Совзонд». ООО «ВНИИГАЗ» использует эти программные комплексы в работе с 2007 г. ПК SARscape позволяет проводить полную комплексную обработку материалов радиолокационной съемки. В нем реализованы наиболее современные алгоритмы обработки и поддержка всех видов радиолокационных данных, доступных пользователям в настоящее время.

Рассмотрим практическую реализацию интерферометрической обработки пары радиолокационных снимков для получения ЦМР, теоретические основы которой приведены в первой части статьи. Процесс обработки снимков в программном комплексе SARscape включает следующие последовательные шаги.

1. Совмещение основного и вспомогательного радиолокационных изображений интерферометрической пары радиолокационных снимков с помощью двухэтапного автоматизированного алгоритма (первый этап включает совмещение на пиксельном уровне, второй – на субпиксельном) с последующим расчетом интерферограммы и заданием параметров некогерентного накопления.

2. Разделение компонентов фазы Φ_{topo} и Φ_{def} на основе синтеза фазы рельефа (с помощью имеющейся более грубой ЦМР, набора наземных контрольных точек с известными абсолютными высотами либо, в случае отсутствия таких данных, с помощью модели эллипсоида) и последующего ее вычитания из общей фазы с получением на выходе так называемой дифференциальной интерферограммы.

3. Фильтрация интерферограммы (усредняющим либо адаптивными фильтрами), позволяющая в определенной степени уменьшить фазовый шум за счет закругления выходной ЦМР (процесс фильтрации выполняется одновременно с получением файла когерентности для области перекрытия двух снимков, составляющих интерферометрическую пару).

4. Развертка фазы (процедура перехода от относительных значений фазы к абсолютным) по алгоритму растущей области с отсечением по порогу когерентности.

5. Коррекция базовой линии с помощью наземных контрольных точек либо специальным адаптивным алгоритмом на основе сопоставления развернутой фазы, фильтрованной интерферограммы, карты когерентности и уже имеющейся более грубой ЦМР.

6. Преобразование абсолютных значений фазы в относительные либо абсолютные высотные отметки в метрах с получением на выходе ЦМР.



Рис. 3.
Интерферограмма, рассчитанная по паре снимков ALOS PALSAR от 09.06.2006 г. и 25.07.2006 г. на район Заполярного месторождения

Таким образом, восемь теоретических шагов, необходимых для получения ЦМР интерферометрическим методом, полностью реализованы шестью практическими шагами, выполняемыми пользователем в ПК SARscape (первый и второй, а также четвертый и пятый теоретические шаги выполняются в рамках первого и третьего практических шагов, соответственно).

ПОЛУЧЕНИЕ ЦМР ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ НА ПРИМЕРЕ ЗАПОЛЯРНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Рассмотрим пример получения ЦМР интерферометрическим методом по паре снимков Заполярного месторождения, сделанных аппаратурой ALOS PALSAR 09.06.2006 г. и 25.07.2006 г.

В качестве исходных данных были использованы два вышеуказанных снимка ALOS PALSAR уровня обработки 1.0 («сырые» данные). Приведение «сырых» данных к виду Single Look Complex (называемому фокусировкой изображения) было выполнено в дополнительном модуле SARscape Focusing module программного комплекса SARscape.

Сфокусированные таким образом снимки были успешно совмещены в полуавтоматическом режиме (необходимые параметры процесса автоматического совмещения задаются пользователем), а затем была рассчитана интерферограмм-

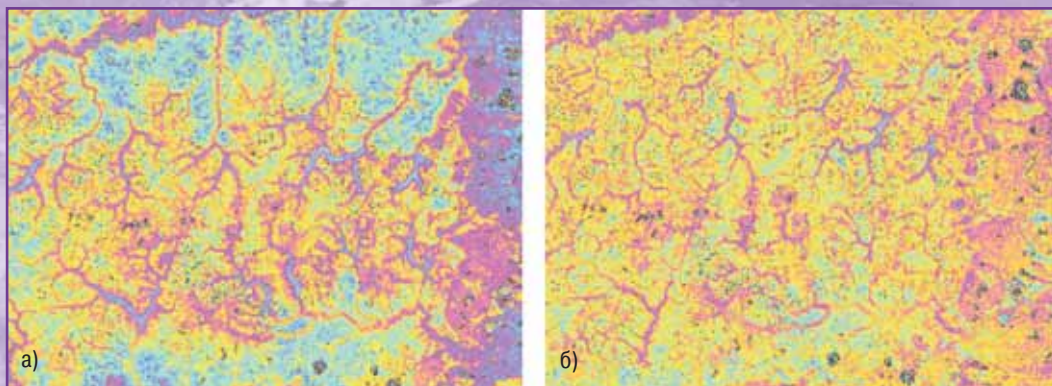


Рис. 4.
Дифференциальная интерферограмма, полученная путем вычитания из интерферограммы фазы опорного рельефа, синтезированной с помощью топографической карты масштаба: а) 1:500 000; б) 1:100 000

ма (рис. 3). Следует отметить высокое качество интерферограммы, так как наблюдаются непрерывные интерферометрические полосы. Зашумленная область в правом верхнем углу интерферограммы соответствует водной поверхности реки Таз.

Для выделения топографической компоненты фазы из интерферограммы были использованы две более грубые ЦМР, имеющиеся на район исследований. ЦМР-500 и ЦМР-100 были получены путем оцифровки горизонталей и высотных отметок топографических карт масштабов 1:500 000 и 1:100 000, соответственно. На рис. 4 представлены дифференциальные интерферограммы на фрагмент участка исследований, прошедшие процедуру незначительной адаптивной фильтрации. Как и следовало ожидать, топографическая компонента более полно исключена из дифференциальной интерферограммы, полученной с использованием ЦМР-100 (рис. 4б). На дифференциальной интерферограмме, полученной с помощью ЦМР-500, топографическая компонента все еще довольно ярко выражена (рис. 4а).

Следует отметить, что перпендикулярная составляющая базовой линии для рассматриваемой пары снимков составляет 2006 м. При таком значении базовой линии топографическая компонента выражена довольно сильно и, чтобы извлечь ее полностью, даже топографической карты масштаба 1:100 000 оказалось недостаточно. А в целом, для получения рельефа интерферометрическим методом по радиолокационным изображениям в L-диапазоне необходимы базовые линии примерно на порядок большие, чем для радиолокационных изображений в С-диапазоне. Так, если для радиолокаторов С-диапазона (ERS-1 и 2, ENVISAT, RADARSAT-1) приемлемы для получения рельефа являются перпендикулярные базы в первые сотни метров, то для радиолокаторов L-диапазона (ALOS PALSAR) таковыми являются базы в первые тысячи метров.

Критическая перпендикулярная базовая линия, составляющая для радиолокаторов С-диапазона порядка 1 км, для радиолокаторов L-диапазона также увеличивается и составляет в рассматриваемом случае 20 км. Поясним эту зависимость следующей формулой:

$$B_{n,cr} = \lambda R \tan(\theta) / 2Rr,$$

где $B_{n,cr}$ – критическая базовая линия;
 λ – длина зондирующей волны радиолокатора;
 Rr – пространственное разрешение в направлении наклонной дальности;
 R – дальность (путь зондирующей волны);
 θ – угол между дальностью и высотой.

Бортовой радиолокатор L-диапазона на КА ALOS характеризуется большей длиной зондирующей волны, более высоким пространственным разрешением в направлении наклонной дальности, большими значениями углов между дальностью и высотой и, наконец, большим значением пути зондирующей волны. Соответственно, для спутника ALOS каждый из аргументов в приведенной выше формуле влияет на величину критической перпендикулярной базовой линии в сторону ее увеличения. В связи с этим, диапазон приемлемых базовых линий в случае анализа данных ALOS PALSAR значительно расширяется.

На рис. 5 представлена построенная карта когерентности для рассматриваемой пары радиолокаци-



Рис. 5.
 Карта когерентности, рассчитанная по паре снимков ALOS PALSAR от 09.06.2006 г. и 25.07.2006 г.

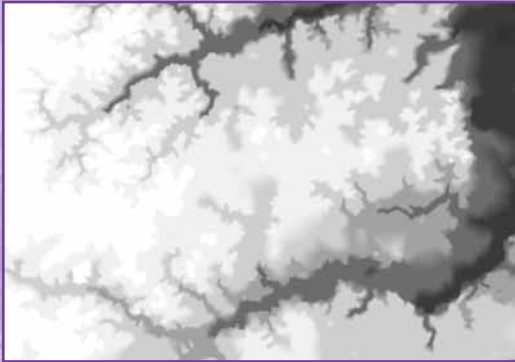


Рис. 6.
Фрагмент результирующей ЦМР, построенной по данным интерферометрической обработки пары снимков ALOS PALSAR от 09.06.2006 г. и 25.07.2006 г. и 25.07.2006 г.

онных снимков. Пиксели со значением когерентности выше 0,15 выделены красным цветом. Карта когерентности говорит о ее достаточно высоких значениях, несмотря на разницу в 46 дней между съемками в летний период. На практике это подтверждает теоретическую предпосылку о просвечивании растительности радиолучами L-диапазона. Отметим, что для интерферометрической пары снимков ENVISAT на эту же территорию и за приблизительно

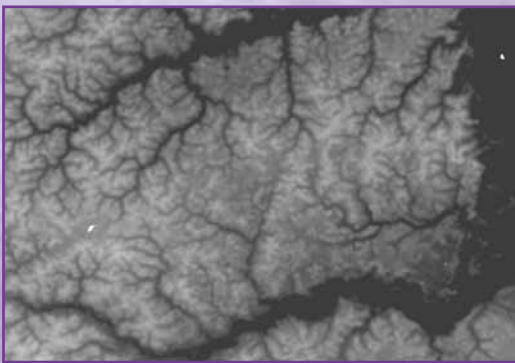


Рис. 7.
Фрагмент ЦМР, построенной по результатам оцифровки горизонталей и высотных отметок топографической карты масштаба 1:100 000

такой же период (35 дней) средняя когерентность ниже примерно в три раза.

Далее была развернута фаза, и выполнена коррекция базовой линии. Для коррекции использовались значения десяти наземных контрольных точек. Из них значения восьми точек были взяты с топографической карты масштаба 1:100 000, а значения двух точек определены по результатам наземных GPS-измерений. После коррекции базовой линии, была построена результирующая ЦМР, фрагмент которой представлен на рис. 6. При обработке в качестве опорного рельефа использовалась ЦМР, созданная по результатам оцифровки горизонталей и высотных отметок топографической карты масштаба 1:100 000 (рис. 7). Визуально видно, что детальность ЦМР, полученной по данным ALOS PALSAR FBS (рис. 6), значительно превосходит ЦМР, полученную по данным топографической карты масштаба 1:100 000 (рис. 7). По оценке авторов, результирующая ЦМР, построенная по радиолокационным снимкам ALOS PALSAR FBS, по информативности соответствует топографической карте масштаба 1:25 000.

Проверка точности результирующей ЦМР по высоте, построенной интерферометрическим методом, осуществлялась в программном комплексе ENVI. Для этого было выполнено вычитание из результирующей ЦМР опорного рельефа, созданного по данным топографической карты масштаба 1:100 000, и построена классифицированная карта погрешности по высоте результирующей ЦМР (рис. 8). На рис. 8 красным цветом показаны погрешности по высоте в пределах 5 м, зеленым – в пределах 10 м, синим – в пределах 20 м, а белым и черным – разрыв фазы. Как видно из данных, приведенных на рис. 8, около 70% высотных отметок по точности соответствуют требованиям, предъявляемым к топографическим картам масштаба 1:25 000. Систематическое ухудшение точности по высоте до точности, соответствующей требованиям, предъявляемым к топографическим картам масштаба 1:100 000, наблюдается в северо-западной части результирующей ЦМР. Это может быть связано с отсутствием опорных наземных точек в этом районе и, соответственно, не совсем правильными результатами коррекции базовой линии на этом участке.

В результате обработки на весь участок исследований (Заполярное месторождение) был получен рельеф, по точности соответствующий топографическим картам масштаба 1:25 000. В дальнейшем он был использован в качестве опорного для мониторинга смещений земной поверхности дифференциальным интерферометрическим методом, а также для моделирования современного напряженного состояния горных пород, изучения геодинамики и мерзлотных процессов.

В качестве примера приведем выявленный по результатам визуального анализа полученной ЦМР потенциально опасный для инфраструктуры месторождения объект – крупное выпучивание ледяного массива на месте бывшего термокарстового озера. Для наглядности это явление представлено на рис. 9 в виде трехмерного изображения участка местности с увеличенным вертикальным масштабом рельефа, полученного по результатам обработки интерферометрической пары снимков ALOS PALSAR от 09.06.2006 г. и 25.07.2006 г., и совмещенное с многозональным оптическим снимком среднего пространственного разрешения.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать вывод о высоком качестве ЦМР, полученной интерферометрическим методом из пары радиолокационных снимков ALOS PALSAR FBS. По экспертной оценке, на 70% общей площади исследуемого участка она соответствует по точности топографической карте масштаба 1:25 000 (размер исследуемого участка 70x70 км). Это позволяет говорить о том, что интерферометрический метод применим для получения высокоточных ЦМР (соответствующих по точности картографическим материалам масштабов 1:25 000 и 1:50 000) на большие площади при небольших затратах и крайне незначительных объемах уже имеющейся топографической информации. Для равнинных областей, в крайнем случае, для синтеза топографической фазы можно даже использовать среднюю по снимку высоту.

Полученный рельеф может применяться как для дальнейших научных исследований, так и в проектировании застройки территорий (на этапе обоснования инвестиций), при обновлении планово-высотной основы топографических карт масштаба до

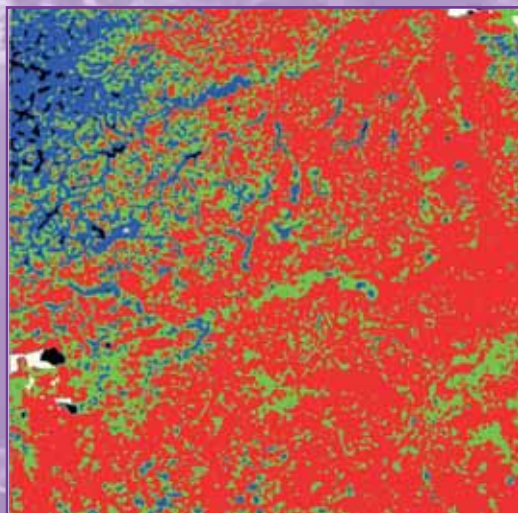


Рис. 8. Классифицированная карта погрешности по высоте результирующей ЦМР

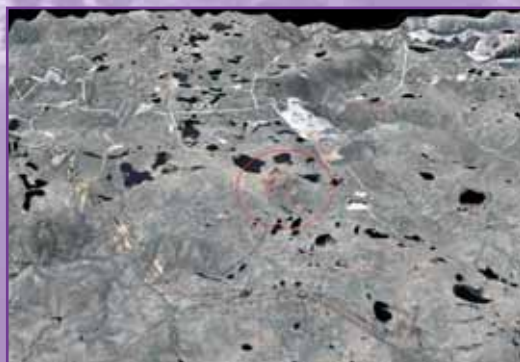


Рис. 9. Трехмерное изображение участка месторождения с крупным выпученным ледяным массивом

1:25 000 включительно. Необходим лишь правильный выбор исходных радиолокационных снимков, специализированное программное обеспечение, опытные квалифицированные операторы и незначительное количество геодезической информации в виде пространственных координат хорошо дешифрируемых точек местности.

Консалтинговый центр компании «Совзонд»



В начале 2006 г. начал работать Консалтинговый центр компании «Совзонд». За прошедшее время в нем прошли обучение более 150 человек, среди которых специалисты ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, Национальной академии наук Белоруссии, Экспертно-криминалистического центра МВД России, Министерства природных ресурсов и экологии РФ и др. Обучение проводят ведущие специалисты компании «Совзонд» в области обработки космических снимков высокого разрешения, картографии и ГИС.

В оснащённом современным оборудованием учебном классе слушатели получают всю необходимую информацию о возможностях и основных функциях программных комплексов ENVI, MicroStation и INPHO, выполняют комплекс упражнений, позволяющих закрепить полученные знания и умения.

В ноябре-декабре 2008 г. компания «Совзонд» предлагает курсы:

Использование программного комплекса ENVI для обработки данных ДЗЗ (17-21 ноября, 8-12 декабря).

Возможности языка программирования IDL. Дополнительные модули (27-29 ноября).

Вводный курс по обработке данных радиолокационных съемок в дополнительных модулях ENVI SARscape Basic и SARscape Interferometry (5-7 ноября).

Вводный курс обучения MicroStation V8 XM Edition для задач картографирования и геоинформатики (24-28 ноября, 15-19 декабря).

Курс обучения базовым модулям фотограмметрической системы компании INPHO (10-14 ноября).

Д.Б. Никольский (Компания «Совзонд»)

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

Области применения радиолокационных данных

Радиолокационные данные находят применение в различных областях, причем появление новых космических радиолокационных комплексов постоянно расширяет области применения SAR-данных. Рассмотрим преимущества использования радиолокационных данных при решении конкретных задач.

Создание и обновление топографических и тематических карт различных масштабов. Несмотря на то, что радиолокационные данные уступают по изобразительным свойствам снимкам в оптическом диапазоне, они обладают важным преимуществом – возможностью съемки вне зависимости от освещенности и метеоусловий. Поэтому при создании и обновлении топографических и тематических карт различных масштабов, в срочных случаях, радиолокационные данные являются востребованными и незаменимыми.

Построение высокоточных цифровых моделей местности. Интерферометрическая обработка радиолокационных данных позволяет получать цифровые модели местности для любых территорий, причем с высокой точностью (до нескольких метров по высоте), что является важным, так как актуальная информация о рельефе необходима для решения большого числа задач, от ортотрансформирования космических изображений до создания трехмерных моделей местности (рис. 1).

Мониторинг экологической обстановки водных поверхностей. Радиолокационные данные позволяют обнаруживать пространственное положение нефтяных разливов на различных водоемах (рис. 2), так как нефтяная пленка сглаживает обычно беспокойную водную поверхность и, как следствие, изображе-

ния этих участков морской и речной водной поверхности получают высококонтрастными.

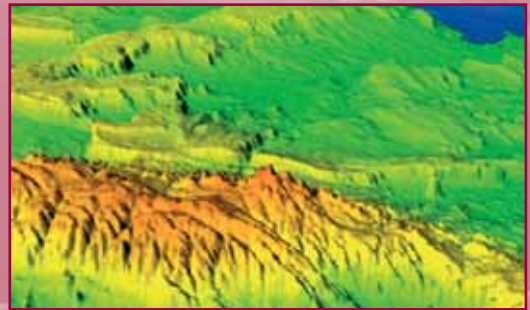


Рис. 1.
Фрагмент трехмерной модели местности, построенной по данным ALOS/PALSAR



Рис. 2.
Радиолокационное поляриметрическое изображение с четкими нефтяными разливами в акватории (TerraSAR-X)



Рис. 3.
Фрагмент карты оценки разрушений, произошедших в результате землетрясения, на основе данных TerraSAR-X



Рис. 4.
Карта с выявленными площадями вероятного затопления в результате паводка на основе данных с КА TerraSAR-X



Рис. 5.
Мультивременное композитное изображение, демонстрирующее различное состояние сельскохозяйственных угодий (Radarsat-1, разрешение 25 м)

Оценка ущерба при чрезвычайных ситуациях.

При возникновении каких-либо чрезвычайных ситуаций важным является максимальная скорость получения

пространственной информации о районе бедствия. Такую информацию, независимо от погодных и климатических условий, обеспечивают данные радиолокационной съемки (рис. 3). Помимо этого, ряд приложений позволяет прогнозировать возникновение тех или иных чрезвычайных ситуаций.

Мониторинг вертикальных смещений на территории нефтяных и газовых месторождений. Дифференциальная радиолокационная интерферометрия позволяет получать уникальные данные о просадках земной поверхности с высокой точностью, что является альтернативой дорогостоящим и трудозатратным наземным геодезическим измерениям.

Решение геологических задач. Радиолокационные данные являются ценным источником информации для геологов, так как они хорошо подчеркивают структурность поверхности, тем самым, отображая основные элементы рельефа местности. Также следует отметить, что для решения большого класса геологических задач активно используются результаты интерферометрической обработки изображений.

Мониторинг состояния лесных массивов. Радиолокационные данные, особенно получаемые при нескольких поляризациях, позволяют выделять площади лесных массивов, выявлять вырубку и гари, проводить оценочную классификацию лесов по составу пород и по высоте древостоев.

Предупреждение паводков. Радиолокационные данные и результаты их обработки успешно используются для выявления опасных в паводковом отношении районов. По картографической основе, получаемой по амплитудным изображениям, и данным о рельефе местности, определяемым по фазовым характеристикам снимка, проводится оценка площади вероятного затопления местности при оценке паводков (рис. 4).

Оценка состояния сельскохозяйственных угодий. Для этих целей радиолокационные данные применяются достаточно активно, так как изменения в состоянии полей/посевов существенно сказываются на изменении их отражательных свойств и четко прослеживаются на снимках (рис. 5). Наряду с этим, различные типы сельскохозяйственных культур по разному отображаются на поляриметрических изображениях, тем самым позволяя выполнять их дешифрирование по эталонам.

Мониторинг городской инфраструктуры. Данный тип задач предусматривает оценку стабильности

планового и высотного положения различных объектов и инженерных сооружений на территории городов. Речь идет, в первую очередь, о выявлении вертикальных просадок зданий, эстакад, мостовых, тоннельных сооружений и т. д. Для этих целей наибольшую эффективность обеспечивает использование методики Persistent Scatterers.

Проведение видовой разведки. Современные космические радиолокационные системы позволяют получать изображения с разрешением, сходным с оптическими снимками, и для обнаружения некоторых целей подходят даже лучше, чем данные в оптическом диапазоне. Кроме того, оперативность и всепогодность радиолокационной съемки делает эти изображения уникальными и незаменимыми (рис. 6).

Мониторинг автомобильного транспорта. В результате обработки радиолокационных данных высокого разрешения (TerraSAR-X) с использованием специализированных алгоритмов можно оценивать общую загруженность тех или иных участков магистралей, и даже определять скорость движения автомобилей, используя доплеровское смещение.

Обнаружение и мониторинг водных судов. Высокая отражательная способность металлических конструкций, в данном случае морских и речных судов, позволяет с высокой степенью достоверности обнаруживать корабли на радиолокационных изображениях даже среднего пространственного разрешения (рис. 7). Для данной задачи используется автоматизированная методика, позволяющая определить положение судна в конкретный момент времени, направление его движения, а также оценить габариты судна.

Решение задач в гляциологии. Здесь можно выделить два направления: это оценка ледовой обстановки (определение толщины льдов, их расположения и движения) и исследование различных типов ледников от небольших горных до мощных ледниковых куполов. С помощью радиолокационных данных четко определяются границы ледников, зоны наступления и отступления. В результате интерферометрической обработки радиолокационных данных можно по интерферометрическим полосам определить скорость движения ледников (рис. 8).

Практический опыт показывает, что для решения тех или иных задач лучше подходят либо радиолокационные данные, либо оптические, но для достижения наи-



Рис. 6. Фрагмент снимка территории аэропорта (TerraSAR-X, разрешение 1 м)



Рис. 7. Пример выявления морских судов на радиолокационном снимке (TerraSAR-X)



Рис. 8. Композитное изображение с ERS-1 и ERS-2 (амплитуда – суша, фаза – лед), демонстрирующее движение выводного ледника

большого эффекта, обеспечения полноты исследования, необходимо комплексное использование данных, получаемых в различных диапазонах.

ВЫБОР РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ

В таблице приведена информация, позволяющая выбрать наиболее подходящий тип радиолокационных данных для решения задач ряда актуальных направлений.

Для картографических целей подходят различные виды радиолокационных данных. Выбор TerraSAR-X обусловлен наличием сверхвысокого разрешения (1 м), что особенно важно при создании и обновлении топографических и тематических карт крупных масштабов (вплоть до 1:10 000). Кроме того, наличие режимов с высоким (3 м) и средним (16 м) разрешением позволяет создавать и обновлять карты в масштабах 1:25 000 и 1:100 000 соответственно.

Создание цифровых моделей местности возможно на основе радиолокационных данных, получаемых различными радиолокационными системами, при выполнении определенных условий, описанных ранее. В таблице рекомендуются данные ENVISAT-ASAR-IMAGE и ALOS-PALSAR-FBS, как наиболее надежные именно для выполнения интерферометрической обработки. Для данных Radarsat-1 необходимо дополнительное уточнение орбитальных параметров по наземным точкам. Интерферометрическая обработка TerraSAR-X (как впрочем, и Radarsat-2) в настоящее время только отрабатывается и не является приоритетной до запуска тандемного спутника (TanDEM-X). Одной из главных задач этой тандемной съемки будет являться создание глобальной высокоточной цифровой модели местности. Наряду с созданием ЦММ, данные ENVISAT-ASAR являются одним из наиболее оптимальных решений для выполнения дифференциальной интерферометри-

ческой обработки, с целью определения смещений на сантиметровом уровне. Данные ALOS-PALSAR не рекомендованы для решения этой задачи, потому что интерферометрические пары, получаемые этим радиолокационными системами, как правило, имеют значительную базовую линию и в большей степени подходят для создания ЦММ.

Определение смещений на миллиметровом уровне (Persistent Scatterers) – довольно новая методика и в настоящее время в программном комплексе SARscape реализована поддержка только указанных типов данных. Поддержка других типов данных будет добавлена в декабре 2008 г.

Для лесного и сельского хозяйства наиболее важным является возможность получения данных при нескольких поляризациях излучения, по наличию такой возможности и по необходимому разрешению и выбираются данные.

Для мониторинга строительства определяющим фактором является оперативность получения данных и разрешающая способность, на основании чего наилучшим вариантом является спутник TerraSAR-X.

Для мониторинга судов, также как и для предыдущего направления необходима оперативность получения данных, но в данном случае высокое разрешение обязательно, так как суда однозначно идентифицируются и на снимках с разрешением 30 м, поэтому данные Radarsat-1 и Radarsat-2, обладающие наилучшими возможностями по съемке, являются оптимальными для данного направления. Данные TerraSAR-X также отлично подходят для мониторинга судов, но уже в более крупном масштабе.

Рекомендации по выбору радиолокационных данных

| Направление | SAR-система, режим съемки | Уровень обработки |
|---|---|---|
| Картография | TerraSAR-X, в зависимости от масштаба | Ортотрансформированные изображения |
| Цифровые модели местности | ENVISAT-ASAR, Image(W); ALOS-PALSAR, FBS (W) | RAW или SLC |
| Смещения на сантиметровом уровне | ENVISAT-ASAR Image (W) | |
| Вертикальные смещения на миллиметровом уровне | TerraSAR-X (HighSpot, SpotLight, StripMap), ERS-1,2 Image (W) ENVISAT-ASAR Image (W) | RAW, SLC и ортотрансформированные изображения |
| Лесное хозяйство | TerraSAR-X, Radarsat-2, ALOS-PALSAR | |
| Сельское хозяйство | Поляриметрические режимы (либо 2, либо 4 поляризации) | |
| Мониторинг строительства | TerraSAR-X, в зависимости от размеров объектов | |
| Мониторинг морских и речных судов | Radarsat-1,2, различные режимы, за исключением режимов ScanSAR, TerraSAR-X, все режимы | |

Ю.Б. Баранов (ВНИИГАЗ)

В 1978 г. окончил Московский геологоразведочный институт (Российский государственный геологоразведочный университет – РГГРУ). В настоящее время – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геоинформатики РГГРУ и начальник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности ООО «ВНИИГАЗ».

Е.В. Киселевский («Газпром»)

В 1976 г. окончил Московский горный институт. В настоящее время – начальник отдела маркшейдерско-геодезического и информационного обеспечения недропользования ОАО «Газпром».

Ю.И. Кантемиров (ВНИИГАЗ)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работает в ООО «ВНИИГАЗ», в настоящее время – младший научный сотрудник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности.

М.А. Болсуновский (Компания «Совзонд»)

В 1990 г. окончил Киевское высшее инженерное радиотехническое училище. С 2004 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время – заместитель генерального директора.

Мониторинг смещений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов с помощью комплекса космических и геодезических методов

В настоящее время есть две точки зрения на вопрос наличия техногенных деформаций земной поверхности при разработке месторождений углеводородного сырья. Первая – при разработке газовых месторождений возникают обширные по площади просадки земной поверхности. Вторая – добываемые нефть и газ в порых пород-коллекторов замещаются несжимаемой жидкостью водой, и поэтому никаких существенных техногенных оседаний земной поверхности вообще нет.

С другой стороны, район севера Западно-Сибирской мегапровинции характеризуется наличием многочисленных природных процессов, вызывающих положительные и отрицательные смещения земной поверхности. Здесь следует, в первую очередь, отметить геокриологические процессы (мерзлотное сезонное пучение грунтов, солифлюкционные и криогенные оползни,

термокарстовые процессы и т. д.), а также геодинамические процессы и лунный цикл приливов и отливов.

Поскольку и природные, и техногенные смещения земной поверхности в районе промышленной, транспортной и жилой инфраструктуры представляют собой потенциально опасный процесс – сегодня предусматривается организация системы наблюдений за состоянием горных отводов в виде сети реперов, установленных в пределах контура всего месторождения, с примыканием к опорным пунктам, вынесенным за область влияния деформационных процессов и с использованием традиционных методов повторных инструментальных измерений (как правило – нивелирования II класса). Даная технология, как показал опыт ООО «Газпром добыча Уренгой», потребовала создания геодинамического полигона с протяженностью ходов нивелирования около 1400 км.

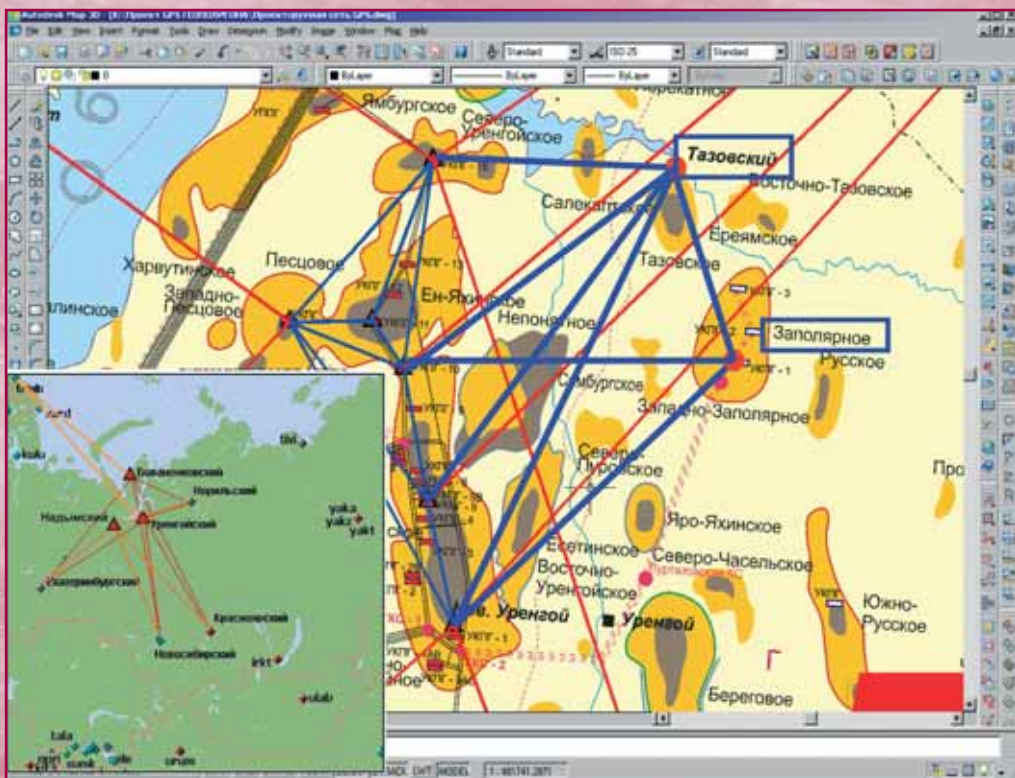


Рис. 1.
Схема размещения сети пунктов GPS на месторождениях ЯНО

Такой подход характеризуется значительными финансовыми затратами уже на стадии установки реперов, поскольку расстояние между ними жестко задано, заменить их полностью за счет использования устьев скважин невозможно. Расстояние между реперами регламентировано в пределах 300-500 м, а в зонах предполагаемых тектонических нарушений – 100 м. Кроме того, репера в условиях Крайнего Севера нередко требуется устанавливать на глубину до 15 м.

Традиционные геодезические измерения (высокоточное геометрическое нивелирование) крайне дорого и требует значительных временных затрат, в связи с чем интервалы времени между повторными измерениями составляют несколько лет.

За рубежом для решения задач контроля деформаций земной поверхности и массива горных пород,

перекрывающего нефтегазонастные пласты разрабатываемых месторождений, начали применять новые технологии. Они основаны на сети постоянно действующих и равномерно расположенных на территории месторождений станций глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) – GPS и ГЛОНАСС и интегрированных в сеть постоянно действующих станций IGS (Международной службы ГНСС). Эта технология позволяет получать все три координаты станций ГНСС, расположенных на территории месторождения, в режиме реального времени с точностью порядка 5 мм.

ООО «ВНИИГАЗ» считает необходимым одновременно с точечными наблюдениями ГНСС вести в мониторинговом режиме космическую радиолокационную интерферометрическую съемку территорий месторождений углеводородов, позволяющую регулярно получать

поле смещений земной поверхности с высокой точностью. Параллельно – раз в несколько лет – наблюдения за деформационными процессами проводятся традиционными геодезическими методами. Сопоставительный анализ результатов этих трех независимых методов наблюдений за смещениями земной поверхности (повторное нивелирование, наблюдения ГНСС и космическая дифференциальная радиолокационная интерферометрия) позволяют осуществлять взаимоконтроль и уточнение фиксируемых смещений.

Внедрение подобной системы мониторинга начато на месторождениях нефти и газа севера Западно-Сибирской мегапровинции.

В первую очередь, для получения объективных и достоверных результатов по определению деформаций земной поверхности создана система наблюдений на основе сети постоянно действующих пунктов GPS на месторождениях ОАО «Газпром» в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) (рис. 1). Исходный пункт сети расположен в здании «Газпром добыча Уренгой». На этом пункте в непрерывном режиме, начиная с 2004 г., определяются его текущие пространственные координаты относительно пунктов сети IGS, а от него периодически определяются пространственные координаты пунктов, установленные на зданиях и сооружениях, расположенных на территории разрабатываемых месторождений дочерних предприятий.

По результатам спутниковых измерений на пунктах сети были получены значения вертикальных смещений, которые приведены на рис. 2.

По данным, приведенным на рис. 2, можно сделать два основных вывода.

1. Общая тенденция по всем приведенным пунктам GPS свидетельствует о наличии смещений земной поверхности в контурах месторождений ЯНАО относительно внешних пунктов сети.

2. Величины «оседаний» на двух пунктах GPS Заполярного месторождения за один год составили

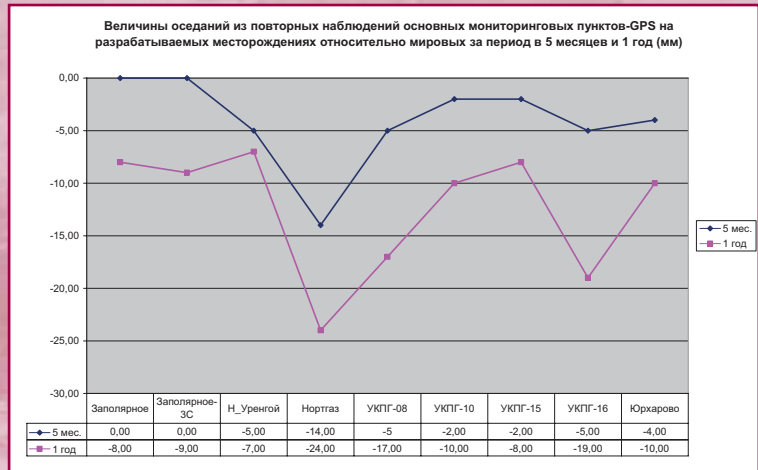


Рис. 2.

Величины смещений на разрабатываемых месторождениях, полученные по результатам спутниковых измерений

порядка 1 см, а в целом за этот же период по другим пунктам не превышают 2,4 см, при точности определения координат не хуже 2 мм.

В качестве высокоточного площадного метода наблюдений за смещениями земной поверхности в 2006 г. в ООО «ВНИИГАЗ» начали применять технологию космической радиолокационной дифференциальной интерферометрии. Она представляет собой эффективное средство прямого определения смещений земной поверхности и деформаций сооружений. Причем существует возможность применять эту технологию как отдельно от вышеперечисленных других методов определения деформаций поверхности, так и в комплексе с ними (что представляется наиболее рациональным). Принципиальное преимущество дифференциальной радиолокационной интерферометрии перед другими методами мониторинга вертикальных и плановых деформаций заключается в прямом измерении деформаций рельефа, произошедших за период между двумя (тремя, четырьмя и более) съемками.

Получаемый в результате интерферометрической обработки файл смещений, как правило, показывает интегральную картину деформаций. Обычно она складывается из различных природных и техногенных составляющих. Точечная калибровка полученных значений

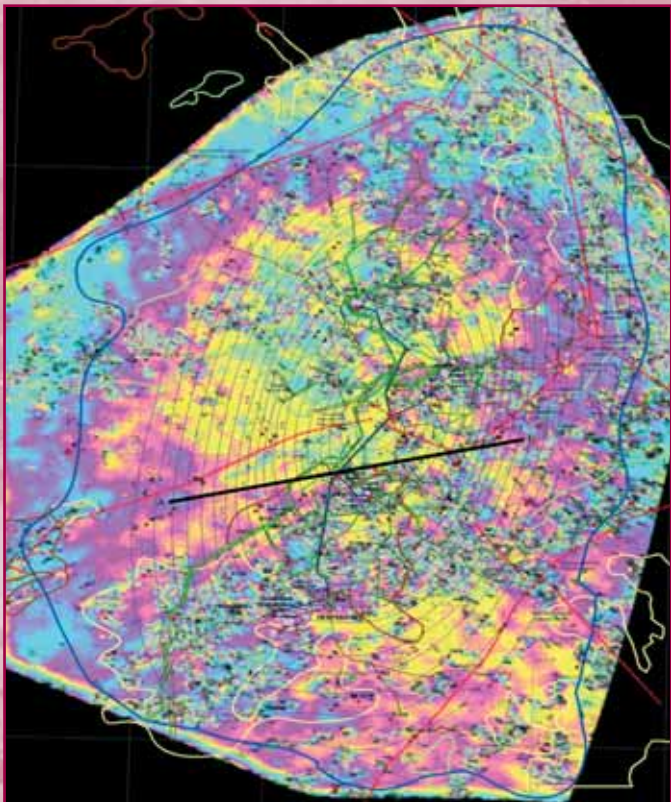


Рис. 3.
Дифференциальная интерферограмма, показывающая смещения земной поверхности на Заполярном месторождении за период с 2004 по 2005 гг.

на карте смещений земной поверхности может осуществляться по данным спутниковых наблюдений ГНСС.

Космический радиолокационный мониторинг просадок, вызванных разработкой нефтегазовых месторождений, успешно осуществляется за рубежом с середины 1990-х гг. В силу различных причин, в России метод радиолокационного интерферометрического мониторинга смещений земной поверхности не получил широкого распространения. Однако его преимущества очевидны. Это, прежде всего, возможность осуществлять мониторинг деформаций любых территорий (в том числе, значительных по площади и протяженности) с высокой точностью при невысокой стоимости работ (на порядок ниже аналогичных по точности дистанционных методов, например, лазерного сканирования).

Объем работ по наземному обеспечению мониторинга представляется выполнимым маркшейдерскими службами добывающих предприятий (при необходимости с привлечением соисполнителей). Получаемая на выходе карта смещений поверхности, помимо ответа на вопрос о наличии и величине просадок, несет в себе информацию о природной и техногенной геодинамике и может использоваться для оценки экологической и геодинамической безопасности разработки месторождения, прогноза рисков, мониторинга деформаций промышленных сооружений и трубопроводов и т. д.

Кроме того, для прогнозирования ожидаемых техногенных смещений, вызванных разработкой месторождений, применяются модельные расчеты. Несмотря на то, что они характеризуются значительными допущениями (в частности, необходимо оценивать значения объемного модуля упругости породного скелета от пласта-коллектора до земной поверхности), информация об ожидаемых техногенных просадках, вызванных разработкой, без сомнения, является крайне интересной и полезной.

Наземные инструментальные геодезические измерения на реперах, позволяют получить значения смещений в точках и по профилю, но построить достоверную непрерывную карту деформаций земной поверхности на всю площадь месторождения по этим данным не представляется возможным, поскольку между узловыми точками и профилями необходимо будет выполнить обычную интерполяцию. Кроме того, эти наблюдения, как уже говорилось выше, не всегда могут выполняться в оперативном мониторинговом режиме, и промежуток между повторными наблюдениями может достигать 20 лет.

Таким образом, по мнению авторов, каждый из вышеописанных методов наблюдений за деформационными процессами имеет свои преимущества и недостатки, из чего следует, что для взаимного уточнения и взаимоконтроля все эти методы должны применяться в комплексе.

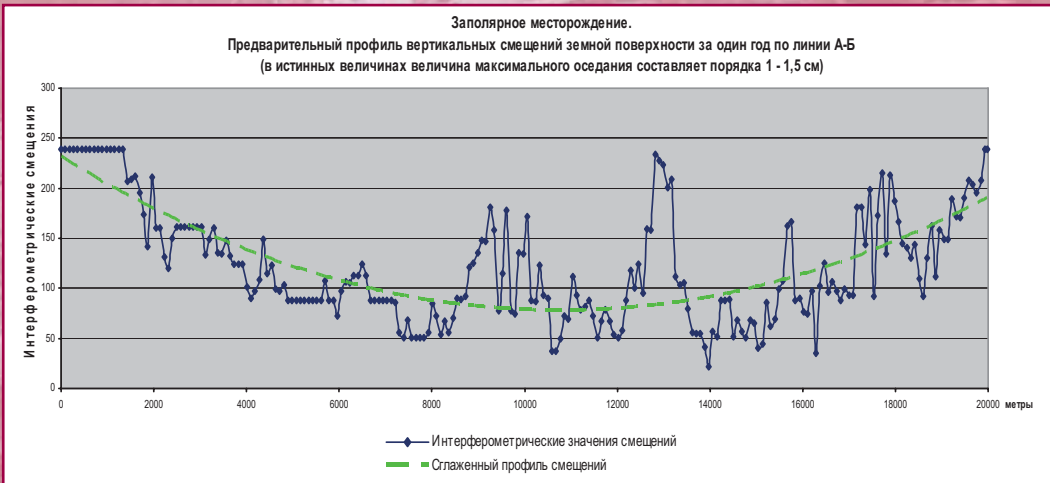


Рис. 4.

Профиль вертикальных смещений земной поверхности за один год по линии АБ, построенный по данным радиолокационной интерферометрии

В заключение приведем пример такого комплексного мониторинга смещений земной поверхности космическими, геодезическими и расчетными методами. Объектом исследований являлось Заполярное газоконденсатонефтяное месторождение.

Для анализа смещений по площади была привлечена интерферометрическая пара радиолокационных снимков за июль 2004 и август 2005 гг., сделанных со спутника ENVISAT (Европейское космическое агентство). По результатам специализированной дифференциальной интерферометрической обработки этих снимков была построена карта вертикальных смещений земной поверхности в единицах разности фаз, которая приведена на рис. 3. С этой картой совмещены ранее полученные данные по районированию геокриологических процессов, изолинии оседаний прогнозной мульды сдвига горных пород и инфраструктура Заполярного месторождения.

На рис. 4 приведен профиль смещений земной поверхности по линии АБ на карте смещений. Отметим, что тренд, проведенный по профилю смещений АБ, хорошо коррелируется с расчетной мульдой прогнозируемых техногенных оседаний земной поверхности, вызванных разработкой месторождения. Она характеризуется концентрическими изолиниями просадок с возрастанием их величины от контура сеноманской залежи месторождения к ее центру (черные изолинии на рис. 3).

Далее перейдем от смещений земной поверхности в единицах разности фаз к метрической системе. Поскольку интерферометрический фринг (переход от синего цвета к следующему синему на интерферометрическом изображении на рис. 3) равен 2,5 см (половине длины волны радиолокационного интерферометра), то сглаженные значения оседаний земной поверхности составляют за год 1-1,5 см (иллюстрация на примере профиля АБ, рис. 4). Этот результат практически полностью совпадает с результатами, полученными по наблюдениям на пунктах GPS Заполярного месторождения. Области геокриологических процессов, ранее выделенные на основе дешифрирования космических снимков, практически полностью совпадают с областями мозаичного отображения интерференции на территории месторождения (на профиле — резко изменяющиеся значения).

Полученные результаты показали высокую эффективность комплексирования космических и геодезических методов для задач мониторинга природных и техногенных смещений земной поверхности. Эти результаты учтены при подготовке ООО «ВНИИГАЗ» отраслевого стандарта «Методика проведения космического мониторинга состояния территорий горных отводов для обеспечения промышленной безопасности при добыче и хранении нефти и газа».



II МЕЖДУНАРОДНАЯ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ "ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ"

**29-31.X.2008
Казахстан**

Алматы

Цель конференции - обмен опытом в области новейших технологий обработки данных ДЗЗ и применения современных ГИС-решений для задач государственного, регионального и городского управления, общественной безопасности, земельного кадастра, нефтегазовой отрасли, геологии, сельского хозяйства, водного хозяйства, экологии и рационального природопользования.

ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ:

- Космическая стереосъемка — для моделирования задач рационального использования водных ресурсов;
- Применение результатов обработки радиолокационных данных в нефтегазовом комплексе;
- Использование высокоточной съемки и ГИС-технологий для решения задач земельного кадастра и управления земельными ресурсами;
- Трехмерная визуализация объектов градостроительной деятельности;
- Тематический анализ данных ДЗЗ для задач сельского хозяйства;
- Современный подход к созданию тематических ГИС;
- Создание Центра космического мониторинга для решения региональных, отраслевых и корпоративных задач.

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:

Казахстан, Алматы, ул. Боребай батыра, 115, Grand Hotel "Тен-Шан"

www.ersconf.kz

050008, г. Алматы, ул. Манаса, 76
Телефон: +7 (727) 266-33-63
Факс: +7 (727) 266-33-63
E-mail: info@digitalorb.kz
Web-site: www.digitalorb.kz

DigitalORB



115448, г. Москва, Штиловская, 28а
Тел: +7(495) 988-7511, 514-8339
Факс: +7 (495) 988-7533
E-mail: info@sovzond.ru
Web-site: www.sovzond.ru

III Международная конференция «Космическая съемка – на пике высоких технологий»

пройдет с 15 по 17 апреля 2009 г. в Подмоскowie

III Международная конференция «Космическая съемка – на пике высоких технологий» пройдет с 15 по 17 апреля 2009 г. в элитном подмосковном комплексе «Атлас Парк-Отель», который расположен в одном из живописных мест Подмоскowie в 15 минутах езды от аэропорта «Домодедово» (в 30 км от МКАД).

Международная конференция «Космическая съемка – на пике высоких технологий», ежегодно организуемая компанией «Совзонд», становится все более популярной в геоинформационном сообществе. Конференция по праву занимает место в календаре самых значимых событий отрасли, поскольку данное событие предоставляет возможность подвести итоги года и обозначить дальнейшие перспективы развития рынка дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Стремительное развитие отрасли ДЗЗ совершенно естественно вызывает все возрастающее желание специалистов поделиться опытом использования космических технологий в разрабатываемых и реализованных проектах.

Научно-технические достижения последних лет в области создания и развития космических средств, технологий обработки, хранения, интерпретации и использования получаемых данных многократно расширили круг и масштаб задач, решаемых средствами дистанционного зондирования Земли со спутников. Растет число потребителей, данные космических съемок активно используются не только в научных и практических целях, но и в повседневной жизни людей. На орбите работают новейшие космические аппараты

ДЗЗ, в т. ч. оптико-электронные спутники небывалого сверхвысокого разрешения, такие как WorldView-1 (50 см) и GeoEye-1 (41 см), радарные – TerraSAR-X, Cosmo-SkyMed, Radarsat-2. Запущенная в августе 2008 г. группировка из пяти спутников RapidEye по своим техническим характеристикам открывает новые возможности в оперативном космическом мониторинге.

Растущий объем рынка данных ДЗЗ и увеличение числа пользователей обусловили появление принципиально новых сервисов, обеспечивающих мультипользовательский доступ к данным. Это в первую очередь сервисы ImageConnect и ImageBuilder. ImageConnect является уникальным расширением к ГИС-программам, позволяющим загрузить космические изображе-



ния со спутников QuickBird и WorldView-1 в программную среду пользователя непосредственно из архива оператора – компании DigitalGlobe. Особый интерес представляет появившийся в прошедшем году сервис MyFormosat, который позволяет заказчику самостоятельно осуществлять планирование новой съемки и получать данные со спутника высокого разрешения Formosat-2. Основным преимуществом этого сервиса является оперативность заказа съемки (24 ч). Подписчику сервиса MyFormosat дается уникальная возможность зарезервировать определенную часть спутниковых съемочных мощностей.

Появление в процессе использования данных ДЗЗ и ГИС-технологий качественно новой информации о состоянии территорий, возможность проведения космического мониторинга в различных отраслях народного хозяйства определяют необходимость системного подхода. Создание региональных или отраслевых центров оперативного космического мониторинга – ключ к комплексному решению этих задач.

Международная конференция «Космическая съемка – на пике высоких технологий» стала традиционным местом встречи руководителей и ведущих специалистов российских и зарубежных компаний, работающих в области 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 нефтегазовой отрасли и энергетике.

Впервые конференция «Космическая съемка – на

пике высоких технологий» прошла в 2007 г. и собрала более 250 участников из 11 стран мира: России, Белоруссии, Великобритании, Германии, Индии, Италии, Казахстана, Нидерландов, США, Украины, Франции. В конференции 2008 г. приняли участие уже 300 человек, расширилась и география – добавились представители Канады, Норвегии, Тайваня, Узбекистана, Японии.

На предстоящую в 2009 г. конференцию приглашены ведущие российские и зарубежные операторы космических систем ДЗЗ – НЦ ОМЗ (Россия), ЦСКБ «Прогресс» (Россия), ГКНПЦ им. М.В. Хруничева (Россия), ФГУП Госцентр «Природа» (Россия), ВПК «НПО машиностроения» (Россия), ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» (Россия), DigitalGlobe (США), GeoEye (США), Infoterra (Германия), RapidEye (Германия), SpotImage (Франция), MDA (Канада), а также компании-поставщики программного обеспечения для обработки ДДЗ ИТТ VIS (США и Франция), Bentley Systems (США), INPHO (Германия) и мн. др.

Основные темы предстоящей конференции:

- Современное состояние и тенденции развития российских и зарубежных программ дистанционного зондирования Земли;
- Программные комплексы, системы и решения для обработки данных ДЗЗ от ведущих российских и зарубежных разработчиков;
- Опыт решения практических задач с использованием данных ДЗЗ;
- Опыт и проблемы реализации проектов с использованием ГИС и пространственных данных;
- Комплексный подход использования новейших технологий ДЗЗ для информационного обеспечения ситуационных центров.

В рамках конференции пройдут семинары и презентации компании «Совзонд» и партнеров, мастер-классы, выставка, культурно-развлекательные мероприятия.

Новости о подготовке к конференции будут публиковаться на специальном сайте <http://www.sovzondconference.ru>. В разделе «Регистрация» можно оформить заявку на участие. Крайний срок ранней регистрации – 31 января 2009 г.

Дополнительную информацию Вы сможете получить в компании «Совзонд» по тел. +7 (495) 988-75-11, 514-83-39 или по e-mail: conference@sovzond.ru.





III Международная конференция "Космическая съемка – на пике высоких технологий" 15–17 апреля 2009 г.

Москва

Целью конференции является широкий обмен опытом использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) 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:

- Современное состояние и тенденции развития российских и зарубежных программ ДЗЗ.
- Программные комплексы, системы и решения для обработки данных ДЗЗ от ведущих российских и зарубежных разработчиков.
- Опыт решения практических задач с использованием данных ДЗЗ.
- Опыт и проблемы реализации проектов с использованием ГИС и пространственных данных.



ОРГАНИЗАТОР:

Компания "Совзонд"

Тел: +7 (495) 988-7611, 988-7622, 514-8338.

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)
- Infoterra (Германия)
- SpotImage (Франция)
- ITT ViS (США, Франция)

ПАРТНЕР:



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
ИНФОРМАЦИОННЫЙ
СПОНСОР



ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СПОНСОРЫ:



Всемирная орбитальная группировка космических аппаратов ДЗЗ

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

| Наименование КА (системы) | Страна | Дата запуска | Разрешение в панхроматическом режиме, м | Разрешение в мультиспектральном режиме, м | Ширина полосы съемки, км |
|---------------------------|----------------|--------------|---|---|--------------------------|
| DMC AlSat-1 (SSTL) | Алжир | 28.11.2002 | — | 32 | 600 |
| DMC UK (SSTL) | Великобритания | 27.09.2003 | — | 32 | 600 |
| TopSat (SSTL) | Великобритания | 27.10.2005 | 2,5 | 5 | 10, 15 |
| RapidEye-A | Германия | 29.08.2008 | — | 6,5 | 78 |
| RapidEye-B | Германия | 29.08.2008 | — | 6,5 | 78 |
| RapidEye-C | Германия | 29.08.2008 | — | 6,5 | 78 |
| RapidEye-D | Германия | 29.08.2008 | — | 6,5 | 78 |
| RapidEye-E | Германия | 29.08.2008 | — | 6,5 | 78 |
| Proba | ЕКА | 21.10.1997 | — | 18 Нур | 14 |
| EROS A1 | Израиль | 05.12.2000 | 1,8 | — | 14 |
| EROS B1 | Израиль | 25.04.2006 | 0,7 | — | 7 |
| Cartosat-1 (IRS-P5) | Индия | 04.05.2005 | 2,5 | — | 30 |
| Cartosat-2 | Индия | 10.01.2007 | 0,8 | — | 10 |
| IRS-1D | Индия | 29.09.1997 | 6,0 | 23 | 70, 142 |
| Resourcesat-1 (IRS-P6) | Индия | 17.10.2003 | 6,0 | 6, 23, 56 | 24, 140,740 |
| Beijing-1 (SSTL) | Китай | 27.10.2005 | 4,0 | 32 | 600 |
| CBERS-2 | Китай/Бразилия | 21.10.2003 | 20,0 | 20 | 113 |
| CBERS-2B | Китай/Бразилия | 19.09.2007 | 20,0 | 20 | 113 |
| KOMPSAT-1 | Корея | 20.12.1999 | 6,6 | — | 17 |
| KOMPSAT-2 | Корея | 28.07.2006 | 1,0 | 4 | 15 |
| DMC NigeriaSat-1 (SSTL) | Нигерия | 27.09.2003 | — | 32 | 600 |
| Монитор-Э1 | Россия | 26.08.2005 | 8,0 | 20 | 94, 160 |
| Ресурс-ДК1 | Россия | 15.06.2006 | 1,0 | 3 | 28 |
| EO-1 | США | 21.11.2000 | 10,0 | 30 | 37 |
| GeoEye-1 | США | 06.09.2008 | 0,4 | 1,64 | 15 |
| IKONOS | США | 24.09.1999 | 1,0 | 4 | 11 |

| | | | | | |
|-----------------------|-----------------|------------|--------|--------------|--------------|
| Landsat-7 | США | 15.04.1999 | 15,0 | 30 | 185 |
| Landsat-5 | США | 01.03.1984 | — | 30,0 | 185 |
| QuickBird | США | 18.10.2001 | 0,6 | 2,5 | 16 |
| WorldView-1 | США | 18.09.2007 | 0,5 | — | 16 |
| TERRA (ASTER) | США/Япония | 15.12.1999 | — | 15, 30, 90 | 60 |
| THEOS | Таиланд | 01.10.2008 | 2,0 | 15 | 22, 90 |
| FORMOSAT-2 | Тайвань | 20.04.2004 | 2,0 | 8 | 24 |
| DMC BilSat (SSTL) | Турция | 27.09.2003 | 12,0 | 26 | 24, 52 |
| SPOT-2 | Франция | 22.01.1990 | 10,0 | 20 | 120 |
| SPOT-4 | Франция | 24.03.1998 | 10,0 | 20 | 120 |
| SPOT-5 | Франция | 04.05.2002 | 2,5 | 10 | 120 |
| ALOS | Япония | 24.01.2006 | 2,5 | 10 | 35, 70 |
| Планируемые к запуску | | | | | |
| Alsat-2A | Алжир | 2008 | 2,5 | 10 | н/д |
| Alsat-2B | Алжир | 2009 | 2,5 | 10 | н/д |
| DMC UK-2 | Великобритания | 2008 | — | 22 | 660 |
| EnMap | Германия | 2011 | — | 30 Нур | 30 |
| EROS C | Израиль | 2009 | 0,7 | 2,8 | 11 |
| Venus | Израиль/Франция | 2008 | — | 10 | 28 |
| IRS ResourceSat-2 | Индия | 2008 | 6,0 | 6, 23, 56 | 24, 140, 740 |
| TWSAT | Индия | 2009 | — | 35 | 140 |
| DMC Deimos-1 | Испания | 2008 | — | 22 | 660 |
| SeoSat | Испания | 2010 | 2,5 | — | н/д |
| Hi-res Sterio Imaging | Китай | 2008 | 2,5, 5 | 10 | н/д |
| HJ-1-A | Китай | 2008 | — | 30, 100 Нур | 720, 50 |
| HJ-1-B | Китай | 2008 | — | 30, 150, 300 | 720 |
| CBERS-3 | Китай/Бразилия | 2009 | 5,0 | 20 | 60, 120 |
| CBERS-4 | Китай/Бразилия | 2010 | 5,0 | 20 | 60, 120 |
| KOMPSAT-3 | Корея | 2009 | 0,7 | 3,2 | н/д |
| RazakSat | Малайзия | 2008 | 2,5 | 5 | н/д |
| DMC NigeriaSat | Нигерия | 2009 | 2,5 | 5, 32 | 320 |
| DubaiSat-1 | ОАЭ | 2008 | н/д | н/д | н/д |
| X-Sat | Сингапур | 2008 | — | 10 | 50 |
| LDCM | США | 2011 | 10,0 | 30 | 177 |
| Sentinel 2 A | США | 2012 | — | 10, 20, 60 | 285 |
| Sentinel 2 B | США | 2013 | — | 10, 20, 60 | 285 |
| WorldView-2 | США | 2008 | 0,5 | 1,8 | 16 |
| ARGO | Тайвань | 2009 | — | 6,5 | 78 |
| Pleiades-HR1 | Франция | 2010 | 0,7 | 2,8 | 20 |
| Pleiades-HR2 | Франция | 2011 | 0,7 | 2,8 | 20 |
| SPOT | Франция | 2012 | 2,0 | 6 | 60 |
| SumbandilaSat | ЮАР | 2008 | — | 7,5 | н/д |

Космические аппараты с радиолокационными системами ДЗЗ

| Наименование КА (системы) | Страна | Дата запуска | Наилучшее разрешение, м | Радио-диапазон |
|----------------------------|-----------|--------------|-------------------------|----------------|
| TerraSAR-X | Германия | 15.07.2007 | 1,0 | X |
| ENVISAT | ЕКА | 01.03.2002 | 30,0 | C |
| ERS-2 | ЕКА | 21.04.1995 | 30,0 | C |
| Cosmo-Skymed-1 | Италия | 08.06.2007 | 1,0 | X |
| Cosmo-Skymed-2 | Италия | 08.12.2007 | 1,0 | X |
| Radarsat-1 | Канада | 04.11.1995 | 8,5 | C |
| Radarsat-2 | Канада | 14.12.2007 | 3,0 | X |
| YaoGan WeiXing 1 (JB-5) | Китай | 27.04.2006 | 5,0 | L |
| YaoGan WeiXing 3 (JB-5-02) | Китай | 12.11.2007 | 5,0 | L |
| ALOS | Япония | 24.01.2006 | 10,0 | L |
| Планируемые к запуску | | | | |
| SAOCOM-1A | Аргентина | 2008 | 10,0 | L |
| SAOCOM-1B | Аргентина | 2009 | 10,0 | L |
| TanDem-X | Германия | 2009 | 1,0 | X |
| TerraSAR L | Германия | 2008 | 1,0 | L |
| Sentinel 1 | ЕКА | 2011 | 5,0 | C |
| RISAT | Индия | 2008 | 3,0 | C |
| GeoSar | Испания | 2011 | н/д | н/д |
| Cosm-Skymed-3 | Италия | 2008 | 1,0 | X |
| Cosm-Skymed-4 | Италия | 2009 | 1,0 | X |
| Radarsat Constellation-1 | Канада | 2011 | н/д | C |
| Radarsat Constellation-2 | Канада | 2012 | н/д | C |
| Radarsat Constellation-3 | Канада | 2013 | н/д | C |
| HJ-1C | Китай | 2008 | н/д | S |
| KompSat 5 | Корея | 2010 | 3,0 | X |

Пимечание.

Планируемые к запуску КА и даты запуска, а также характеристики всех радиолокационных систем ДЗЗ даны по материалам ASPRS на 12.02.2008.

Космические аппараты с радиолокационными системами ДЗЗ

Космический аппарат Alos запущен 24 января 2006 г. с космодрома Танегашима (Япония). Владельцем спутника является Японское аэрокосмическое агентство JAXA. КА был выведен на солнечно-синхронную орбиту высотой 691,65 км.

КА ALOS оснащен радиолокатором L-диапазона (PALSAR), предназначенным для круглосуточного и всепогодного наблюдения Земли и позволяющим получать изображения с разрешением от 10 до 100 м.

Радиолокационная система PALSAR, может менять угол визирования в диапазоне 10-51° относительно надир, используя технологию антенны с фазированной решеткой с 80 модулями приема/передачи. Один из основных режимов наблюдения – «точный режим». Этот режим с высокой разрешающей способностью является основным рабочим режимом для интерферометрических наблюдений. Режим ScanSAR позволяет получать полосы покрытия шириной до 350 км с единичной горизонтальной (HH) или вертикальной (VV) поляризацией. Пространственное разрешение составляет около 100 м в продольном и поперечном направлениях. Поляриметрический режим используется в порядке эксперимента. Поляризация меняется в



Alos (PALSAR)

каждом импульсе передаваемого сигнала, а сигналы с двойной поляризацией принимаются вместе. При максимальной скорости передачи данных (240 Мбит в секунду) ширина полосы покрытия равна 30 км, а пространственное разрешение составляет 30 м. Расчетный срок пребывания спутника на орбите составляет не менее 5 лет.

Основные технические характеристики

| Микроволновый радиодиапазон | L-диапазон (23,5 см) | | | | |
|---|--|----------------------------|--|------------------------------|---------------------------------------|
| Режим | FBS (HH или VV) | FBD (HH, HV или VV, VH) | Прямая передача данных (HH или VV) | ScanSAR (HH или VV) | Поляриметрический (HH, VV, HV, VH) |
| Номинальное пространственное разрешение, м | 7 | 14 | 14 | 100 (в режиме multy Look) | 24 |
| Ширина полосы съемки, км | 70 | 70 | 70 | 350 | 3 |
| Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/сек | 240 | 240 | 120 | 120 | 240 |
| Радиометрическое разрешение, бит | 5 | 5 | 3 / 5 | 5 | 3 / 5 |
| Формат файлов | CEOS, по желанию заказчика GeoTIFF | | | | |
| Обработка | Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция Приведение к картографической проекции | | | | |
| Периодичность съемки, дней | 46 | | | | |
| Срок выполнения заказа, дней | 7-14 для архивной съемки 7-40 для съемки на заказ | | | | |

Cosmo-SkyMed 1-4



Серия космических аппаратов двойного назначения Cosmo-SkyMed 1-4 (Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin Observation – созвездие малых спут-

ников для наблюдения за Средиземноморским бассейном), разрабатываемая Итальянским космическим агентством (ASI) совместно с Министерством обороны Италии будет полностью развернута в ближайшие 2 года. Первые два КА были запущены с авиабазы Вандерберг (США) соответственно 8 июня и 9 декабря 2007 г. и выведены на орбиту с высотой 619,6 км и наклоном 97,86°. КА Cosmo-SkyMed 3-4 планируется запустить в 2008-2009 гг. Все спутники группировки оснащены радиолокаторами с синтезированной апертурой, позволяющими выполнять интерферометрическую съемку земной поверхности с беспрецедентным пространственным разрешением (лучше 1 м на местности). Радиолокационная система каждого спутника будет снимать земную поверхность в X-диапазоне (3,1 см), с изменяемой поляризацией излучения (HH, VH, HV, VV), в диапазоне съемочных углов от 20° до 50°. Расчетный срок пребывания на орбите каждого космического аппарата Cosmo-SkyMed 1-4 составляет около 5 лет. Оператором спутников является компания Telespazio (Италия).

Основные технические характеристики

| Микроволновый радиодиапазон | X-диапазон (3,1 см) | | | | |
|--|--|---|--|--|---|
| Режим | С одним режимом поляризации (по выбору - HH, VV, HV или VH) | | | | С двумя режимами поляризации (по выбору HH, VV, HV или VH) |
| | Сверхвысокого разрешения (Spotlight или «Frame») | Высокого разрешения (HIMAGE или Stripmap) | Среднего разрешения (WideRegion или ScanSAR) | Низкого разрешения (Huge Region или ScanSAR) | Среднего разрешения с двойной поляризацией (Ping Pong или Stripmap) |
| Номинальное пространственное разрешение, м | ≤ 1 | 3-15 | 30 | 100 | 15 |
| Размер сцены, км | 10 x 10 | 40 | 100 | 200 | 30 |
| Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/сек | 300 | | | | |
| Радиометрическое разрешение, бит на пиксель | 8 | | | | |
| Формат файлов | CEOS | | | | |
| Обработка | Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция Приведение к картографической проекции, создание ЦМР | | | | |
| Периодичность съемки, ч | Каждые 10 | | | | |
| Срок выполнения заказа | 1-3 дня для архивных данных 12 ч - 3 дня для съемки на заказ | | | | |
| Минимальная площадь заказа | Одна стандартная сцена для любого из 4 режимов | | | | |

Envisat

1 марта 2002 г. Европейским космическим агентством (ESA) в целях дальнейшего развития программы исследований земной поверхности, начатой спутниками ERS, был осуществлен запуск космического аппарата Envisat. Была выбрана солнечно-синхронная орбита со средней высотой 790 км, наклоном 98,55° и 35-дневным циклом повтора, обеспечивающим глобальное покрытие в промежутке от 1 до 3 дней.

КА является многоцелевым, на нем установлено 9 разнообразных систем дистанционного зондирования, включая оптические сканеры, ультрафиолетовые и инфракрасные спектрометры, радиолокационный альтиметр и т. д. Однако, учитывая сверхнизкое пространственное разрешение большинства перечисленных приборов, наибольший интерес для широкого круга пользователей представляет усовершенствованный радиолокатор бокового обзора с синтезированной апертурой (SAR), выполняющий съемку земной поверхности в С-диапазоне (5,6 см), с изменяемой поляризацией излучения, в диапазоне съемочных углов от 15° до 45°.



Расчетный срок пребывания КА Envisat на орбите – 4 года, на сегодняшний день аппарат продолжает успешно работать.

Основные технические характеристики

| Микроволновый радиодиапазон | С-диапазон (5,6 см) | | |
|--|--|--------------------------------------|--|
| | Среднего разрешения (Image Mode) | Низкого разрешения (Wide Swath mode) | Глобального мониторинга (Global Monitoring mode) |
| Режим | | | |
| Номинальное пространственное разрешение, м | 30 | 150 | 1000 |
| Ширина полосы съемки, км | 100 | 400 | 400 |
| Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/сек | 105 | | |
| Радиометрическое разрешение, бит на пиксель | 8 | | |
| Формат файлов | CEOS | | |
| Обработка | Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция Приведение к картографической проекции | | |
| Периодичность съемки, суток | От 2,5 до 35 | | |
| Срок выполнения заказа, дней | 7-14 для архивных данных 7-40 для съемки на заказ | | |
| Минимальная площадь заказа | Одна квадратная сцена с длиной равной ширине полосы съемки для любого режима | | |

ERS-1 и ERS-2



Космическая система ERS разрабатывалась Европейским космическим агентством (ESA) с начала 1980-х гг. 17 июля 1991 г. на солнечно-синхронную орбиту со средней высотой 785 км и наклоном $98,5^\circ$ был запущен первый КА серии – ERS-1. Второй КА – ERS-2, ставший преемником и конструктивным аналогом ERS-1, был выведен на такую же орбиту 21 апреля 1995 г. На первом из спутников установлено 5, на втором – 6 разнообразных систем

дистанционного зондирования, включая оптические ультрафиолетовые и инфракрасные сканеры, радиолокационный альтиметр и т. д. Однако, учитывая сверхнизкое пространственное разрешение большинства перечисленных приборов, наибольший интерес для широкого круга пользователей представляет радиолокатор бокового обзора с синтезированной апертурой (SAR), выполняющий съемку земной поверхности в С-диапазоне (5,6 см), с вертикальной поляризацией излучения (VV), в диапазоне съемочных углов от 20° до 26° . Расчетный срок пребывания на орбите спутника ERS-1 определялся в 3 года, однако аппарат продолжал успешно работать до 10 марта 2000 г., что позволило ESA в течение почти 5 лет эксплуатировать спутниковую группировку, обеспечивавшую удвоенную периодичность съемки поверхности Земли. Также благодаря этому был проведен ряд экспериментов по радиолокационной интерферометрии, в частности осуществлен проект ERS Tandem, продолжавшийся в 1995-1996 гг. и значительно продвинувший технологии радиолокационного дистанционного зондирования Земли. Срок пребывания на орбите ERS-2 определялся в 2 года, несмотря на мелкие неисправности, он успешно проработал до июня 2003 г. С тех пор, в связи с поломкой записывающего устройства, съемка ведется только в пределах доступности наземных станций ESA.

Основные технические характеристики

| | |
|--|--|
| Микроволновый радиодиапазон | С-диапазон (5,6 см) |
| Режимы | Основной режим (AMI-SAR Image Mode) |
| Номинальное пространственное разрешение , м | 26 X 30 |
| Ширина полосы съемки, км | 100 |
| Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/сек | 105 |
| Радиометрическое разрешение, бит на пиксель | 8 |
| Формат файлов | CEOS |
| Обработка | Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция Приведение к картографической проекции |
| Периодичность съемки, суток | Не более 35 |
| Срок выполнения заказа, дней | 7-14 для архивных данных Не более 50 для съемки на заказ |
| Минимальная площадь заказа | Одна квадратная сцена с длиной равной ширине полосы съемки для любого режима |

Radarsat-1

Космический аппарат Radarsat-1, созданный под управлением Канадского космического агентства CSA (Canadian Space Agency) во взаимодействии с несколькими коммерческими структурами, запущен 4 ноября 1995 г. с авиабазы Ванденберг в Калифорнии (США) на солнечно-синхронную орбиту с высотой 798 км и наклоном 98,6°. Спутник оснащен радиолокатором бокового обзора с синтезированной апертурой, обладающим уникальными возможностями изменения ширины полосы съемки и пространственного разрешения. Радиолокационная система выполняет съемку земной поверхности в С-диапазоне (5,6 см), с горизонтальной поляризацией излучения (HH), в диапазоне съемочных углов от 10° до 60°. Расчетный срок пребывания КА на орбите определялся в 7 лет, однако аппарат продолжает успешно работать. Пользователи во всем мире имеют возможность заказать изображения с шириной от 50 до 500 км и пространственным разрешением от 8 до 100 м. Международным распространением дан-



ных Radarsat-1 занимается компания MDA (MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd.).

Основные технические характеристики

| Микроволновый радиодиапазон | С-диапазон (5,6 см) | | | | | |
|--|--|---|------------------------|-------------------------|---|---|
| Режим | Высокого разрешения (Fine) | Расширенный высокого разрешения (Extended High) | Стандартный (Standard) | Широко-захватный (Wide) | Расширенный низкого разрешения (Extended Low) | Узкий низкого разрешения (ScanSAR Narrow) |
| Номинальное пространственное разрешение, м | 8 | 25 | 25 | 30 | 35 | 50 |
| Ширина полосы съемки, км | 50 | 75 | 100 | 150 | 170 | 300 |
| Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/сек | 2 диапазона: 105 в реальном времени, 85 для записи данных | | | | | |
| Радиометрическое разрешение, бит на пиксель | 8 | | | | | |
| Формат файлов | CEOS, по желанию заказчика GeoTIFF | | | | | |
| Обработка | Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция Приведение к картографической проекции | | | | | |
| Периодичность съемки, суток | От 9 на экваторе и до 3 в средних широтах и ежедневной съемки в приполярных районах | | | | | |
| Срок выполнения заказа, дней | 1-14 для архивных данных 2-30 для съемки на заказ | | | | | |
| Минимальная площадь заказа | Одна квадратная сцена с длиной равной ширине полосы съемки для любого режима | | | | | |

Radarsat-2



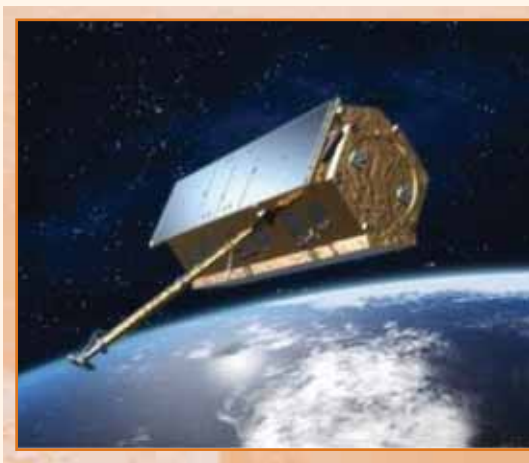
Космический аппарат нового поколения Radarsat-2, разработанный Канадским космическим агентством CSA (Canadian Space Agency) и компанией MDA (MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd.), запущен 14 декабря 2007 г. с космодрома Байконур на солнечно-синхронную орбиту с высотой 798 км и наклоном 98,6°, с периодом обращения 100,7 мин. КА оснащен радиолокатором бокового обзора с синтезированной апертурой, обладающим, как и спутник Radarsat-1, уникальными возможностями изменения ширины полосы съемки и пространственного разрешения. Съемка земной поверхности проводится в С-диапазоне (5,6 см), с изменяемой поляризацией излучения (HH, VH, HV, VV), в диапазоне съемочных углов от 10° до 60°. Расчетный срок пребывания на орбите – не менее 7 лет.

Основные технические характеристики

| Микроволновый радиодиапазон | С-диапазон (5,6 см) | | | | | |
|--|--|----------------------------|--|------------------------|------------------------|---|
| Режим | Сверхвысокого разрешения (Ultra-Fine) | Высокого разрешения (Fine) | Высокого разрешения с полной поляризацией (Fine Quad-hi) | Стандартный (Standard) | Широкозахватный (Wide) | Узкий низкого разрешения (ScanSAR Narrow) |
| Номинальное пространственное разрешение, м | 3 | 8 | 8-12 | 25 | 30 | 50 |
| Ширина полосы съемки, км | 25 | 50 | 25 | 100 | 150 | 300 |
| Поляризация | Один тип из: HH/HV/MH/VV | HH и HV либо VH и VV | HH, VV, HV, VH, | HH и HV либо VH и VV | | |
| Формат файлов | CEOS, GeoTIFF | | | | | |
| Обработка | Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция Приведение к картографической проекции | | | | | |
| Периодичность съемки, суток | В зависимости от режима и типа съемки. От 2-3 на экваторе в полосе 500 км | | | | | |
| Срок выполнения заказа, дней | 1-14 для архивных данных 2-30 для съемки на заказ | | | | | |
| Минимальная площадь заказа | Одна квадратная сцена с длиной равной ширине полосы съемки для любого режима | | | | | |

TerraSAR-X

Космический аппарат TerraSAR-X, разработанный немецким аэрокосмическим центром (DLR) и компанией EADS Astrium GmbH, был запущен 15 июня 2007 г. с космодрома Байконур и выведен на круговую солнечно-синхронную орбиту высотой 514 км с наклоном 97,44°. КА оснащен новейшим радиолокатором с синтезированной апертурой, позволяющим выполнять радиолокационную съемку земной поверхности с беспрецедентным пространственным разрешением (до 1 м), что делает КА TerraSAR-X, одной из наиболее совершенных систем дистанционного зондирования Земли. Радиолокатор выполняет съемку земной поверхности в X-диапазоне (3,1 см), с изменяемой поляризацией излучения (HH, VH, HV, VV), в диапазоне съемочных углов от 20° до 55°. Эксплуатирует спутник компания Infoterra GmbH (Германия). Расчетный срок пребывания аппарата TerraSAR-X на орбите составляет около 5 лет.



Основные технические характеристики

| Микроволновый радиодиапазон | X-диапазон (3,1 см) | | | |
|--|--|---------------------------------|---|-------------------------------|
| Режимы: | Сверхвысокого разрешения (High Resolution SpotLight) | Высокого разрешения (SpotLight) | Широкополосный высокого разрешения (StripMap) | Среднего разрешения (ScanSAR) |
| Номинальное пространственное разрешение, м | 1 | 2 | 3 | 16 |
| Размер сцены, км | 10 x 5 | 10 x 10 | 30 x 50 | 100 x 150 |
| Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/сек | 300 | | | |
| Радиометрическое разрешение, бит на пиксель | 16 | | | |
| Формат файлов | CEOS, GeoTIFF | | | |
| Обработка | Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция. Приведение к картографической проекции, создание ЦМР, производных картографических продуктов | | | |
| Периодичность съемки, суток | Цикл 11, подцикл 2,5 | | | |
| Срок выполнения заказа, дней | 1-3 для архивных данных 1-6 для съемки на заказ | | | |
| Минимальная площадь заказа | Одна стандартная сцена для любого из 4 режимов | | | |

Словарь терминов

Временная базовая линия – промежуток времени между получением основного и вспомогательного (дополнительного) снимка интерферометрической пары.

Данные, снимки или изображения в оптическом диапазоне (оптической зоне спектра) – изображения земной поверхности, получаемые либо со спутника, либо с другой платформы в оптической области спектра электромагнитного излучения.

Зашумление снимка (изображения) – наличие на изображении случайным образом расположенных точек, имеющих размеры, близкие к размеру пикселя.

Изобразительные свойства снимка – способность снимка передавать контрасты и объекты минимальных размеров.

Интерферограмма – графическое представление результатов совместной обработки двух комплексных радиолокационных изображений местности одной и той же территории, полученных идентичными съемочными системами из близко расположенных точек орбиты.

Карта вертикальных смещений – см. картограмма вертикальных смещений.

Карта или картограмма когерентности – графическое представление результатов промежуточной интерферометрической обработки радиолокационных изображений, характеризующих согласованность двух снимков (для участков с сильными изменениями когерентность низкая, а для стабильных – высокая).

Картограмма вертикальных смещений – графическое представление распределения вертикальных смещений исследуемой территории, получаемых в результате дифференциальной интерферометрической обработки радиолокационных данных, как правило, представляемых в виде матрицы вертикальных смещений земной поверхности.

Космические радиолокационные системы – радиолокатор установленный на космическом аппарате и предназначенный для съемки земной поверхности.

Кроссполяризация – процесс получения радиолокационных изображений, когда излучаемый и принятый сигнал радиолокационной системы имеет различную поляризацию: HV и VH (облучение поверхности идет при одной поляризации, а отраженный сигнал принимается с другой поляризацией).

Оптическая область спектра (оптический диапазон) – электромагнитное излучение с длинами волн: 2 мм – 760 нм (инфракрасное), 760-400 нм (видимое) и 400-10 нм (ультрафиолетовое).

Параллельная поляризация – процесс получения радиолокационных изображений, когда излучаемый и принятый сигнал радиолокационной системы имеет одну и ту же поляризацию: HH или VV (с какой поляризацией облучается поверхность, с такой же поляризацией принимается обратноотраженное излучение).

Радарграмметрия – методика обработки стереоизображений, полученных в радиоволновом диапазоне.

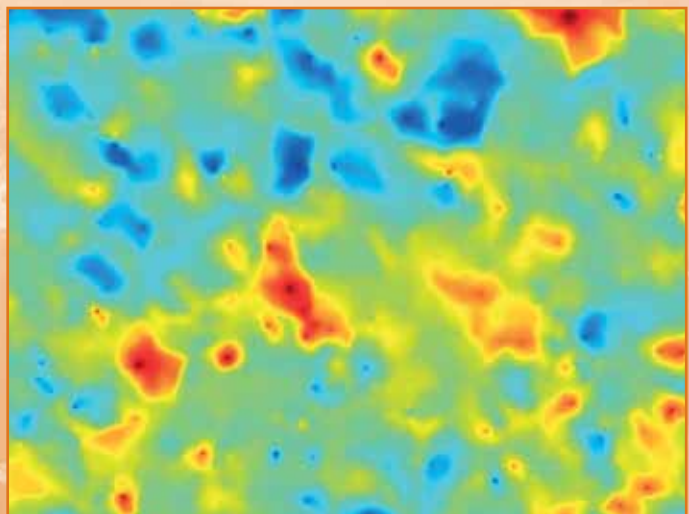
Радиоволновая область спектра (радиоволновый диапазон) – электромагнитное излучение с длинами волн $5 \times 10^5 - 10^{10}$ м и частотами, соответственно, от 6×10^{12} Гц и до нескольких Гц. В свою очередь радиодиапазон при ДЗЗ подразделяется на более короткие диапазоны, с длинами волн 1-10 см (сантиметровый диапазон) и 10-100 см (дециметровый диапазон).

Радиолокатор – устройство, устанавливаемое на космическом аппарате или любой другой платформе и позволяющее проводить съемку земной поверхности с целью получения изображений в радиоволновом диапазоне.

Радиолокационные данные, снимки или изображения – изображения земной поверхности, получаемые в радиоволновой области спектра электромагнитного излучения.

Радиолокация с синтезированной апертурой (РСА) или SAR съемка – съемка земной поверхности из космического пространства, основанная на использовании перемещения небольшой бортовой антенны для последовательного формирования антенной решетки больших размеров на определенном участке орбиты. В результате радиолокатор получает множество значений амплитуды и фазы для каждой точки изображения и путем математических преобразований множества значений позволяет достичь высокого пространственного разрешения.

Карта вертикальных смещений.
Interferometry по данным ENVISAT ASAR.
Пространственное разрешение - 25 м.
Украина г. Сочи.



Любимый город – взгляд из космоса. Алматы – «Южная столица» Казахстана



Алма-Ата (официальное наименование города в Казахстане – Алматы) – крупнейший город Казахстана. До 1997 г. – столица Республики Казахстан. Потеряв статус официальной столицы, Алма-Ата осталась научным, культурным, историческим, производственным и финансовым центром страны. 1 июля 1998 г. был принят Закон об особом статусе города. Алма-Ату неофициально называют «Южной столицей». На 1 января 2008 г. численность населения города составила 1,324 млн человек.

До 1921 г. город назывался Верный. Мощный импульс его развитию дало строительство Туркестано-Сибирской железной дороги. В связи с этим в 1929 г. сюда перенесли столицу Казахстана, до этого находившуюся в городе Кзыл-Орда.

С началом Великой Отечественной войны 1941-1945 гг. в город были эвакуированы десятки крупных промышленных предприятий, вузов, научно-исследовательских институтов, киностудий и других культурных учреждений. В

город приехали десятки тысяч новых жителей. Многие из них остались жить в Алма-Ате и после войны, что сказалось на своеобразии национально-культурного состава населения города. В декабре 1991 г. в Алма-Ате была подписана Декларация о суверенитете Республики Казахстан. В 1994 г. город получил свое нынешнее официальное название – Алматы.

Алма-Ата – солнечный, уютный, утопающий в зелени город с широкими улицами, красивыми зданиями, многочисленными парками, скверами и фонтанами. Красивейший город у подножия изумрудных хребтов Тянь-Шаня неслучайно называют «городом-садом». Весной, когда южные окраины утопают в цветении яблоневых, абрикосовых, вишневых садов, город становится похожим на сказку. Роскошный зеленый наряд и величественная панорама гор делают Алма-Ату непохожей на другие города. Сады, рощи, парки, бульвары, цветники занимают свыше восьми тысяч гектаров городской территории.



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 съемок 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) 514-8338, 986-7511, 986-7522
Факс: +7(495) 989-7533, 625-3013
E-mail: suftware@sovzond.ru
Web-site: www.sovzond.ru



Барселона, Испания.
Спутник Terrasar-X.
Режим STRIPMAP,
поляризация VV.
Амплитудное изображение.
Пространственное разрешение – 3 м.
2008 г.



Барселона, Испания.
Режим STRIPMAP,
поляризация VV.
Синтезированное
псевдоцветное
изображение на основе
амплитудного снимка.
Пространственное разрешение – 3 м.
2008 г.



Компрессорная станция.
Ямало-Ненецкий АО, Пуровский район.
Спутник Terrasar-X.
Режим съемки HighSpot (HS),
поляризация VV.
Амплитудное изображение.
Пространственное разрешение – 1 м.
2007г.

