

ГЕОМАТИКА

GEOMATICS

2012 # 1 (14)

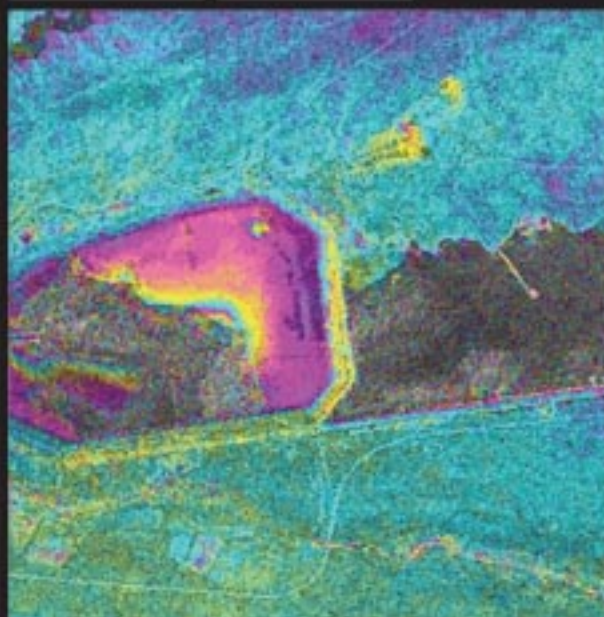
ЖУРНАЛ О ГЕОИНФОРМАТИКЕ И ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ЗЕМЛИ



Издательское общество
«СОВЭКОМ»



КОСМИЧЕСКИЙ РАДАРНЫЙ
МОНИТОРИНГ ОСЕДАНИЯ
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД
НЕФТЕГАЗОВЫМ
МЕСТОРОЖДЕНИЕМ ТЕНГИЗ



ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ЛЕДОВОЙ
ОБСТАНОВКИ И СУДОХОДСТВА ПО ДАННЫМ
COSMO-SKYMED



ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДИК
ОБРАБОТКИ РАДАРНЫХ
ДАННЫХ ДЗЗ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ
SARSCAPE

НОВЫЕ
РЕШЕНИЯ
В ОБЛАСТИ
РАДАРНОЙ
СЪЕМКИ





ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС TTS — современное средство визуализации информации коллективного пользования



Компания TTSystems – разработчик инновационных продуктов и прогрессивных решений. Компания специализируется на разработке программно-аппаратных комплексов TTS для визуализации пространственных данных на основе multi-touch технологий.

Тел: +7 (495) 211-8845
988-7522 (доб. 901)

Компания TTSystems ведет активную информационную и техническую поддержку партнеров и дистрибьюторов, предоставляет оборудование в аренду, организует обучение и демонстрационные показы продукции.

Web-site: www.ttsglobal.ru
E-mail: tts@ttsglobal.ru

Уважаемые коллеги!

Данные активного космического зондирования Земли в радиодиапазоне в последнее время находят все более широкое применение в многочисленных научных и производственных проектах. Всепогодность радарных данных и их независимость от освещенности позволяет с гарантированной периодичностью (до нескольких раз в сутки) получать информацию о происходящих на земной поверхности природных и техногенных процессах.

Вышеперечисленные факторы в комплексе с популяризацией программного обеспечения, предназначенного для обработки радарных данных, и с учетом общей тенденции к снижению стоимости на радарные данные (особенно высокого и сверхвысокого пространственного разрешения) вызвали значительный рост интереса к радарным данным.

Так, специалистами компании «Совзонд» в 2011 г. с использованием радарных данных был выполнен ряд проектов по мониторингу смещений и деформаций земной поверхности и сооружений над месторождениями полезных ископаемых, построению цифровых моделей местности и рельефа, выявлению изменений, оконтуриванию вырубок леса, выявлению нефтеразливов в акваториях, анализу природных углеводородных пленок на водной поверхности для задач поисков месторождений нефти и газа, мониторингу ледовой обстановки и др.

Крайне перспективным представляется также применение радарных и радарно-оптических данных для решения мониторинговых задач в области сельского хозяйства, определения породного состава леса, классификации площадных и точечных объектов земной поверхности, мониторинга антропогенной деятельности и для решения многих других задач.

На ближайшие годы запланирован запуск как минимум десятка новых радарных спутников, характеризующихся в том числе принципиально новыми техническими решениями (сверхвысокое пространственное разрешение, съемка в круговой поляриза-

ции, Р-диапазон длин волн, радиолокаторы двух диапазонов на одном спутнике и т.д.).

Все вышеперечисленное предопределило выбор главной темы первого в 2012 г. номера журнала «Геоматика». Он посвящен радарной съемке, технологиям и программному обеспечению для ее обработки и областям ее применения.

В журнале опубликовано интервью с директором подразделения дистанционного зондирования Земли компании MDA г-ном Н. Ханнафордом, в котором особое внимание уделено вопросам использования радарных данных со спутников RADARSAT, оператором которых является MDA. Вопросам использования радарных данных в различных сферах, технологиям их обработки уделено внимание в статьях специалистов компаний e-GEOS (Италия), «Совзонд» (Россия), «Казахмыс» (Казахстан) и других. В поддержку новых и интересных идей по использованию радарных данных в различных областях компанией «Совзонд» в 2011 г. был проведен Конкурс на лучший проект с применением радарных данных ДЗЗ, итоги которого подводятся в настоящее время. Конкурс вызвал широкий интерес (в том числе, международный), было получено несколько десятков заявок, лучшие из которых были обеспечены бесплатными новыми радарными съемками со спутников RADARSAT-2 (MDA, Канада) и COSMO-SkyMed (e-GEOS, Италия). Итогом конкурса посвящен специальный обзор.

Редакционная коллегия



СОДЕРЖАНИЕ

Новости	4
Актуальное интервью	
Интервью с Н. Ханнафордом, директором подразделения ДЗЗ компании MDA	8
Данные дистанционного зондирования	
Международный конкурс на лучший тематический проект по обработке и использованию радарных данных для решения задач в различных областях народного хозяйства	12
Ю.И. Кантемиров Обзор современных радарных данных ДЗЗ	18
Ю.И. Кантемиров Краткие теоретические основы радарной интерферометрии и ее многопроходных вариаций Ps и SBass	22
В.В. Бутин Выбор наземного комплекса приема и обработки данных с радиолокационного спутника RADARSAT-2	27
Обработка данных ДЗЗ	
Ю.И. Кантемиров Обзор основных методик обработки радарных данных ДЗЗ и их реализация в программном комплексе SARscape	30
Ю.И. Кантемиров Обзор возможностей новой версии SARscape 4.4	44
Л. Пиетранера, Л. Чезарано, Ф. Бритти, В. Джентиле, Ю.И. Кантемиров Новый продукт МТС, рассчитываемый по данным COSMO-SkyMed	46
Использование данных ДЗЗ	
Е.В. Бахтинова, А.Ю. Соколов, Д.Б. Никольский, Ю.И. Кантемиров Полуавтоматическое выявление вырубок леса на мультивременных радарных и радарно-оптических цветных композитах	52
И.В. Гневанов, П.В. Шамин Оценка деформаций земной поверхности горных отводов ОАО «Уралкалий» в г. Березники методами радарной интерферометрии	56
Ж.Ш. Жантаев, А.Г. Фремд, А.В. Иванчукова, А.А. Калдыбаев, С.М. Нурақынов, Ю.И. Кантемиров, С.Э. Никифоров Космический радарный мониторинг смещений земной поверхности над нефтегазовым месторождением Тенгиз	61
Л. Пиетранера, Л. Чезарано, Ю.И. Кантемиров Пример мониторинга ледовой обстановки и судоходства в замерзшей акватории Азовского моря и Керченском проливе по данным COSMO-SkyMed	72
В.А. Мансуров, М.Ж. Сатов, Р.Т. Жантуев, Ю.И. Кантемиров Космический радарный мониторинг смещений земной поверхности и сооружений на Жезказганском месторождении меди (Республика Казахстан)	77
Н. Бертони, Л. Чезарано, Д. Джусто, Ф. Бритти, В. Джентиле, Л. Пиетранера Новый подход к мониторингу изменений, основанный на когерентном анализе разновременных радарных снимков сверхвысокого разрешения со спутников COSMO-SkyMed	84
Е.Х. Аязбаев, О.А. Токжанов, Ю.И. Кантемиров Мониторинг нефтеразливов в акватории порта Актау с помощью космических радарных данных COSMO-SkyMed	95
В.М. Котов, Н.А. Русакович Система удаленного мониторинга экспериментов Большого адронного коллайдера	101
Выставки и конференции	
Итоги главного события в области геодезии, навигации и картографии – выставки «GeoForm+ 2012»	108
2-я Всероссийская конференция «Геоинформационные системы в здравоохранении РФ: данные, аналитика, решения»	110
Справочный раздел	
Обзор существующих курсов обучения обработке радарных данных ДЗЗ	116

CONTENT

News 4

Hot Interview

Interview with Norman Hannaford, Director, Space and Remote Sensing Business Unit, MDA 8

Remote Sensing Data

International Contest for the best thematic project in the sphere of radar data processing and use for different purposes of national economy 12

Y. Kantemirov

Overview of modern radar remote sensing data 18

Y. Kantemirov

Brief theoretic principles of radar interferometry and its multipass variations: PS and SBas 22

V. Butin

Choice of ground station for receiving and data processing from radar satellite RADARSAT-2 27

Remote Sensing Data Processing

Y. Kantemirov

Overview of basic methods of radar remote sensing data processing and its implementation in software complex SARscape 30

Y. Kantemirov

Overview of new version of SARscape 4.4 44

L. Pietranera, L. Cesarano, F. Britti, V. Gentile, Y. Kantemirov

New MTC product based on COSMO-SkyMed data 46

Application of Remote Sensing Data

E. Bakhtinova, A. Sokolov, D. Nikolskiy, Y. Kantemirov

Semiautomatic monitoring of forest-logging based on multitemporal radar and radar-optical color composites 52

I. Gnevanov, P. Shamin

Evaluation of land surface deformation of «Uralkaliy» JSC mining areas near Berezniki city using methods of radar interferometry 56

J. Zhantayev, A. Fremd, A. Ivanchukova, A. Kaldybaev, S. Nurakynov, Y. Kantemirov, S. Nikiforov

Satellite radar monitoring of land surface subsidence over Tengiz oil and gas field 61

L. Pietranera, L. Cesarano, Y. Kantemirov

Maritime monitoring for ice tracking and navigation in Sea of Azov and Kerch Strait based on COSMO-SkyMed data 72

V. Mansurov, M. Satov, R. Zhantuev, Y. Kantemirov

Satellite radar monitoring of land and buildings subsidence over Zhezkazgan copper field (Republic of Kazakhstan) 77

N. Bertoni, L. Cesarano, G. Giusto, F. Britti, V. Gentile, L. Pietranera

New method for change detection based on coherent multitemporal analysis of high resolution COSMO-SkyMed radar data 84

E. Ayazbaev, O. Tokzhanov, Y. Kantemirov

Oil spills monitoring in aquatic areas of Aktau port (Republic of Kazakhstan) using COSMO-SkyMed satellite radar data 95

V. Kotov, N. Rusakov

System for remote monitoring of experiments of Large Hadron Collider 101

Exhibitions and Conferences

Results of the main event in the sphere of land surveying, navigation and cartography – GeoForm+ 2012... 108

2nd All-Russian conference «Geographic information system in the sphere of public health in Russian Federation: data, analytics, solutions» 110

References

Overview of existing training courses for remote sensing radar data processing 116



Учредитель – Компания «Совзонд»

Редакционная коллегия

М.А. Болсуновский

А.М. Ботрякова

Б.А. Дворкин (главный редактор)

С.А. Дудкин

О.Н. Колесникова

С.В. Любимцева

М.А. Элердова

Ответственный за выпуск

Б.А. Дворкин

Дизайн макета и обложки

О.А. Бараникова

Компьютерная верстка

О.А. Бараникова

Информационно-рекламная служба

М.А. Агаркова

С.Н. Мисникович

Почтовый адрес:

115563, г. Москва,
ул. Шипиловская, 28а,
компания «Совзонд»

Тел.: +7 (495) 642-8870

+7 (495) 988-7511,

+7 (495) 988-7522,

Факс: +7 (495) 988-7533,

E-mail: geomatics@sovzond.ru

Интернет: www.geomatica.ru

Перепечатка материалов без разрешения редакции запрещается.

Тираж 3000 экз.

Рекомендованная цена – 199 р.

Номер подписан в печать

15.03.2012 г.

Печать

ООО «Юнион-Принт»

Свидетельство о регистрации

в Россвязькомнадзор

ПИ №ФС77-34855 от 13.01.2009 г.

СОЗДАНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ РАДАРНЫХ СПУТНИКОВ TERRASAR-X И TANDEM-X БЛИЗИТСЯ К ЗАВЕРШЕНИЮ



Группировка радарных спутников ДЗЗ TerraSAR-X и TanDEM-X полностью завершила съемку всей поверхности Земли уже через год совместной работы.

Германский авиакосмический центр (DLR), по программе которого работают спутники, использует их данные для создания первой и единственной в мире высокоточной цифровой 3D-модели рельефа всей Земли.

За последний год оба радарных спутника располагались в космосе на очень близком расстоянии друг от друга — порой расстояние между ними составляло всего несколько сотен метров. Полоса за полосой они снимали Землю под разными углами и передавали данные высокого разрешения со своих орбит высотой 514 км на три наземные станции — Кируна (Швеция), Инувик (Канада) и О'Хиггинс (Антарктида).

«Работа спутников идет лучше, чем ожидалось, не было никаких сбоев в их запрограммированном графике полета. Все защитные механизмы работают надежно и стабильно», — заявил М. Зинк, руководитель наземного комплекса TanDEM-X в DLR. В течение 2011 г.

расстояние между спутниками было постепенно уменьшено до минимально допустимого значения в 150 м.

Подобный проект является первым в своем роде. Он остается уникальным и является очень сложным даже для опытных инженеров. «После запуска TanDEM-X 21 июня 2010 г. последовал шестимесячный этап испытаний, в ходе которых мы тщательно проверяли спутник и его функционирование на околоземной орбите и проводили калибровку», — вспоминает М. Зинк.

В течение этого времени спутник TanDEM-X начал выполнять совместную миссию с аналогичным спутником TerraSAR-X, который был запущен в 2007 г. 14 декабря 2010 г. TanDEM-X вошел в режим штатной эксплуатации, проводя съемку для получения высокоточной модели рельефа.

Радарная система получает снимки Земли с двух различных точек, достигая тем самым «ощущения глубины», схожего с бинокулярным зрением у людей. «Получение точной информации о рельефе требует четкой сопоставимости данных с обоих спутников», — объясняет Г. Кригер, системный инженер миссии TanDEM-X.

Работа радаров обоих спутников должна быть тщательно синхронизирована, а расстояние между спутниками — тщательно выверено.

«Это действительно огромная проблема, если учесть, что погрешность в миллиметр в этом случае может привести к ошибке определения высоты до одного метра», — говорит Г. Кригер.

Каждая полоса съемки поверхности обрабатывается для создания моделей рельефа размером 50×30 км.

К середине 2013 г. снимками со спутников TanDEM-X и TerraSAR-X полная поверхность суши Земли — примерно 150 млн. кв. км — будет покрыта несколько раз. Цель состоит в создании исключительно точной глобальной и однородной цифровой модели рельефа (ЦМР), которая будет представлять интерес как для коммерческой, так и для научной сферы.

Первоначально было запланировано по крайней мере два полных цикла покрытия поверхности суши Земли. Некоторые части, например подавляющее большинство поверхности Австралии, были сняты группировкой с приемлемым качеством уже в течение первого пролета.

«Уровень точности зависит от того, насколько хорошо поверхность Земли отражает посылаемые радиолокационные импульсы, впоследствии получаемые спутником», — заявил М. Зинк. Например, в Сахаре сложнее получить снимки, потому что сигнал буквально «тонет в песке» и теряется. Для регионов с густой растительностью, например в тропи-

ческих лесах, дополнительная съемка и тщательная настройка расстояния между спутниками являются неотъемлемыми условиями для получения хороших снимков.

«Мы готовы к тому, что некоторые области останутся «белыми пятнами» на карте, но мы, конечно, стремимся свести их количество к минимуму», — отметил М. Зинк, говоря о ближайших планах.

«Мы хотим получить больше сведений о Земле как о системе в целом и использовать эти данные, например, для исследования кли-

мата», — говорит г-жа И. Хайнсек, научный координатор миссии TanDEM-X. В 2011 г. она дала «зеленый свет» 166 исследовательским заявкам, поданным в DLR. Большинство из них — из США и Германии.

«Возможности TanDEM-X должны быть использованы для решения вопросов в области землепользования и исследования растительного покрова, гидрологии, геологии и гляциологии», — объяснила И. Хайнсек.

Данные с обоих спутников могут также использоваться для получе-

ния информации о высоте снежного покрова или об изменении ледникового покрова полярных регионов, а также для составления геологических карт регионов с вулканической и/или сейсмической активностью.

Работы, выполненные с использованием снимков этих двух радарных спутников, имеют большое значение и для сельского хозяйства. «Опираясь на показатели высоты и структуры растений, например таких, как рапс, можно сделать выводы об их качестве и биомассе», — заявила И. Хайнсек.

ПОЛУЧЕНЫ ПЕРВЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ СО СПУТНИКА PLEIADES-1

Через 3 дня после запуска спутника Pleiades-1 17 декабря 2011 г. получены первые изображения Земли с этого аппарата (рис.).

Программа Pleiades High Resolution является составной частью европейской спутниковой системы ДЗЗ и разрабатывается под руководством французского космического агентства CNES начиная с 2001 г. Она включает в себя два спутника нового поколения сверхвысокого пространственного разрешения Pleiades-1 и Pleiades-2 с одинаковыми техническими характеристиками. Спутники будут синхронизированы на одной орбите таким образом, чтобы иметь возможность обеспечить ежедневную съемку одного и того же участка земной поверхности.

Используя космические технологии нового поколения, такие, как оптико-волоконные системы гиросtabilизации, космические аппараты Pleiades-1 и Pleiades-2 будут обладать беспрецедентной маневренностью. Они смогут проводить съемку в любом месте 800-километровой полосы меньше чем за 25 секунд с точностью геопозиционирования меньше 3 м (СЕ90) без использования наземных опорных точек и 1 м с использованием наземных точек.

Запуск спутника Pleiades-2 запланирован на вторую половину 2012 г.



Париж, Лувр.

Космический снимок со спутника Pleiades-1

КОМПАНИЯ RAPIDEYE ТРЕТИЙ ГОД ПОДРЯД ЗАКЛЮЧАЕТ КОНТРАКТ НА ВЫПОЛНЕНИЕ СЪЕМКИ ТЕРРИТОРИИ КИТАЯ ДЛЯ МИНИСТЕРСТВА ЗЕМЕЛЬНЫХ И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ



RapidEye

Delivering the World

7 декабря 2011 г. в г. Бранденбурге в Германии компания RapidEye — ведущий оператор группировки спутников, предоставляющих возможность широкополосного покрытия Земли, — заявила, что подписан контракт с Министерством земельных и природных ресурсов Китая на выполнение покрытия 5 млн кв. км Китая в течение следующих нескольких месяцев.

Компания RapidEye уже третий год подряд выигрывает тендер на покрытие территории Китая для Министерства земельных и природных ресурсов Китая, которое проводит работы по выявлению земель, выведенных из сельскохо-

зяйственного оборота, нарушен- ных земель и др.

«Благодаря тому что у компании RapidEye пять спутников и один из самых больших архивов спутниковых снимков, отвечающий всем запросам нашего рынка, компания RapidEye – превосходный партнер для работы с такими клиентами, как Министерство земельных и природных ресурсов Китая, — прокомментировал г-н Бинг Сунн, исполнительный директор компании Beijing Eastdawn Information Technology Co. Ltd. — Мы твердо верим, что наше сотрудничество с компанией RapidEye поможет сделать спутниковые технологии более доступными для китайского рынка, так же как и услуги «ноу-хау».

«Мы уже дважды в предыдущие годы доказали Министерству земельных и природных ресурсов Китая, что мы являемся надежным партнером и можем выполнить съемку с высоким качеством на большую территорию в установленные сроки или досрочно», —

прокомментировал Дж. Алрикс, вице-президент подразделения международных продаж в компании RapidEye.

По соглашению между компанией RapidEye и Министерством земельных и природных ресурсов Китая будут предоставлены данные на территорию 5 млн кв. км (более 50% всей территории страны) с облачностью менее 10%. Некоторые важные области, традиционно облачные районы Тибета и Юго-Восточные провинции, представят наибольшую сложность для съемки.

«Для того чтобы выполнить съемку таких традиционно облачных районов, не существует лучшей системы, чем у нас», — прокомментировал М. Витале, главный операционный директор компании RapidEye. — Мы никогда не получим безоблачные снимки этих областей, но у нашей системы больше всего шансов достичь наименее облачного покрытия благодаря возможностям осуществления быстрой повторной съемки».

КОМПАНИЯ DIGITALGLOBE НАЧИНАЕТ ВЫПУСК ПРОДУКТА С РАЗРЕШЕНИЕМ 2 м


 DIGITALGLOBE®

Компания DigitalGlobe продолжает расширять спектр своих продуктов, предлагаемых на рынке. В конце января 2012 г. объявлено о начале выхода нового продукта — космической съемки с разрешением 2 м. Это сделает данные

доступными для заказчиков, у которых бюджет ограничен для покупки материалов ДЗЗ с полным разрешением – 0,5 м.

Панхроматические снимки с разрешением 2 м будут получаться за счет искусственного заглубления

снимков с разрешением 0,5 м и будут в 2 раза дешевле, чем предлагаемые сейчас снимки с разрешением 0,5 м. Стоимость цветных синтезированных изображений в естественных и псевдо-цветах уменьшится на треть.

Конкурентным преимуществом нового продукта будет точность — снимки будут поставляться уже ортотрансформированными с точностью не хуже М 1:25 000. Минимальная площадь заказа 5 тыс. кв. км.

«На наш взгляд, появление 2 метрового продукта компании DigitalGlobe — очень хорошее и своевременное решение, — заяви-

ла руководитель отдела по работе с клиентами компании «Совзонд» Н.П. Дейниченко. — В структуре продаж данных ДЗЗ компании «Совзонд» объемы продаж данных среднего разрешения составляют ежегодно не менее 30–50%. Три года подряд наша компания была лидером продаж на российском рынке данных с японского спутника ALOS с разрешением 2,5 м. После прекращения работы данного спутника имеется недостаток актуальной информации данных 2–2,5 м — архивные данные ALOS, еще недавно очень популярные у российских заказчиков, устаревают. В то же время архив компании

DigitalGlobe огромен и постоянно пополняется. Мы уже получили от компании DigitalGlobe новую форму для размещения заказов и готовы начать прием заявок. Обращаю внимание всех наших заказчиков, что данные могут быть доступны также и в режиме on-line посредством сервиса Global Basemap».

Группировка космических аппаратов компании DigitalGlobe состоит из трех спутников сверхвысокого разрешения: QuickBird, WorldView-1 и WorldView-2. Производительность группировки составляет 2,7 млн кв. км в сутки. Архив снимков компании включает более 2 млрд кв. км покрытия Земли.

КОМПАНИЯ «СОВЗОНД» — ПЛАТИНОВЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР GEOEYE ПО ИТОГАМ 2011 г.



По итогам продаж в 2011 г. компания «Совзонд» получила статус платинового дистрибьютора компании GeoEye (рис.).

«Компания «Совзонд» — наш постоянный партнер уже много лет. Мы высоко ценим усилия компании по поставкам данных, получаемых со спутников компании GeoEye на территории России и стран СНГ. Надеемся, что плодотворное сотрудничество наших компаний продолжится в 2012 и последующих годах», — заявил Андрей Шумаков, представитель компании GeoEye в Европе.

Директор по развитию компании «Совзонд» Милана Элердова отмечает: «Мы рады получить статус платинового дистрибьютора компании GeoEye. Компания GeoEye отличается высочайшим уровнем качества предоставляемых данных и поддержки своих заказчиков. В 2011 г. нашими компаниями выполнен ряд значимых проектов, в основном в области новой съемки, и мы надеемся, что наше сотрудничество будет развиваться, объемы продаж расти, особенно учитывая планируемый запуск спутника GeoEye-2».

Группировка спутников компании GeoEye включает в себя два космических аппарата: GeoEye-1 и IKONOS. На конец 2012 – начало 2013 г. запланирован запуск спутника GeoEye-2. До 2006 г. функционировал спутник OrbView-3.



Компания «СОВЗОНД» — платиновый дистрибьютор GeoEye 2011 г.

MDA: наш основной принцип— понимание существующих потребностей наших клиентов и предоставление необходимой информации, которая повышает экономическую эффективность данных ДЗЗ



*Канадская компания MDA была основана в 1969 г. и в настоящее время осуществляет свою деятельность в двух сегментах: информационные продукты и информационные системы. MDA является оператором радарных спутников RADARSAT-1 и RADARSAT-2. Мы задали несколько вопросов директору подразделения дистанционного зондирования Земли компании MDA г-ну **Норману Ханнафорду**. Г-н Н. Ханнафорд работает в компании MDA с 1993 г., он имеет степени бакалавра Университета Манчестера (Великобритания) и магистра бизнес-администрирования Университета Британской Колумбии имени Симона Фрезера (Канада).*

ГЕОМАТИКА: В декабре 2012 г. исполняется 5 лет работы на орбите одного из лучших радарных спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) RADARSAT-2. Пользуясь случаем, хотелось бы Вас поздравить с этим достижением. Не могли бы Вы подвести краткие предварительные итоги работы RADARSAT-2 за прошедшее пятилетие.

Н. Ханнафорд: Как и его предшественник RADARSAT-1, который после почти 17 лет работы до сих пор продолжает поставлять радарные данные мирового уровня для их использования в различных сферах, спутник RADARSAT-2 очень популярен у заказчиков, активно использующих радарные данные. С технической точки зрения аппарат работает очень хорошо.

Спрос на данные со спутника RADARSAT-2 растет с каждым днем. Мы переоборудовали большинство наземных станций приема данных со спутника RADARSAT-1 для получения данных и с космического аппарата RADARSAT-2, теперь большее количество пользователей по всему миру может получать с него данные. Мы очень продуктивно сотрудничаем с нашей

сетью международных партнеров. RADARSAT-2 отснял более 12,5 млрд кв. км (для сравнения: это вся поверхность Земли, отснятая 24,5 раза) и получил более 146 тыс. снимков после ввода в эксплуатацию.

Мы также смогли применить самые гибкие решения при проектировании спутника, чтобы иметь возможность добавлять новые режимы съемки и получать новые характеристики даже после запуска. Это позволило нам увеличить объем получаемой со спутника информации для конечных пользователей, и именно этой области мы по-прежнему уделяем повышенное внимание.

Г.: Расскажите, пожалуйста, о Вашей компании. Каковы основные сферы ее деятельности?

Н. Х.: Компания MDA предлагает передовые информационные технологии, необходимые для принятия решений в различных сферах. Мы получаем и обрабатываем большие объемы данных, генерируем необходимую информацию, что способствует улучшению процесса принятия управленческих решений и повышению эффективности деятельности коммерче-

ских компаний и государственных организаций по всему миру.

Компания MDA работает со следующими основными сегментами рынка:

Дистанционное зондирование Земли и космическая разведка. В этом секторе компания предоставляет гражданским, оборонным и коммерческим структурам непрерывный поток информации по всему миру для мониторинга и координации деятельности в любом месте на Земле.

Наш бизнес, помимо дистанционного зондирования, который включает в себя всю цепочку от сбора информации из космоса и с воздушных судов до получения и распространения информации, охватывает также следующие сферы деятельности:

Телекоммуникации. Компания предоставляет широкополосную связь, а также такие решения для получения информации, которые позволяют коммерческим и государственным пользователям по всему миру получать данные дома, в офисе или в дороге.

Мы особенно рады, что увеличили объемы работ с российскими заказчиками и партнерами в рамках этого сегмента за последние несколько лет. Мы очень ценим возможность работать непосредственно в вашей стране для дальнейшего развития этого направления.

Передовые технологии. У компании есть очень много заказчиков, финансирующих развитие передовых технологий для различных секторов рынка. В этом сегменте нашей самой известной разработкой является мобильная обслуживающая система Canadam для космической программы Space Shuttle, а также Canadam-2 и связанные с ней робототехнические решения, которые в настоящее время обеспечивают основную поддержку и техническое обслуживание Международной космической станции.

Г.: Ваша компания является разработчиком и оператором радарных спутников. Насколько востребованы радарные данные? Считаете ли Вы это направление ДЗЗ одним из наиболее перспективных?

Н. Х.: Барьеры при получении радарных данных традиционно труднее преодолеть по сравнению с оптическими данными. Однако появление интерферометрических радаров с синтезированной апертурой (SAR), систем автоматизированного мониторинга

судов и анализа ледовой обстановки позволяет расширить сферу применения радарных данных (осуществлять мониторинг вертикальных смещений, решать задачи судоходства и др.). Благодаря возможности радарных спутников снимать в любую погоду эта информация является очень востребованной там, где важна высокая надежность и частота проведения съемки.

В настоящее время компания MDA занимается проектированием спутниковой группировки RADARSAT Constellation Mission (RCM). Это будет группировка из трех спутников, которая обеспечит преемственность непрерывного потока данных после окончания деятельности RADARSAT-2 и создаст новые возможности для предоставления повторной съемки.

Г.: Расскажите, пожалуйста, как организована глобальная сеть приема и получения данных с действующих спутников RADARSAT-1 и RADARSAT-2.

Н. Х.: Компания MDA работает с глобальной сетью наземных станций приема и партнерами-дистрибьюторами по всему миру.

Одно из самых главных достоинств спутника RADARSAT-2 – в том, что он позволяет поддерживать наши давние и тесные рабочие отношения с теми партнерами во всем мире, которые могут помочь нам понять нужды местных заказчиков и принимать оптимальные решения для удовлетворения их потребностей.

Г.: Радарная съемка из космоса имеет целый ряд преимуществ. Она практически всепогодная и не зависит от времени суток. Не могли бы Вы привести примеры эффективного использования данных RADARSAT для решения задач, где радарные данные обладают явными преимуществами перед оптическими? Назовите, пожалуйста, три направления работ, которые Вы считаете самыми перспективными с точки зрения использования радарных данных в России.

Н. Х.: Вот три области, в которых применение радарных данных доказало свою эффективность: мониторинг Мирового океана (ледовая обстановка, незаконное рыболовство, безопасность судоходства), мониторинг суши (картографирование, смещения земной поверхности), мониторинг чрезвычайных ситуаций.

Так как штаб-квартира нашей компании находится

в Канаде, у нас есть возможность проверить использование радарных данных для решения этих задач, работая непосредственно с нашим правительством и другими пользователями. Однако у Канады много схожих с Россией черт, и, следовательно, каждая из этих сфер применения радарных данных имеет большое значение и для российского рынка. Например, у обеих наших стран есть большой морской флот в северных морях и необходимое соответствующее оборудование для работы с ДЗЗ; у наших стран есть богатое разнообразие природных ресурсов и заинтересованность в природосберегающих технологиях управления окружающей средой, с учетом того, что добыча природных ресурсов все увеличивается; каждая из наших стран обладает огромными сельскохозяйственными и лесными угодьями, управление которыми зависит от использования данных дистанционного зондирования. Мы надеемся продолжать поставлять данные и, что еще более важно, разрабатывать сервисы для удовлетворения возрастающих запросов.

Г.: Многие считают, что стоимость радарных данных слишком высока и соответственно их использование неэффективно с экономической точки зрения. Каково Ваше мнение по этому вопросу?

Н. Х.: Ни один клиент не покупает данные просто ради того, чтобы они у него были. Наши заказчики справедливо связывают значение информации, которую они получают от нас, с их возможностями по использованию данных при принятии оперативных решений. Компания MDA организует непрерывный поток радарных данных, являясь оператором спутника RADARSAT-2, в то же время мы являемся мировым лидером в разработке наземных станций приема и систем обработки данных, имеем глобальную сеть передачи данных с наших собственных спутников, а также со спутников наших партнеров. Наш основной принцип — понимание существующих потребностей наших клиентов и предоставление необходимой информации, которая максимизирует экономическую ценность данных.

Иными словами, мы настаиваем на выборе именно радарных данных в ситуации, когда может быть найдено более подходящее решение, но мы адаптируем наши предложения таким образом, чтобы отвечать потребностям клиентов. Такой подход про-

демонстрировал, что для огромного количества отраслей, начиная от мониторинга городской застройки и создания крупномасштабных цифровых моделей рельефа (ЦМР) и до мониторинга разливов нефти и судоходства, использование радарных данных обеспечивает наибольшую экономическую эффективность.

Г.: Работает ли MDA над инновационными проектами, связанными с технологиями, которые еще не получили широкого применения?

Н. Х.: Несомненно! Компания MDA сохраняет лидерство в сфере дистанционного зондирования уже в течение четырех десятилетий и постоянно развивает инновационные методы применения новых технологий для решения реальных мировых проблем. Эти инновации разрабатываются с применением серьезных технических возможностей компании MDA и направлены на удовлетворение выявленных потребностей наших правительственных и коммерческих клиентов. В сфере ДЗЗ компания MDA постоянно работает над развитием новых технологий для увеличения применения данных ДЗЗ в мире. Например, мы продолжаем добавлять новые режимы съемки для спутника RADARSAT-2, которые оптимизированы для работы в специфических областях применения. Хорошим примером этого служит недавно введенный сервис SeaView, применяемый для отслеживания судов. Другой пример — применение радарных данных для наблюдения за изменениями земной поверхности: компания MDA разрабатывает усовершенствованные технологии и системы для автоматического обнаружения любых изменений. Выявление изменений на основе радарных данных может обеспечить экономическую эффективность при мониторинге городской застройки, лесного хозяйства и т.д.

Г.: Участвует ли Ваша компания в крупных государственных и международных программах?

Н. Х.: Да, компания MDA участвует во многих государственных и международных программах в различных сферах. Вот некоторые примеры:

- **Разработка спутниковых систем.** Мы работаем над программой RADARSAT Constellation Mission совместно с правительством Канады. Что касается сферы телекоммуникаций, то мы являемся главным подрядчиком по созданию украинского геостационарного телекоммуникационного спутника «Лыбидь», а также работаем над созданием

двух ретрансляторов и нескольких антенн для российского телекоммуникационного рынка.

- **Наземные станции приема.** Мы создаем совмещенные комплексы приема данных с различных спутников, а также наземные станции приема для других операторов спутников ДЗЗ.
- **Мониторинг ледовой обстановки, судоходства и выявления разливов нефти.** Мы предоставляем решения для правительственных и крупнейших коммерческих клиентов во всем мире.
- **Мониторинг суши.** У компании MDA есть важные контракты по мониторингу изменений в мировом масштабе для повышения эффективности программ, связанных со съемкой с высоким разрешением.

Г.: Вы уже упоминали, что в ближайших планах MDA запуск группировки из трех радарных спутников RADARSAT Constellation. Не могли бы Вы подробнее рассказать об этом интересном проекте? Каковы его цели, какие будут характеристики спутников, определены ли уже сроки запусков?

Н. Х.: Группировка спутников RADARSAT Constellation Mission (RCM) — это программа правительства Канады по обеспечению непрерывного потока радарных данных и связанных с ними услуг, необходимых для страны. Запуск спутников RCM позволит сохранить мировое лидерство Канады в сфере космической радарной съемки, поддерживая и продолжая успех спутников RADARSAT-1 и RADARSAT-2. В настоящий момент компания MDA находится на этапе проектирования этой миссии в рамках заключенного контракта. Мы ожидаем, что группировка RCM позволит удовлетворить потребности клиентов, в настоящее время это удавалось делать при помощи данных со спутника RADARSAT-1 и RADARSAT-2. Также мы надеемся, что группировка продолжит свою работу в долгосрочной перспективе с дополнительным преимуществом — сокращением времени повторного покрытия благодаря осуществлению съемки с трех спутников.

Сроки запуска зависят от даты окончания этапа сборки спутников, который, мы надеемся, закончится в 2012 г.

Г.: Как было сказано выше, Ваша компания сотрудничает с российскими компаниями по поставкам радарных данных в разработке и внедрении проектов с их использованием. Как Вы

можете оценить состояние этого сотрудничества и его дальнейшие перспективы?

Н. Х.: Мы видим, что российский рынок очень интересный и быстро развивается. Можно заметить увеличение использования данных ДЗЗ, включая оптическую и радарную съемку. Как и Канада, территория России занимает огромные пространства, включая Арктику, в результате чего у России есть схожие потребности в использовании радарной съемки. И как следствие, сервисы и технологии, которые были успешно применены в Канаде, также могут быть использованы в России.

Мы надеемся на сотрудничество с партнерами из России, которые наилучшим образом понимают запросы своих клиентов, могут связывать нас с ними и осуществлять согласованные действия для принятия решений. Мы очень ценим такое сотрудничество, основанное на возможностях партнера, который поможет нам укрепиться на рынке и поставлять данные, необходимые нашим клиентам.

Г.: Если бы у Вас было неограниченное финансирование, какой спутник ДЗЗ Вы бы сделали?

Н. Х.: Это вопрос, который чаще всего задают наши клиенты! При нынешнем уровне бизнеса у нас нет никаких финансовых ограничений. Более сложной задачей является обеспечение возможности удовлетворить все потребности клиентов на российском рынке. Это задача, на которой мы планируем сосредоточиться в предстоящем периоде.

С технологической точки зрения во многих сферах применения радарных данных можно увеличить эффект за счет более частого проведения съемки и большего территориального охвата. Для достижения этих целей нужно больше спутников. При условии неограниченных финансовых ресурсов в идеале мы бы хотели увидеть еще больше спутников в группировке RADARSAT Constellation Mission. В настоящее время мы ведем переговоры с партнерами об увеличении числа спутников RCM, что позволило бы увеличить общую работоспособность группировки. Добавляя новые сферы применения данных, что зависит от производительности группировки радарных спутников, мы можем увеличить значение данных дистанционного зондирования в целом.

Г.: Спасибо, господин Ханнафорд, за интересное интервью!

Международный конкурс на лучший тематический проект по обработке и использованию радарных данных для решения задач в различных областях народного хозяйства

Компания «Совзонд» совместно с компаниями Exelis (США, Франция), MDA (Канада) и e-GEOS (Италия) провела конкурс на лучший тематический проект по обработке и использованию радарных данных для решения задач в различных областях народного хозяйства. В конкурсе приняли участие ученые и специалисты различных организаций, научно-исследовательских институтов и университетов России и стран ближнего зарубежья. Все представленные проекты отличаются оригинальными инновационными подходами к использованию радарных космических данных и выполнены на высоком научном уровне, многие разработки доведены до практического внедрения. Представляем вашему вниманию краткий обзор наиболее интересных проектов.

Выявление площади и состояния залежей (необрабатываемых сельскохозяйственных земель) по радиолокационным снимкам на территории дельты Волги

Проект представлен лабораторией аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Россия, Москва).

Выполнение проекта по обработке и использованию радиолокационных данных для решения задач в различных областях народного хозяйства имело две цели: первая — образовательная: на примере решения конкретной практической задачи внедрить современные радиолокационные данные и методы их обработки в учебный процесс на кафедре картографии географического факультета МГУ (решалась

привлечением к работе студентов); вторая — прикладная: найти пути применения современных радиолокационных данных при выявлении и оценке состояния вышедших из сельскохозяйственного оборота пахотных земель — залежей (решалась путем применения разных методов обработки к предоставленным радиолокационным данным, сравнения результатов с данными, полученными ранее в ходе наземных обследований территории, и дешифрирования оптических снимков).

Для выполнения проекта компанией «Совзонд» был предоставлен ряд разносезонных снимков на территорию дельты Волги: от 11 сентября 2011 г. полнополяризованные (QuadPol) снимки (HH, HV, VV, VH) в режиме съемки WideFine и с уровнем обработки SLC (Single look complex); от 5 и 29 октября снимки в двух поляризациях (DualPol: VV, VH) в режиме WideFine и с уровнем обработки SGF (SAR georeferenced fine).

Для проведения автоматической классификации были созданы RGB-композиции, позволяющие проводить обработку одновременно трех изображений. Результат кластеризации многовременного снимка в вертикальной поляризации при задании 6 классов представлен на рис. 1.

Проведенные эксперименты позволили продемонстрировать базовые возможности программного комплекса ENVI+SARscape при обработке разновременных амплитудных и полностью поляриметрических данных. В работе преимущественно использовались методы обработки, идентичные используемым при обработке изображений оптического диапазона.

Проведенные эксперименты позволили продемонстрировать базовые возможности программного ком-

плекса ENVI+SARscape при обработке разновременных амплитудных и полностью поляриметрических данных. В работе преимущественно использовались методы обработки, идентичные используемым при обработке изображений оптического диапазона.

По результатам проведенных работ можно выделить два перспективных направления обработки исходных радиолокационных данных. Первый путь — преобразование изображений с целью устранения геометрических искажений и спекл-шума, выполнение преобразований, нацеленных на улучшение их изобразительных свойств (различные методы фильтрации и синтеза) с целью получения производных изображений, пригодных для дешифрирования или обработки совместно со снимками видимого диапазона при одновременном или последовательном (с построением дерева решений) выполнении операций. Второй путь — преобразование, возможные только для радиолокационных данных: интерферометрическая обработка и поляриметрия. В работе особенно эффективными при решении поставленной задачи оказались методы поляриметрической декомпозиции (метод Паули), применение которых в сочетании с кластеризацией позволило разделить залежи по степени развития на них растительности. Как показали проведенные эксперименты, для получения комплексной характеристики залежи целесообразно использовать неконтролируемую классификацию с выделением малого числа классов (в нашем случае 3). Для получения более детальной характеристики — кластеризацию с выделением 4 классов.

Следует отметить, что поставленная задача — выявление и оценка состояния залежей — не может быть решена применением какого-то одного типа данных и, более того, для выявления состояния залежей необходимо значительное участие специалиста-природоведа. Последнее обстоятельство обусловлено тем, что само понятие «заброшенности земель» является относительным, поскольку в сухостепных районах выведение земель из сельскохозяйственного оборота иногда используется как агротехнический прием, способствующий восстановлению плодородия почв. Часто такие земли возвращаются в обработку после нескольких лет «отдыха».

В результате проведенной работы было установлено, что многовременные радиолокационные дан-

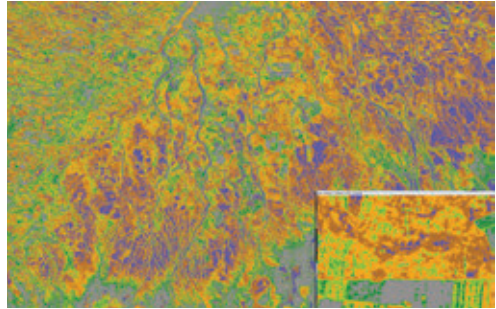


Рис. 1. Результат кластеризации многовременного изображения (ISODATA, 3 итерации, задано 6 классов) и его увеличенный фрагмент

ные позволяют уверенно отделять земли, используемые с разной степенью активности, и залежные. Последние в отдельных случаях также хорошо разделяются на сухие, практически лишенные растительности (осенью), и закустаренные.

Картографирование почвенного покрова с использованием данных радарной съемки SOIL@SAR

Проект представлен Институтом космических исследований РАН (Россия, Москва).

Почвенный покров является основой для производства продуктов питания и от его состояния во многом зависит урожайность, сельскохозяйственных культур. Свойства почв обычно сильно варьируют в пространстве, и их картографирование до сих пор является слабоисследованным. Целью проекта был анализ возможностей использования данных радарной съемки для картографирования агрономически важных свойств пахотных почв и почвенного покрова на примере тестового участка, расположенного на севере Саратовской области.

Для построения карт почвенного покрова использовались радарные данные высокого разрешения со спутника RADARSAT-2 от 04.09.2011, VV-поляризация, разрешение 3 м; от 11.09.2011, VV-поляризация, разрешение 1 м; от 14.09.2011, VV-поляризация, разрешение 7 м; от 14.09.2011, VH-поляризация, разрешение 7 м. Кроме того, при анализе использовались данные со спутника Landsat TM-5, полученные 18.08.2011.

Анализ проводился только для одного поля с открытой поверхностью почв (334 га) (рис. 2). Фонowymi

почвами на данном поле выступают черноземы обыкновенные различного гранулометрического состава (от легко- до тяжелосуглинистых) на делювиальных суглинках. В качестве контрастных компонентов на поле выделяются маломощные черноземы и солонцы черноземные на элювии опок, а также различные варианты смытых (эродированных) почв. Радарные снимки были перед проведением анализа привязаны и скорректированы геометрически.

Проведенные исследования показали, что радарные снимки могут быть использованы как для составления почвенной карты на территорию исследований, так и для дешифрирования отдельных свойств почв.

Получение почвенной карты по радарным снимкам может базироваться на следующих этапах работ:

1) анализ разновременного цветового композита контрастных по влажности почв и визуальное выделение однородных выделов изображения;

2) интерпретация выделов с привлечением материалов полевого почвенно-картографического обследования, т.е. каждый выдел последовательно наполняется следующей атрибутивной информацией:

а) сочетание почвообразующих пород и гранулометрического состава;

б) тип почв или комбинация почв;

в) мощность гумусового горизонта (для черноземов обыкновенных);

г) степень смытости (определяется классом по карте уклонов).

Основное отличие радарной почвенной карты – в ее большей генерализованности по сравнению с картой, полученной по Landsat TM-5. При анализе радарного композита не использовалась автоматизирован-

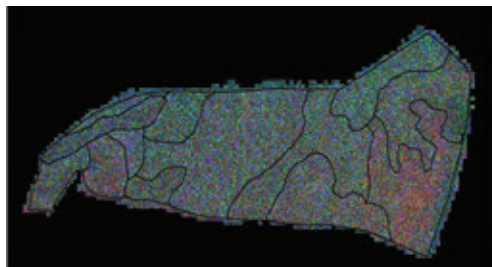


Рис. 2. Векторная карта однородных сегментов радарного цветового композита: даты съемки 11.09, 04.09, 14.09 (VV-поляризация)

ная процедура классификации. Это связано в первую очередь со спекл-шумом, который затрудняет создание обучающих выборок и приводит к получению неинтерпретируемых результатов классификации.

При совместном использовании радарных данных VH-поляризации и набора каналов Landsat TM-5 достоверно выделяются участки с высоким процентом каменности (выходов пород на поверхность). Смытые почвы, а также участки, покрытые растительными остатками, ошибочно также выделяются как каменные (средние значения каменности). На данном этапе устранить эту проблему не удалось. Требуются дополнительные полевые исследования и отбор точек для более детальной калибровки модели.

Космический радарный мониторинг деформаций стенок угольного разреза Уртуйский

Проект представлен Иркутским государственным техническим университетом (Россия, Иркутск).

Основной целью выполнения проекта было установить, возможно ли по данным многопроходных радарных съемок осуществлять мониторинг деформаций стенок карьера с достаточно высокой точностью.

Угольный разрез Уртуйский, расположенный к северо-западу от г. Краснокаменск, был отснят 15 раз с радарных спутников группировки COSMO-SkyMed (e-GEOS, Италия) в режиме Himage (разрешение 3 м, площадь сцены 40x40 км). На рис. 3 представлена трехмерная модель разреза Уртуйский.

Интерферометрическая обработка была выполнена средствами модуля SARscape Interferogramm Stacking по технологии SBAs.

По результатам дифференциальной интерферометрической обработки закартированы смещения и деформации стенок карьера за период радарных съемок COSMO-SkyMed (сентябрь – ноябрь 2011 г.). В частности, выявлены несколько очагов оседаний, один очаг поднятий земной поверхности в разных частях карьера.

Наиболее крупный по площади и по амплитуде зарегистрированных оседаний участок находится в юго-западной части карьера. Там деформации достигают 6 см за период в два месяца. Полученные результаты показали, что при частоте порядка 6–8 съемок в месяц даже на незастроенной территории

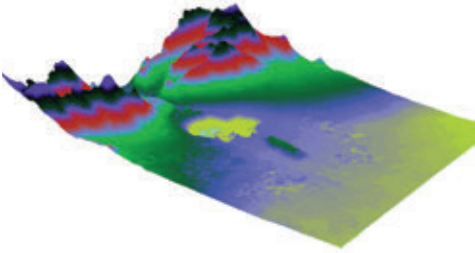


Рис. 3. Трехмерное отображение рассчитанной по данным COSMO-SkyMed цифровой модели местности (ЦММ) на территорию карьера Уртуйский и прилегающих территорий

удается поддерживать когерентность фаз радарных съемок за разные даты на необходимом для выполнения обработки уровне, что делает данную технологию применимой для выполнения реальных работ.

Исследование свойств земной поверхности для целей эффективного использования территорий

Проект представлен В.Н. Каргаевым (Россия, Красноярский край).

Работы проводились в Красноярском крае с целью исследования возможностей радарной съемки свойств земной поверхности в указанных районах и определения возможности по перспективному использованию средств дистанционного зондирования в интересах муниципальных образований для целей развития территории и охраны окружающей среды. Использовались снимки, полученные со спутника RADARSAT-2 в августе – октябре 2011 г.

В результате обработки радарных данных в программном комплексе SARscape были получены композитные изображения (рис. 4). Изображение содержит в себе параметры свойств земной поверхности, производя анализ и вычисление производных параметров, таких как, когерентность, взаимная корреляция, коэффициенты контраста, среднее значение яркости и др., можно выделить признаки, характерные для отдельных классов. Такой подход к классификации позволяет обрабатывать данные на значительные территории и создавать картографический материал. Возможно использование встроенных алгоритмов классификации программного комплекса.

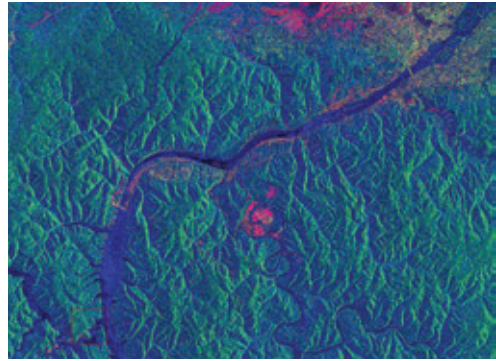


Рис. 4. Композитное изображение сцены района г. Дивногорска

Результаты также могут использоваться при создании композитов. Возможности комплекса позволяют самостоятельно создавать классы.

В результате выполнения проекта получены следующие результаты. Радарная съемка позволяет извлекать из снимков знания о природных структурах, производить мониторинг территорий, создавать классификации данных о земной поверхности, измерять смещения земной коры. Несомненно, такие возможности становятся мощным инструментом, увеличивающим возможности общества.

Применение в хозяйственной деятельности позволяет увеличить точность при принятии решений в градостроительстве, строительстве промышленных предприятий или освоении посевных площадей. Огромное влияние использование космической съемки будет иметь на архитектуру современных городов и поселений.

Данные радарной съемки спутника RADARSAT-2 отличаются высокими геометрическими характеристиками и могут стать источником данных для создаваемых геопорталов разных уровней. Использование актуальных данных на постоянной основе позволяет формировать стратегию развития территории, осуществлять надзор, совершенствовать законодательство. Особенно эффективно применение такого подхода будет для удаленных территорий и поселений, т.е. тех, где отсутствуют или есть недостаток соответствующих служб – для малых городов, поселков, деревень.

Использование материалов радарной съемки в интересах лесного хозяйства для оценки повреждений в результате стихийных бедствий

Проект представлен РУП «Белгослес» (Беларусь).

Материалы радарной съемки в сравнении с мультиспектральными данными характеризуются одним важным преимуществом — оперативностью получения данных вне зависимости от времени дня или ночи, наличия облачности. Это делает их незаменимыми при анализе чрезвычайных ситуаций в лесном хозяйстве, особенно при обнаружении ветровальных и буреломных повреждений насаждений, несанкционированных вырубок леса и т. д.

Целью проводимых исследований являлось выявление возможных вариантов использования материалов радарной съемки (отдельно или в комбинации с мультиспектральными данными) для выделения поврежденных лесных участков вследствие ветровалов и буреломов, рубок леса.

В процессе работ привлекались материалы мультиспектральных съемок со спутниковой системы RapidEye (сразу после ветровальных повреждений, август 2010 г.) и материалы съемки ALOS/AVNIR (съемка выполнялась после ветровалов, июль 2009 г.). В исследованиях использовались материалы радарной съемки в X-диапазоне со спутниковой группировки COSMO-SkyMed на территории Червенского лесхоза, датированные сентябрем 2011 г., с пространственным разрешением 3 и 8 м.

Одним из объектов исследования являлся лесной массив, подверженный стихийным воздействиям

(рис. 5а, 5б, 5в). Как отмечалось ранее, определение поврежденных лесных участков и участков после ликвидации последствий на радарном снимке хорошо представляется в HV-канале с пространственным разрешением 3 м.

Обработка материалов радарной съемки выполнялась в программном комплексе ENVI и программном модуле SARSCAPE.

По результатам проведенных исследований сделан вывод, что технология использования материалов радарной и спектральной съемок для целей обнаружения ветровально-буреломных повреждений лесов может выглядеть следующим образом. На территорию объекта, где имели место сплошные ветровальные повреждения, берутся архивные материалы спектральной съемки RapidEye или ALOS/AVNIR (до повреждений), а также заказывается свежая (после прохождения ветровала) радарная съемка высокого разрешения. Поскольку оперативность получения радарной съемки высока, то указанные материалы можно получить достаточно быстро. Кроме того, мультиспектральные материалы дешевле радарных, поэтому их использование вместо радарной съемки, которая должна выполняться до повреждения насаждений, будет способствовать экономии средств.

После предварительной обработки полученных материалов съемки формируются указанные разновременные композитные изображения, которые в дальнейшем дешифрируются интерактивно. Использование методов автоматизированной классификации не исключается.



Рис. 5а. Анализ ветровальных участков поврежденных лесных насаждений на территории Червенского лесхоза. Съемка до повреждения ALOS/AVNIR

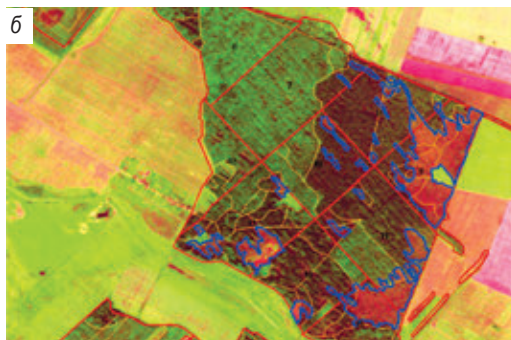


Рис. 5б. Анализ ветровальных участков поврежденных лесных насаждений на территории Червенского лесхоза. Съемка после повреждения RapidEye

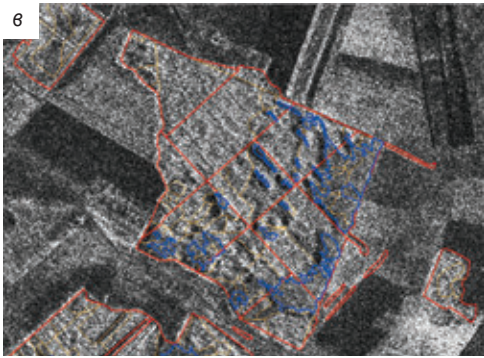


Рис. 5в. Радарная съемка после повреждения COSMO-SkyMed

Создание цифровой карты вертикальных смещений земной поверхности на участке добычи калийных солей в Республике Беларусь

Проект представлен УП «Геоинформационные системы» НАН Беларуси.

Целью проекта являлось создание цифровой карты вертикальных смещений земной поверхности на участке добычи калийных солей в Республике Беларусь с использованием методов спутниковой радарной интерферометрии. Создание такой карты направлено на своевременную разработку и реализацию необходимых корректирующих и предупреждающих действий на возделываемых землях в районе г. Солигорска.

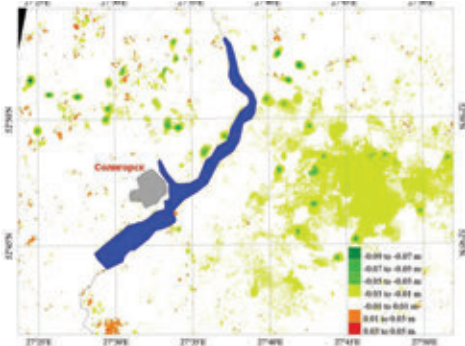


Рис. 6. Карта вертикальных смещений земной поверхности на участке добычи калийных солей за период 13 дней по результатам интерферометрической обработки пары радиолокационных снимков COSMO-SkyMed (23.09.2011 – 06.10.2011)

Реализация проекта позволила построить карту вертикальных смещений земной поверхности района Старобинского месторождения калийных солей (рис. 6) по данным интерферометрической обработки (рис. 7) пары космических снимков COSMO-SkyMed в программной среде SARscape за период с 23 сентября 2011 по 6 октября 2011 г. За 13 дней произошли изменения земной поверхности от $-8,7$ см (опускание) до $+3,2$ см (поднятие). Основная часть территории за столь короткий срок практически не претерпела изменений, значения колеблются от -1 см до $+1$ см, однако на отдельных локальных участках наблюдаются значительные опускания, так называемые мульды проседания, где опускание земной поверхности достигает 9 см. Как правило, они имеют округлую форму диаметром 150–300 м и связаны с добычей калийных солей подземным способом на данной территории.

В ходе выполнения проекта была реализована на практике известная технология выявления вертикальных смещений по данным интерферометрической обработки пары космических снимков COSMO-SkyMed в программе SARscape. Произведено сравнение результатов полевых обследований с полученными данными по радиолокационным снимкам COSMO-SkyMed и сделан вывод об их положительной корреляции.

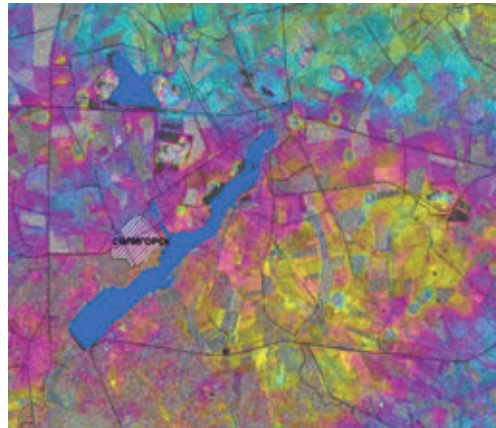


Рис. 7. Дифференциальная интерферограмма, показывающая смещения земной поверхности на участке добычи калийных солей, рассчитанная по паре снимков COSMO-SkyMed за 23.09.2011 и 06.10.2011 г.

Обзор подготовлен Б.А. Дворкиным (Компания «Совзонд»)

Ю.И. Кантемиров (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работал младшим научным сотрудником лаборатории космической информации для целей газовой промышленности в ООО «Газпром ВНИИГАЗ». С 2010 г. работает в компании «Совзонд» ведущим специалистом отдела программного обеспечения.

Обзор современных радарных данных ДЗЗ

Радарная космическая съемка в настоящее время выполняется в ультракоротковолновой (сверхвысокочастотной) области радиоволн, подразделяемой на X-, C- и L-диапазоны (табл. 1). В ближайшие годы также планируется запуск первого космического радиолокатора Р-диапазона (BIOMASS, Европейское космическое агентство — ESA).

Широкое применение спутниковых радарных данных началось в 1991 г. с запуском спутника ERS-1 (ESA) с радиолокатором на борту. Первоначальная цель запуска этого первого гражданского спутникового радиолокатора среднего пространственного разрешения (20 м) определялась довольно узко и ограничивалась морскими приложениями (мониторинг ледовой обстановки, айсбергов, судоходства, течений, нефтяных пятен и т. д.). Однако уже после прохождения спутником нескольких полных циклов повторения орбиты выяснилось, что, кроме морских

приложений, у этого радиолокатора имеется большой потенциал и для выполнения различных задач на суше.

Во-первых, на опытных участках были успешно построены цифровые модели рельефа (ЦМР) по результатам интерферометрической обработки пар радарных снимков, выполненных с временным интервалом, равным кратному числу полных циклов повторения орбиты. Однако, для большинства типов ландшафтов (кроме пустынь) когерентность (мера корреляции фаз радарных снимков) для построения ЦМР оказывалась недостаточной, поскольку минимально возможный период между интерферометрическими съемками составлял один полный цикл повторения орбиты, т.е. 35 дней во время основной фазы эксплуатации «С» и 3 дня во время фаз эксплуатации «А», «В» и «D».

В том числе поэтому в пару к ERS-1 был заплани-

Таблица 1

Основные характеристики снимков и условий съемки

Диапазон	Частоты, ГГц	Длины волн, см	Спутниковые системы
X	5,20 – 10,90	2,75 – 5,77 (2,4 – 3,8)	USGS SLAR, TerraSAR-X/TanDEM-X, COSMO-SkyMed 1–4
C	3,9 – 6,2	3,8 – 7,6	ERS-1,2; ENVISAT-ASAR; RADARSAT-1,2
L	0,39 – 1,55	19,3 – 76,9 (15 – 30)	SIR-A,B, JERS, ALOS/PALSAR

рован запуск спутника ERS-2, а вместе они должны были составить тандемную пару спутников, способных выполнять тандемную интерферометрическую съемку одной и той же территории с временными интервалами в 1 сутки. В тандемном режиме пара этих спутников проработала около года (1995–1996). Затем с выходом из строя определенного оборудования на спутнике ERS-1 тандемная миссия официально закончилась. Фактически же тандемные съемки продолжались до марта 2000 г., когда прекратилась эксплуатация ERS-1, хотя в интерферометрической обработке тандемных пар после 1996 г. возникают некоторые дополнительные трудности. Всего тандемом ERS-1 – ERS-2 снята большая часть земного шара, иногда по несколько раз.

Еще одним важным практическим применением спутниковых радиолокаторов стал мониторинг смещений земной поверхности по результатам дифференциальной интерферометрической обработки. Если учесть, что спутник ERS-1 выполнял съемку с 1991 г., а спутник ERS-2 находился на орбите до середины 2011 г., а также то, что эти два спутника находились на примерно одной и той же орбите и производили радарную съемку одинаковым сенсором SAR, то на значительную часть земного шара имеются многопроходные интерферометрические цепочки снимков за период с 1991 по 2011 г. Так, например, многие европейские города снимались каждый месяц с 1995 г. (а с 1991 г. по 5–10 раз в год). То есть в настоящее время имеются 100- или 200-проходные цепочки радарных снимков, которые в случае достаточной когерентности (например, в случае застроенных территорий) могут быть обработаны всеми возможными дифференциальными интерферометрическими методиками, описанными ниже, с получением на выходе карт смещений и деформаций земной поверхности и сооружений за период до 20 лет. На территорию России и стран СНГ нередко имеются 30–40-проходные и практически всегда 15–20-проходные цепочки таких снимков.

В 2002 г. ESA был запущен спутник ENVISAT, с радиолокатором ASAR на борту, который представлял собой следующее поколение спутников по сравнению с ERS-1 и ERS-2. Этот спутник характеризуется большим количеством углов и режимов съемки, возможностью съемки в разных поляризациях (в том

числе в двух одновременно) и в широкополосном режиме. При этом снимки, сделанные в режиме Image Mode в полосе съемки IS2 и с поляризацией VV, интерферометрически совместимы со снимками ERS-1 и ERS-2. Эта особенность позволила в течение нескольких временных периодов организовать тандемную съемку ERS-2 — ENVISAT с временным интервалом в 30 минут на больших базовых линиях. Съемка в таком режиме характеризуется крайне высоким фазовым разрешением интерферограмм по высоте и при этом довольно высокой когерентностью фаз этих снимков, что позволяет строить ЦМР высокой точности (но среднего пространственного разрешения 20 м).

Кроме того, спутник ENVISAT также вел многопроходную интерферометрическую съемку значительных территорий, в том числе России и стран СНГ, что позволяет выстраивать 20–40 проходные интерферометрические цепочки снимков для мониторинга смещений и деформаций земной поверхности и сооружений.

Компания MDA (Канада) в 1995 г. запустила радарный спутник RADARSAT-1 несколько иной концепции. Спутник мог вести съемку с пространственным разрешением от 100 до 7 м, под многими углами съемки и с разными площадями кадра. Наличие большого количества режимов съемки позволяло выполнять мониторинговые задачи, поскольку одна и та же территория могла сниматься не только через полный цикл орбиты (как в случае ERS-1 и ERS-2), но и через каждые 2–3 дня (но под разными углами съемки). Другим принципиальным отличием от спутников ESA являлась ориентация на съемку на заказ (в отличие от ERS и ENVISAT, ведущих более или менее регулярную съемку всего земного шара). Поэтому для RADARSAT-1 архивные снимки, как правило, есть только на те территории, где выполнялась съемка на заказ.

Логическим продолжением спутника RADARSAT-1 стал запущенный в 2007 г. спутник RADARSAT-2 (MDA, Канада). Этот спутник характеризуется пространственным разрешением от 100 до 1 м, возможностью съемки во всех возможных поляризационных режимах, широким диапазоном площадей кадров и очень высокой производительностью, а также возможностью мониторинговой съемки через 2–3 дня. Главным преимуществом этого радарного спутника

является наилучшее среди всех радарных спутников соотношение «пространственное разрешение — площадь сцены» (по состоянию на начало 2012 г.). Так, в режиме съемки Wide Fine пространственное разрешение составляет 7 м при размере сцены 150 x 170 км с возможностью съемки в двух поляризациях одновременно; в режиме Wide Ultrafine — разрешение 3 м при размере сцены 50 x 50 км; в режиме Spotlight A — разрешение 1 м при размере сцены 18 x 8 км.

Германские спутники сверхвысокого пространственного разрешения TerraSAR-X и TanDEM-X (Astrium GEO-Information Services) также предлагают все возможные режимы съемки и комбинации поляризации сигнала, а также большой диапазон площадей кадров и углов съемки. Среди важных особенностей этого спутника следует отметить крайне высокую точность определения орбиты, а следовательно, и крайне низкую (субпиксельную) ошибку геолокации снимков (естественно, это соблюдается только при использовании ЦМР в процессе геокодирования). Для мониторинга смещений земной поверхности и деформаций сооружений данные TerraSAR-X могут быть

использованы только в условиях пустынь, степей и застроенных территорий, поскольку при съемке в X-диапазоне с периодом 11 дней и более даже незначительная растительность резко ухудшает когерентность даже между соседними по времени съемками (полный цикл орбиты — 11 дней, а интерферометрическая обработка возможна для снимков, сделанных через целое число полных циклов орбиты). С запуском спутника TanDEM-X в пару к спутнику TerraSAR-X для выполнения одновременной тандемной интерферометрической съемки начался проект по построению беспрецедентной по точности и пространственному разрешению глобальной ЦМР, который должен завершиться к 2015 г.

Радиолокатор PALSAR, расположенный на японском спутнике ALOS, в период с 2006 г. по начало 2011 г. являлся единственным спутниковым радиолокатором L-диапазона. Он выполнял съемку всей поверхности Земли ежегодно по несколько раз, поэтому на любую точку на Земле, скорее всего, найдется архив в 10–20 интерферометрических проходов. Данные ALOS/PALSAR пригодны для построения

Таблица 2

Планируемые к запуску радарные спутники

Название спутника	Оператор	Диапазон длин волн	Планируемые годы запуска	Пространственное разрешение, м
RISAT-1	ISRO (Индия)	C	2012	3 – 15
Sentinel-1 A/B	ESA (Европа)	C	2013–2015	5 – 20
SAOCOM-1 A/B	CONAE (Аргентина) ASI (Италия)	L	2013–2015	5
ALOS-2	JAXA (Япония)	L	2012–2013	3 – 15
COSMO-SkyMed-5/6/7/8	ASI (Италия)	X	2013–2015	1 – 15
RADARSAT constellation mission (RCM)	CSA, MDA (Канада)	C	2014–2015	1 – 100
BIOMASS	ESA (Европа)	P	2015–2017	50
NovaSAR-S	SSTL (Англия)	S	2015	6 – 30 м

ЦМП и мониторинга смещений интерферометрическим методом, для мониторинговых задач лесного и сельского хозяйства (по архивным данным) и т. д. L-диапазон позволяет дольше сохранять когерентность и в некоторой степени компенсировать ее падение, вызванное влиянием растительности. Плотный лес и джунгли все же являются ограничением для интерферометрии даже в L-диапазоне. Значительным недостатком ALOS/PALSAR является отсутствие возможности съемки на заказ.

Одной из наиболее многофункциональных и интересных на сегодняшний день, по мнению автора, группировок радарных спутников является группировка из 4 спутников COSMO-SkyMed 1-4 (e-GEOS, Италия). Среди основных особенностей этой группировки можно отметить частоту интерферометрических съемок до 8 раз в месяц, наличие различных поляризационных режимов, пространственное разрешение до 1 м. Высокая частота интерферометрических съемок, в частности, позволяет генерировать высококачественные когерентные мультитременные композиты высокого разрешения, находящие широкое применение в сельском и лесном хозяйстве, а также при мониторинге землепользования. Немаловажным фактором является также очень привлекательная ценовая политика, особенно на данные высокого разрешения (3 и 1 м) при заказе многопроходных новых съемок (от 15 проходов над одной и той же территорией и больше). Стоимость же мониторинговых сервисов, основанных на широкополосных режимах съемки ScanSAR спутников COSMO-SkyMed, приближается к стоимости сервисов, основанных на данных ERS, ENVISAT и других научных спутников.

В настоящее время компания Surrey Satellite Technology Limited (SSTL) завершает разработку нового бюджетного радарного спутника NovaSAR-S. Этот спутник будет представлять собой платформу SSTL-300 с инновационным радаром для съемки в S-диапазоне длин волн. Подход SSTL к инжинирингу и проектированию позволяет развернуть миссию NovaSAR-S в полном объеме в течение 24 месяцев с момента заказа. Компания SSTL также участвует в обеспечении поддержки наземного сегмента будущей миссии NovaSAR и разрабатывает технологии обработки, архивирования и передачи данных съемок.

Система NovaSAR-S (предположительно группировка из трех радарных спутников) будет вести радарную съемку в четырех режимах с разрешением 6–30 м в различных комбинациях поляризации. Технические параметры спутников будут оптимизированы для широкого спектра задач, таких, как мониторинг наводнений, оценка сельскохозяйственных культур, мониторинг лесов, классификация растительного покрова, борьба со стихийными бедствиями и наблюдения за акваториями, в частности для слежения за кораблями, обнаружения разливов нефти. Планируется реализация и интерферометрического режима съемки. S-диапазон длин волн, в котором будут вести съемку спутники NovaSAR, представляется крайне интересным именно для территории России, поскольку волны S-диапазона характеризуются частичным проникновением через растительный покров, но в то же время не теряются мелкие детали изображений, что происходит, например, в случае L-диапазона. В табл. 2 приведен список планируемых к запуску радарных спутников.

Важной тенденцией в развитии спутниковых радарных систем (помимо повышения пространственного разрешения и увеличения числа режимов съемки) является расширение поляризационных возможностей, и в особенности появление возможности одновременной съемки в четырех возможных поляризациях (такая съемка позволяет в дальнейшем генерировать так называемую полную поляризационную матрицу). Многополяризационные режимы съемки, в частности, открывают новые возможности для использования радарных съемок в задачах лесного и сельского хозяйства.

Компания «Совзонд» поставляет данные со всех вышеперечисленных радарных спутников, предоставляет программное обеспечение для обработки радарных данных SARscape (SARMAP, Швейцария) и оказывает услуги по тематической обработке данных радарных съемок, а также по обучению работе в SARscape. В статье автора «Обзор основных методик обработки радарных данных ДЗЗ и их реализация в программном комплексе SARscape» (с. 30–43) приводятся основные методики обработки данных радарных съемок, их реализация в программном комплексе SARscape и примеры практического применения этих методик.

Ю.И. Кантемиров (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работал младшим научным сотрудником лаборатории космической информации для целей газовой промышленности в ООО «Газпром ВНИИГАЗ». С 2010 г. работает в компании «Совзонд» ведущим специалистом отдела программного обеспечения.

Краткие теоретические основы радарной интерферометрии и ее многопроходных вариаций Ps и SBas

ВВЕДЕНИЕ

Радарная съемка выполняется в ультракоротковолновой (сверхвысокочастотной) области радиоволн, подразделяемой на X-, C-, L- и P-диапазоны (табл. 1). Съемка в каждом из вышеперечисленных диапазонов имеет свои плюсы и минусы. Для задач мониторинга смещений земной поверхности, зданий и сооружений по каждой конкретной территории подбираются данные в одном или нескольких из этих диапазонов исходя из типа рельефа, типа растительного покрытия, ожидаемых величин смещений и т.д.

Входными данными для обработки в специализированных программных комплексах являются интерферометрическая пара (либо цепочка) радарных снимков. Ограничением для возможности интерферометрической обработки пары (или цепочки) радарных снимков являются пространственная и временная базы [1].

Пространственная база (или базовая линия) представляет собой расстояние между орбитальными положениями радиолокатора при съемке изображений, составляющих интерферометрическую пару (рис. 1). Качество результатов интерферометрической обработки напрямую зависит от величины перпендикулярной составляющей базовой линии. С одной стороны, качество получаемой интерферометрической карты смещений земной поверхности возрастает с уменьшением длины перпендикулярной базовой линии. В случае базовой линии, равной нулю, интерферограмма, рассчитанная по такой

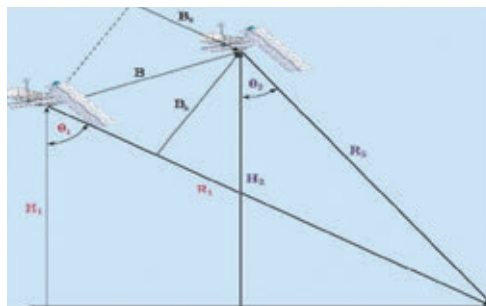


Рис. 1. Схема космической съемки интерферометрической пары радарных изображений

паре снимков, вообще содержит только фазу смещений. С другой стороны, при превышении некоторого критического значения базовой линии интерферометрическая обработка становится в принципе невозможной вследствие пространственной декорреляции.

Критическое значение перпендикулярной пространственной базы для каждой пары снимков может быть вычислено по следующей формуле:

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

где: $B_{n,cr}$ — критическая базовая линия; λ — длина зондирующей волны радиолокатора; R_r — пространственное разрешение в направлении наклонной дальности.

Остальные аргументы соответствуют обозначениям к рис. 1: H_1 и H_2 — высота орбиты радиолокатора;

Таблица 1

Диапазоны радиоволновой области электромагнитного спектра

Диапазон	Частоты, ГГц	Длины волн, см	Спутниковые системы
X	5,20 – 10,90	2,75 – 5,77 (2,4 – 3,8)	USGS SLAR, TerraSAR-X/TanDEM-X, COSMO-SkyMed 1–4
C	3,9 – 6,2	3,8 – 7,6	ERS-1,2; ENVISAT-ASAR; RADARSAT-1,2
L	0,39 – 1,55	19,3 – 76,9 (15 – 30)	SIR-A,B, JERS, ALOS/PALSAR
P	0,225 – 0,391	40,0 – 76,9 (30 – 100)	AIRSAR

R_1 и R_2 – дальность (путь зондирующей волны); θ_1 и θ_2 – углы между дальностью и высотой; B_{\perp} и B_{\parallel} — перпендикулярная и параллельная составляющие базовой линии; B — результирующая базовая линия.

По этой формуле, критическая перпендикулярная базовая линия для используемых данных ENVISAT/ASAR Image Mode составляет порядка 900 — 1500 м, а для данных ALOS/PALSAR — 6500 м в режиме FBS и 13 000 м в режиме FBD (6500 м при перекрестной обработке режимов FBS и FBD). Оптимальная для расчета смещений перпендикулярная база в случае обоих вышеуказанных спутников колеблется в диапазоне от 0 до 30 % от критической базы.

Временной базой называют промежуток времени, прошедший между съемкой изображений, составляющих интерферометрическую пару. Понятие временной базы напрямую связано с такой важной проблемой, как временная декорреляция, возникающая за счет изменений рельефа, растительности, влажности, шероховатости и других свойств отражающей радарный луч поверхности, произошедших за период между съемками. Проблема временной декорреляции может быть решена увеличением длины зондирующей волны (что повышает «просвечивающую» способность радиоволн) либо сокращением временной базы (т. е. промежутка между съемками).

В ходе мониторинга смещений на месторождении Тенгиз был применен вышеуказанный подход интерферометрической обработки пар снимков, отобранных из всех возможных пар по принципу наименьших

базовых линий. При этом результат обработки в итоге был представлен в виде карт смещений за периоды между первой съемкой и поочередно каждой из последующих съемок. То есть результат показывает развитие смещений во времени, а также итоговую карту смещений за весь период наблюдений.

Помимо пространственной и временной баз, важным параметром, определяющим возможность или невозможность интерферометрической обработки, является разность положений Доплеровского центра вращения Земли для снимков пары. Все обработанные пары характеризуются низкими либо нормальными значениями этого параметра, что положительно сказалось на обработке.

Если значения пространственной и временной баз, а также разницы положений Доплеровского центра позволяют выполнить интерферометрическую обработку, то становится возможным рассчитать интерферограмму.

Каждый радарный снимок интерферометрической пары содержит в себе амплитудный и фазовый слой. Амплитудный слой более пригоден для визуального анализа. Результирующая фаза Φ , полученная в ходе интерферометрической обработки фазовых слоев снимков интерферометрической пары, в общем случае 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;

Φ_{def} – фазовый набег за счет смещения отражающей

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 снимков в общем случае состоит из нескольких базовых шагов:

1. Совмещение основного и вспомогательного радарных изображений интерферометрической пары (в автоматическом режиме либо с ручным вводом контрольных точек).
2. Генерация интерферограммы, являющейся результатом комплексного поэлементного перемножения основного изображения и вспомогательного изображения, геометрически совмещенного с основным.
3. Разделение компонентов фазы Φ_{def} и Φ_{topo} за счет синтеза фазы рельефа с помощью имеющейся цифровой модели рельефа (ЦМР) или цифровой модели местности (ЦММ), либо модели эллипсоида, либо путем задания средней по площади снимка высотной отметки (для равнинных областей) с получением на выходе дифференциальной интерферограммы, на которой один полный спектр цветов (интерференционный цикл) соответствует смещению земной поверхности, равным половине длины волны радиолокатора.
4. Фильтрация интерферограммы, позволяющая в определенной степени уменьшить фазовый шум (помехи) за счет закругления выходной карты смещений земной поверхности.
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) и устранение разрывов фазы.
7. Коррекция значения базовой линии по наземным контрольным точкам.
8. Преобразование абсолютных значений фазы в смещения земной поверхности в миллиметрах.

Полная цепочка интерферометрической обработки, а также многие другие дополнительные функции

реализованы в использованном авторами программном комплексе SARscape (разработчик SARMAP, Швейцария), являющемся дополнительным модулем программы ENVI (Exelis VIS, США).

Для анализа не пар, а многопроходных цепочек интерферометрических радарных снимков в SARscape реализованы модификации радарной интерферометрии: технологии интерферометрии постоянных рассеивателей (Persistent Scatterers) и интерферометрии малых базовых линий (SBAs).

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ ПОСТОЯННЫХ РАССЕИВАТЕЛЕЙ РАДАРНОГО СИГНАЛА (PS)

Этот вариант радарной интерферометрии характеризуется максимально возможной точностью оценки смещений (2–4 мм по высоте). Входными данными для обработки должны являться не менее 30 снимков одной и той же территории за разные даты, сделанных в одной и той же геометрии съемки спутникового радиолокатора [2–4].

Программой автоматически выбирается основное изображение, на которое автоматически с точностью до 1/100 пикселя корегистрируются остальные снимки интерферометрической цепочки. Далее программа строит так называемые интерферограммы (комплексно поэлементно перемноженные фазовые слои радарных снимков) по каждой паре снимков. Затем для каждой пары оцениваются величины когерентности (меры корреляции фаз радарных снимков). Также для каждой пары строятся карты величин стандартных отклонений амплитуд снимков.

Затем программой определяются точки — постоянные (или устойчивые) рассеиватели радарного сигнала. Для выбора точек используется несколько порогов (порог корреляции амплитуд, порог когерентности, порог пространственного и временного отклонений величин смещений первой итерации и т. д.). После того как постоянные рассеиватели определены, для них выполняется процедура оценки фазовых разностей и мультивременной развертки фазы для точечных целей. Именно в разности фаз каждого снимка «зашията» величина смещений за период между съемками этих снимков.

Таким образом, для каждой из выбранных точек восстанавливается хронология изменения фазы во

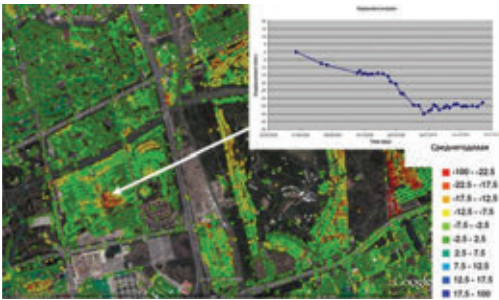


Рис. 2. Пример отображения результатов мониторинга смещений сооружений в условиях застроенной территории по методу постоянных рассеивателей

времени, которая затем математически пересчитывается в смещения в миллиметрах. Дополнительно в процессе обработки применяется специальный фильтр, удаляющий возможное влияние атмосферы на интерферометрическую фазу.

Результатом обработки является векторный файл точек, в атрибутах которых записаны:

- смещения на каждую дату съемки;
- среднегодовая скорость смещений;
- суммарная величина смещений;
- когерентность;
- высота над эллипсоидом WGS-84.

Пример результата обработки по технологии PS приведен на рис. 2. Основным недостатком данной технологии является ее применимость только для застроенных территорий, а также для отдельных зданий и сооружений при съемке в высоком разрешении.

По результатам 30-проходной съемки выявлены постоянные рассеиватели радарного сигнала, для каждого из которых известны смещения на каждую дату съемки и среднегодовая скорость смещений. Точки покрашены по атрибуту «среднегодовая скорость смещений» (зеленые – стабильные, желтые – оседания, красные — интенсивные оседания). График смещений за период 30 съемок для одной из точек — в правом верхнем углу рис. 2.

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ МАЛЫХ БАЗОВЫХ ЛИНИЙ (SBAS)

Интерферометрия малых базовых линий, в отличие от интерферометрии постоянных рассеивателей, является менее автоматизированным методом тре-

бующим большей квалификации исполнителя. В этом случае усиливается вклад статистики в финальный результат за счет перекрестной обработки очень большого количества интерферометрических пар при том же самом количестве снимков [5]. Для обработки по этому методу не обязательно наличие 30 снимков, обработка возможна и при меньшем их количестве.

Например, в случае 15-проходной цепочки общее возможное количество пар снимков достигает 105.

Из них по величине наименьшей пространственной базы выбираются, к примеру, 30–40 пар. Пары могут быть перекрестными (первый проход со вторым, второй с третьим, первый с третьим, второй с четвертым и т. п.). Обработка каждой пары ведется в полуавтоматическом режиме с выполнением нижеуказанных четырех шагов:

1. Автоматическая корегистрация, расчет интерферограммы, синтез фазы рельефа, вычитание фазы рельефа из интерферограммы, фильтрация дифференциальной интерферограммы, расчет когерентности, развертка фазы.
2. Набор точек с известными координатами и высотами для коррекции орбитальных параметров.
3. Расчет скорректированных дифференциальных интерферограмм и развернутых фаз.
4. Инверсия полученных перекрестных во времени развернутых фаз по методике SBAS с восстановлением последовательной во времени истории смещений.

При этом в итоге также восстанавливается хронология смещений от первого снимка цепочки до последнего (пример — на рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вышеприведенные данные можно обобщить следующим образом:

- по результатам интерферометрической обработки пар радарных снимков возможно получать карты смещений земной поверхности, однако в карте смещений, рассчитанной только лишь по одной паре снимков, могут присутствовать атмосферные артефакты, неточности орбитальных параметров, фазовый шум и т.д.;
- обработка многопроходных интерферометрических цепочек, в отличие от обработки отдельных пар снимков, позволяет исключить влияние атмо-

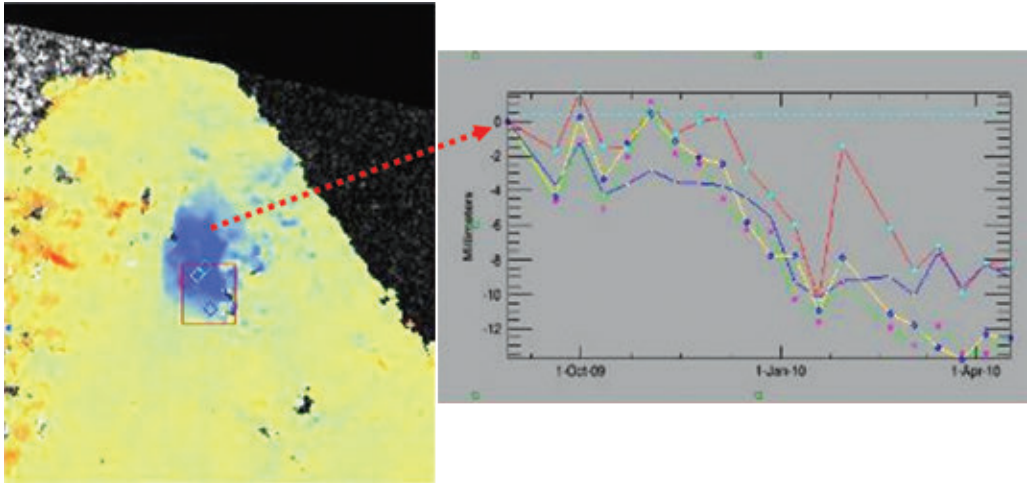


Рис. 3. Модель смещений (в цветовом кодировании) слева и история смещений для нескольких точек в центре локального участка оседаний синего цвета (справа), рассчитанные по методу SBas

сферы, значительно уменьшить орбитальную погрешность и вообще получить гораздо более статистически выверенный результат;

- среди методов интерферометрической обработки многопроходных цепочек наиболее известными являются методы PS и SBas (оба реализованы в программном комплексе SARscape);
- полностью автоматизированный метод PS позволяет добиться максимальных точностей замера смещений и деформаций зданий и сооружений (2–4 мм по высоте), а также позволяет изучать смещения и деформации в динамике, однако он применим в большей степени к застроенным территориям и требует в качестве исходных данных не менее 30 снимков;
- полуавтоматизированный метод SBas позволяет также изучать смещения и деформации, характеризуется чуть меньшей точностью, чем PS, и большими требованиями к пользователю, но зато он может работать не только по застроенным территориям, а также он не требует обязательных 30 снимков (метод будет работать и по 12–15 снимкам, однако для получения гарантированного результата все же надо стремиться к 30 проходам).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Richards: "A Beginner's Guide to Interferometric SAR Concepts and Signal Processing". *IEEE Aerospace and Electronic*, Vol. 22, No. 9, September 2007.
2. Ferretti, C. Prati and F. Rocca: "Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry". *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 38, no. 5, Part 1, Sept. 2000, pp. 2202 – 2212.
3. Ferretti, C. Prati and F. Rocca: "Permanent scatterers in SAR interferometry". *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 39, no. 1, Jan. 2001, pp. 8 – 20.
4. Hooper, H. Zebker, P. Segall, and B. Kampes: "A new method for measuring deformation on volcanoes and other non-urban areas using InSAR persistent scatterers". *Geophysical Research Letters*, vol. 31, December 2004.
5. P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, E. Sansosti: "A new algorithm for surface deformation monitoring based on Small Baseline differential SAR Interferometry". *IEEE Aerospace and Electronic*, Vol. 40, No. 11, November 2002.

В. Бутин (Компания «Совзонд»)

В 2003 г. окончил Московский военный институт радиоэлектроники по специальности «радиоэлектроника».

В настоящее время — ведущий специалист по радиотехническим системам компании «Совзонд».

Кандидат технических наук.

Выбор наземного комплекса приема и обработки данных с радиолокационного спутника RADARSAT-2

Существует два основных способа получения данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ): покупка данных у оператора спутника и организация собственного наземного комплекса приема и обработки данных (НКПОД). Далее, можно найти еще несколько способов, таких, как виртуальный прием, так называемая «подписка», когда заказчик покупает у оператора некоторый объем данных ежемесячно, например с целью мониторинга выбранной области; однако это только разновидности двух вышеперечисленных способов получения данных.

Предположим, что объем требуемых данных позволяет соизмерить объем финансирования, необходимый для организации собственного приемного комплекса. Стоимость данных, которые принимаются на наземный комплекс, несколько меньше, чем стоимость данных, приобретаемых у оператора спутника, а финансирование для приобретения антенного комплекса, лицензии на прием данных и соответствующего оборудования носят единовременный характер, следовательно, при увеличении количества приобретаемых данных стоимость приема на НКПОД может сравняться с покупкой данных у оператора.

Целесообразность приобретения НКПОД можно выразить следующим образом:

$$Vd \times C_0 = Vd \times C_s + Cl + C_n,$$

где: Vd — объем требуемых данных, кв. км;

C_0 — стоимость кв. км данных, у оператора;

C_s — стоимость кв. км данных принимаемых на станцию;

Cl — стоимость лицензии на прием данных;

C_n — стоимость организации НКПОД (включает стоимость антенного комплекса, стоимость требуемой аппаратуры, стоимость необходимого программного обеспечения).

Можно обозначить следующее правило:

$$Vd \times (C_0 - C_s) = Cl + C_n.$$

Когда объем требуемых данных, умноженный на разницу стоимости покупки данных и стоимости приема данных на НКПОД, превысит затраты на приобретение лицензии на прием данных и приобретение НКПОД или будет соизмерим с ними, тогда наиболее рациональна организация собственного НКПОД.

Здесь, конечно же, не учитываются различные другие возможности НКПОД, такие, как: прием данных с метеорологических космических аппаратов (КА), в свободное от основной работы время, максимальная оперативность получения данных, возможность организации приема с нескольких КА ДЗЗ и т.д.

Еще одним из препятствий при решении вопроса о целесообразности организации собственного НКПОД

является неопределенность погодных условий. Так, например, если вы организовали НКПОД под прием данных ДЗЗ в оптическом диапазоне и во время проведения съемки облачность не позволила получить качественные данные, то съемка считается выполненной. Данным риском и определяется разница в стоимости приема данных на собственный НКПОД и покупки данных у оператора (при заказе данных у оператора заранее оговаривается приемлемый уровень облачности).

В связи с этим более эффективно организовывать НКПОД под прием данных с радиолокационных КА. Одним из самых востребованных радиолокационных космических аппаратов ДЗЗ является RADARSAT-2 (оператор спутника, канадская компания MDA).

Данный спутник обладает самыми широкими воз-

можностями по выбору режимов съемки, наибольшей полосой захвата и четверной поляризацией, что обеспечивает его востребованность у потребителей данных ДЗЗ.

Продолжающий свою активную работу КА RADARSAT-1 и заявления компании MDA о перспективах продолжения поколения радиолокационных спутников в виде запуска в 2014–2015 гг. КА RADARSAT Constellation 1–3 свидетельствуют о надежности разработанных спутниковых систем и возможности долгосрочной работы с данной группировкой.

Все вышеперечисленное позволяет говорить о целесообразности организации собственного наземного комплекса приема и обработки данных с КА с точки зрения надежности.

Таблица 1

Требования к НКПОД для получения данных от спутника RADARSAT-2

N/N п/п	Параметр	Значение
1	Рабочая частота, МГц	8000...8500
2	RADARSAT-2 канал №1, МГц	8105
3	RADARSAT-2 канал №2, МГц	8230
4	Вид поляризации	Правая круговая
5	Вид модуляции	QPSK
6	Скорость потока данных, Мбит/с	>105
7	Полный обзор небосвода без «мертвых зон» от угла места, град.	5
8	Сопровождение КА с высотой орбиты, км	>450
9	Точность сопровождения КА в режиме программного управления, град.	<0,1
10	Точность сопровождения КА в режиме автосопровождения, град.	<0,05
11	Добротность антенной системы, Дб/К	>29
12	Вероятность искажения принимаемой информации	1,00E-05
13	Отношение сигнал/шум, Дб	>9,9
14	Загрузка эфемерид спутника из сети Интернет	–

Техническая возможность организации приема данных с выбранного КА оценивается по требованиям, которые предъявляет оператор (или разработчик КА). Основные требования, предъявляемые к НКПОД для приема данных с КА RADARSAT-2 со стороны компании MDA, представлены в табл. 1.

Кроме представленных в таблице требований, существует еще несколько, как, например, возможность формирования тестового сигнала для проведения самопроверки приемного тракта; автоматическое программирование плана работы станции в зависимости от присланного графика сеансов связи и т.д. Такие требования к НКПОД больше направлены на автоматизацию процесса получения и предварительной обработки данных, чтобы максимально исключить возможность срыва сеанса связи по причине человеческого фактора. В настоящее время комплексы приема и обработки данных в большинстве случаев работают автоматически по заранее спланированному графику.

Вмешательство в работу комплекса сервисного персонала станции производится только при проведении технического обслуживания или возникновении конфликта при работе с несколькими КА.

Основное направление развития НКПОД нацелено на максимальную унификацию используемого оборудования. Данное направление позволяет проводить ремонт и модернизацию антенной системы за несколько часов.

В связи с предполагаемым сроком службы НКПОД около 15 лет и наиболее целесообразно несколько расширить характеристики станции в соответствии с тенденциями развития КА ДЗЗ. Так, одним из основных направлений развития КА ДЗЗ является увеличение скорости передачи данных с борта КА на наземный комплекс и уменьшение энергетика сигнала, что, в свою очередь требует увеличения диаметра приемной антенны и повышения точности сопровождения принимаемого космического аппарата. В случае с КА RADARSAT-2 возможно организовать прием данных на антенную систему с менее жесткими характеристиками, например если использовать один канал связи. И такие системы существуют, однако перспективность использования подобных систем через 3–5 лет с другими КА вызывает большие сомнения.

Таким образом, выбор НКПОД определяется объемом требуемых данных и характеристиками выбранного КА ДЗЗ или нескольких КА ДЗЗ. Наиболее перспективно использовать прием данных с радиолокационных КА, так как исключается риск получения некачественных данных из-за облачности.

В настоящее время компания «Совзонд» поставляет НКПОД как российского, так и зарубежного производства, обеспечивающий прием данных со следующих КА ДЗЗ:

Радарные КА:

- COSMOSkyMed-1–4;
- RADARSAT-1,2;
- Envisat.

Оптические КА:

- RapidEye, UK-DMC-2 (входит в состав группировки спутников DMC, предназначенных для оперативной съемки районов стихийных бедствий);
- Cartosat-1,2.

Метеорологические КА:

- Aqua;
- Terra и др.

Перспективные КА:

- Nigeriasat-2 (КА высокого разрешения третьего поколения спутников группировки DMC; находится в тестовой эксплуатации);
- Suomi NPP (многофункциональный КА, предназначенный для съемки различных параметров атмосферы, океанов и земной поверхности);
- Sentinel (всего планируется запустить 10 радарных и оптических КА в 2013–2020 гг.; спутники предназначены для поддержки программы GMES — Global Monitoring for Environment and Security);
- Landsat-8 (планируется к запуску в конце 2012 г.) и др.

Специалисты компании «Совзонд» подберут наиболее эффективный способ получения данных ДЗЗ в зависимости от требований заказчика (поставка НКПОД, модернизация существующего НКПОД, организация приема данных на НКПОД компании-партнера, непосредственная покупка данных у оператора) и обеспечат его бесперебойную работу.

Ю.И. Кантемиров (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работал младшим научным сотрудником лаборатории космической информации для целей газовой промышленности в ООО «Газпром ВНИИГАЗ». С 2010 г. работает в компании «Совзонд» ведущим специалистом отдела программного обеспечения.

Обзор основных методик обработки радарных данных ДЗЗ и их реализация в программном комплексе SARscape

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SARSCAPE

В настоящей статье рассматриваются основные методики обработки радарных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), реализованные в программном комплексе SARscape, а также приводятся примеры практического применения обработанных радарных данных.

Программный комплекс SARscape (разработчик — SARMAP, Швейцария; правообладатель — Exelis VIS, США) представляет собой набор дополнительных модулей к программе ENVI (Exelis VIS, США). Эти дополнительные модули позволяют выполнять предварительную и тематическую обработку радарных снимков. Краткая спецификация модулей приводится ниже.

МОДУЛИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SARSCAPE

SARscape Basic

Модуль включает следующие возможности обработки данных: фокусировку, импорт комплексных и амплитудных данных, корегистрацию, фильтрацию (удаление спекл-шумов), извлечение характеристик (включая когерентность), геокодирование, радиометрическую калибровку и нормализацию радарных снимков, составление из них бесшовных мозаик,

сегментацию изображений. Эти функции дополнены набором инструментов, включающим широкий диапазон возможностей: от визуализации изображения до импорта, закачки из Интернета, интерполяции цифровых моделей рельефа (ЦМР), картографических и геодезических преобразований, коррекции орбит радарных спутников, преобразований растровых файлов и т. д.

SARscape Focusing

Модуль расширяет возможности фокусировки «сырых» радарных голограмм нулевого уровня в SARscape для данных ERS-1 и 2, ENVISAT/ASAR, JERS и ALOS/PALSAR. Данный модуль может быть полезен тем, кто собирается выполнять интерферометрическую обработку данных ALOS/PALSAR (поскольку в SARscape фокусировка этих данных осуществляется с приведением их к нулевой доплеровской частоте, что значительно упрощает корегистрацию и интерферометрическую обработку, а Японское космическое агентство JAXA фокусирует эти данные, не приводя их к нулевой доплеровской частоте). Также данный модуль пригодится тем, кто обрабатывает многопроходные интерферометрические цепочки снимков ERS и ENVISAT (данные с этих спутников загружались и загружаются на разные приемные станции с различными процессорами фокусировки, и если приобрести сфокусированные

комплексные данные, за счет этого можно внести дополнительные помехи в интерферометрическую фазу; в модуле SARscape Focusing возможно выполнить фокусировку всей цепочки в одном и том же процессоре).

SARscape Gamma-Gaussian Filter

Модуль расширяет возможности SARscape Basic по фильтрации амплитуд радарных снимков и включает целое семейство специфических радарных фильтров. Алгоритмы фильтрации, разработанные PRIVATEERS N.V., основаны на Гамма-Гауссовом распределении спекл-шума по сцене. Они особенно эффективны для уменьшения спекл-шума, так как сохраняют отражающие характеристики радиосигнала, структурные свойства и пространственное разрешение, особенно в сильно текстурированных радарных изображениях и в присутствии антропогенных объектов.

SARscape Interferometry

Модуль предназначен для обработки интерферометрических радарных данных (интерферометрия с двух, трех или четырех последовательных витков, InSAR/DinSAR) для задач создания ЦМР, получения последовательности изображений, совмещенных друг с другом с субпиксельной точностью, а также для построения карт смещений/деформаций земной поверхности. Основная идея метода заключается в корегистрации радарных изображений, формировании из их фазовых слоев интерферограмм, которые представляют собой результат комплексного поэлементного перемножения фазовой информации радарных изображений местности, полученных идентичными съемочными SAR-системами из близко расположенных точек орбиты, одной и той же территории. Затем интерферометрическая фаза может быть преобразована в абсолютные высоты либо в изменения высот за период между радарными съемками. Кроме того, в модуль дополнительно включены несколько специфических инструментов, например функция отслеживания метровых подвижек ледовых массивов по амплитуде радарных снимков. Также в модуле представлена функция атмосферной коррекции интерферограмм по данным синхронных с радарными оптических съемок (на данный момент в модуле поддерживаются данные ENVISAT/ASAR (радар) и ENVISAT/MERIS (оптика).

SARscape ScanSAR Interferometry

Модуль расширяет возможности модуля SARscape Interferometry, позволяя выполнять интерферометрическую обработку данных ENVISAT/ASAR в широкополосном режиме съемки Wide Swath, обеспечивая возможность получения интерферограмм низкого разрешения (75 м) на большие территории (400 x 400 км), с возможностью последующей атмосферной коррекции этих интерферограмм средствами модуля SARscape Interferometry.

Polarimetry/Polarimetric Interferometry

Модуль позволяет проводить обработку поляриметрических радарных данных (таких, как ALOS/PALSAR PLR и RADARSAT-2 Quadpol): калибровку данных, синтезирование изображений, расчет различных параметров радарных данных (энтропия, анизотропия, альфа), расчет поляриметрических интерферограмм и когерентностей (PolInSAR). Поляриметрические данные являются ценным источником информации о подстилающей поверхности и используются в основном для классификации объектов в задачах лесного и сельского хозяйства, при мониторинге судоходства, ледовой обстановки, нефтеразливов и т. д.

Interferogramm Stacking

В модуле реализованы два метода исследования (PS и Sbas), обладающие уникальной способностью по измерению смещений и деформаций земной поверхности и сооружений с миллиметровой точностью. В основе методов лежит совместная обработка снимков многопроходных интерферометрических цепочек (в случае PS — обработка устойчиво отражающих радарный сигнал точечных целей, в случае Sbas — распределенных целей).

В случае PS все имеющиеся снимки трансформируются в геометрию одного основного снимка, а затем каждое изображение обрабатывается с целью локализации постоянных рассеивателей (таких, как здания, мосты, скальные породы и т. д.), отображающихся на радарных изображениях в виде интенсивно и стабильно отражающих точек. Точное измерение миллиметровых подвижек выполняется именно по таким объектам. Результат представляет собой массив точек, в атрибутах каждой из которых — смещения на каждую дату съемки в миллиметрах, среднегодовая скорость смещений и абсолютная

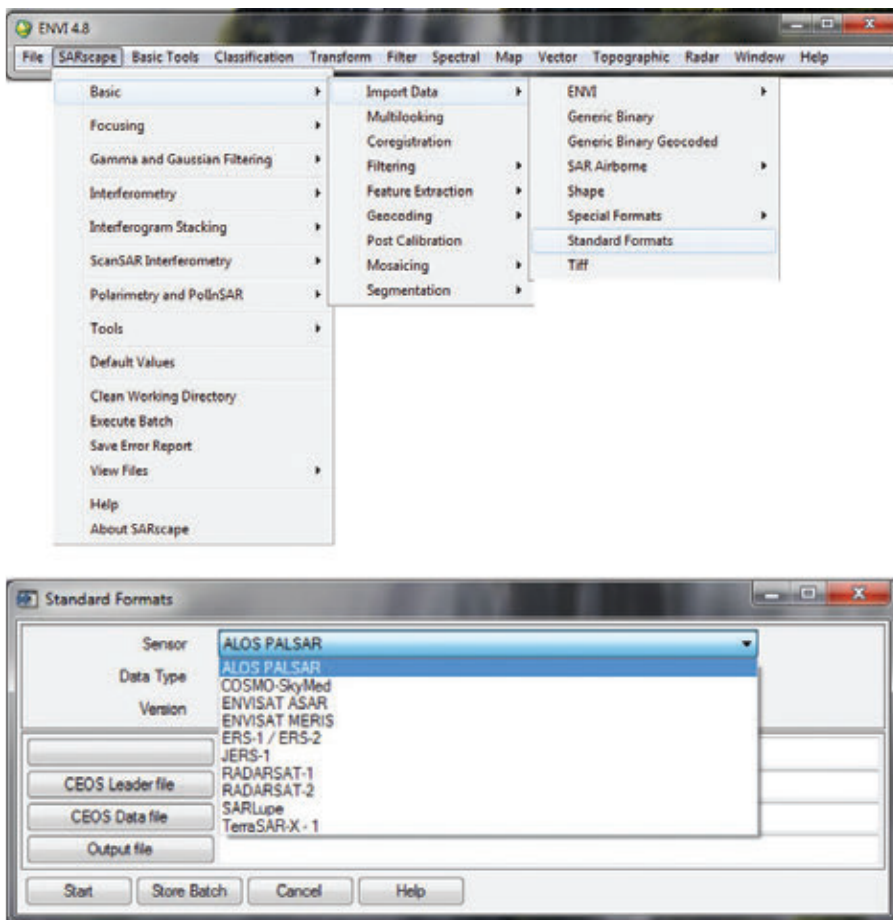


Рис. 1. Меню импорта спутниковых радарных данных в SARscape

высота. В случае Sbas производится обработка очень большого количества перекрестных во времени интерферограмм с последующим восстановлением последовательных во времени смещений. Такие результаты могут использоваться для различных строительных и инженерных проектов, при маршейдерско-геодезическом мониторинге, геомеханическом моделировании, при мониторинге деформаций критически важных сооружений и т.д. Данный модуль на сегодняшний день является уникальным программным продуктом и не имеет аналогов.

ИМПОРТ ДАННЫХ

Программный комплекс SARscape в настоящее время поддерживает импорт данных практически со всех радарных спутников, включая все режимы съемки и все возможные форматы поставки. Интерфейс импорта спутниковых радарных данных приведен на рисунке 1.

Помимо вышеприведенного стандартного меню импорта, в SARscape имеется возможность импорта и некоторых менее распространенных форматов. Так, для данных ERS-1, ERS-2, ENVISAT и ALOS

имеется возможность как импорта из стандартных форматов, так и фокусировки голограмм нулевого уровня. Для первых трех спутников эта возможность актуальна, поскольку нередко снимки, составляющие одну интерферометрическую цепочку, принимались и фокусировались на различных станциях с различными процессорами фокусировки, что приводит к дополнительным проблемам при интерферометрической обработке. Если же сфокусировать все эти данные в одном процессоре фокусировки SARscape, то из интерферограмм будут изначально убраны соответствующие помехи. Что касается данных ALOS/PALSAR, то стандартный формат SLC, поставляемый Японским аэрокосмическим агентством, представляет собой данные, не приведенные в процессе фокусировки к нулевой доплеровской частоте, в то время как процессор фокусировки SARscape приводит эти данные к нулевой доплеровской частоте. Это позволяет избежать в интерферограммах фазовых помех, вызванных вращением Земли. Кроме того, SARscape позволяет импортировать данные с некоторых авиационных радарных систем, таких, как TELAER, OrbISAR, E-SAR, RAMSES.

БАЗОВЫЕ ФУНКЦИИ

Меню базовых функций SARscape, приведенное на рисунке 2, позволяет выполнять:

- некогерентное накопление комплексных данных с задаваемыми коэффициентами;
- геокодирование амплитудных данных, их фильтрацию (есть как базовый набор фильтров, так и дополнительный набор Гамма-Гауссовых фильтров);
- получение бесшовных мозаик изображений и ЦМР;
- сегментацию;
- корегистрацию;
- вычисление файла средних значений произвольного параметра (например, средняя амплитуда по серии снимков), файла стандартных отклонений, а также файла максимальных и минимальных значений и т. д.

Также к удобным особенностям базовых функций SARscape можно отнести возможность перевода геокодированных растровых и векторных файлов (или координат точек) в координаты ряд—колонка (азимут—наклонная дальность) конкретного снимка, что очень удобно при интерферометрической обработке.

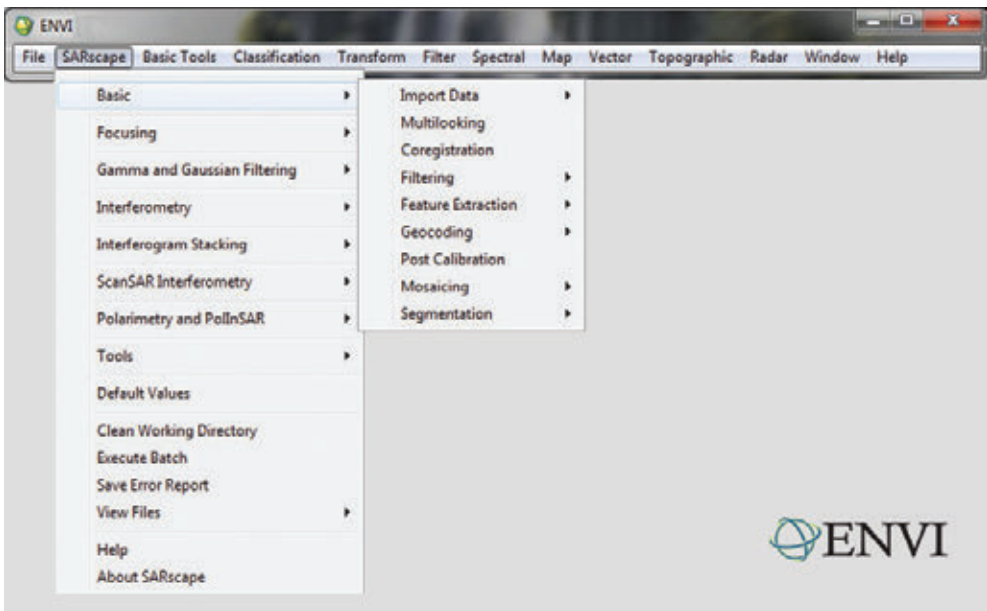


Рис. 2. Меню базовых функций SARscape

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ

Возможности радарной интерферометрии представлены в SARscape максимально широко и реализованы в четырех отдельных модулях. Рассмотрим их по порядку.

Модуль Interferometry, меню которого представлено на рис. 3, позволяет выполнять интерферометрическую обработку радарных данных с получением на выходе ЦМР либо карты смещений земной поверхности. Модуль позволяет выполнять:

- автоматическую трехэтапную корегистрацию радарных снимков с точностью до 1/100 пикселя (возможна обычная корегистрация и корегистрация с использованием опорной ЦМР);
- двухпроходную интерферометрию (на входе — интерферометрическая пара радарных снимков; на выходе — ЦМР);
- двухпроходную дифференциальную интерферометрию (на входе используется интерферометрическая пара радарных снимков и опорная ЦМР; на выходе — смещения, произошедшие за период между съемками первого и второго снимков пары);
- трехпроходную дифференциальную интерферо-

метрию (по первому и второму снимкам трехпроходной интерферометрической цепочки строится интерферометрический рельеф, фаза которого затем вычитается из интерферограммы, построенной по первому и третьему снимкам цепочки; на выходе — смещения за период между первым и третьим снимками; смещениями между первым и вторым снимками пренебрегают);

- четырехпроходную дифференциальную интерферометрию (строятся интерферограммы по первому и второму, первому и третьему, первому и четвертому, второму и третьему, второму и четвертому и, наконец, по третьему и четвертому снимкам четырехпроходной цепочки; затем оцениваются смещения на дату каждой из 4 съемок);
- компенсацию набега фазы по высоте с использованием опорной ЦМР, модели эллипсоида или адаптивного алгоритма, основанного на вычислении средней по площади снимка частоты интерференционных циклов;
- фильтрацию интерферограмм и расчет когерентности между фазами снимков интерферометрической пары тремя различными фильтрами на

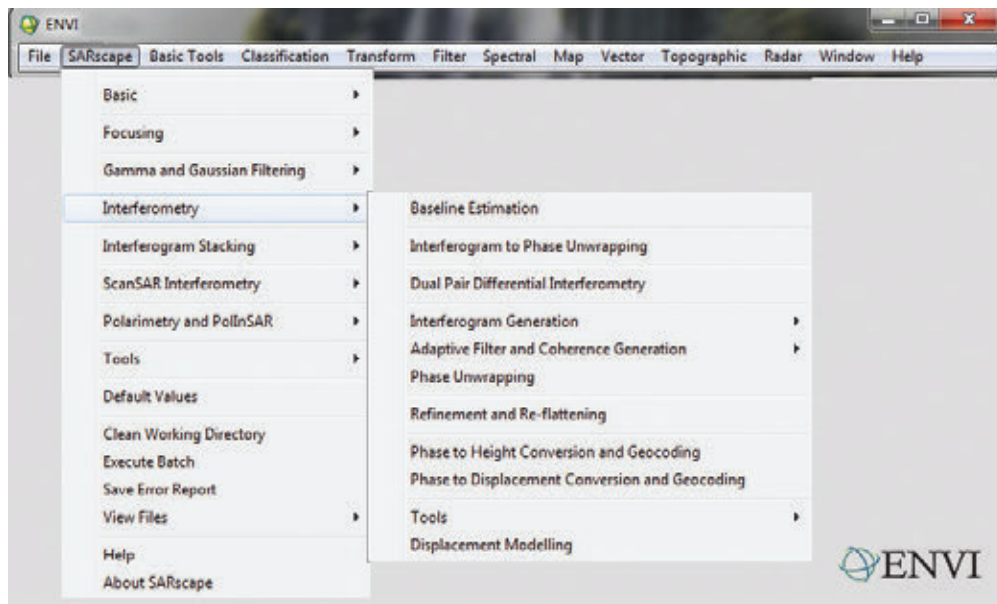


Рис. 3. Меню модуля Interferometry SARscape

выбор (усредняющий, адаптивный и фильтр Голдстейна);

- развертку фазы двумя различными методами (метод растущей области и метод потока минимальной стоимости);
- коррекцию орбиты по точкам с известной высотой, либо с использованием опорной ЦМР и адаптивным набором точек;
- вторую итерацию компенсации набега фазы по высоте (может быть выполнена после коррекции орбиты);
- пересчет фазовых значений в высоты с получением на выходе ЦМР;
- пересчет фазовых значений в смещения и деформации с получением на выходе карт смещений и деформаций.

Также отметим серию удобных для интерферометрической обработки инструментов, позволяющих, например, рассчитывать базовые линии для всех возможных парных комбинаций снимков цепочки; вырезать одну и ту же область, задаваемую на одном из снимков цепочки (с выполнением быстрой автоматической корегистрации); редактировать развернутую фазу и удалять (либо исправлять) арте-

факты развертки; выполнять сшивку ЦМР различного разрешения между собой с помощью вейвлет-алгоритмов, отслеживать метровые горизонтальные подвижки ледовых массивов по амплитуде радарных снимков, удалять атмосферные артефакты из интерферограмм с использованием данных синхронных с радарными оптических съемок и др.

Дополнительные возможности интерферометрии представлены в модуле интерферометрии широкополосного режима (SARscape ScanSAR Interferometry). Этот модуль позволяет интерферометрически обрабатывать данные широкополосного режима съемки ENVISAT/ASAR WideSwath. Выходным продуктом данного модуля является дифференциальная интерферограмма, рассчитанная по интерферометрической паре широкополосных снимков ENVISAT/ASAR WideSwath. Далее обработка этой интерферограммы может быть продолжена средствами, аналогичными средствам модуля SARscape Interferometry. Преимущество интерферометрии широкополосного режима состоит в том, что можно рассчитывать интерферограммы по снимкам площадью 400x400 км с пространственным разрешением 75 м.

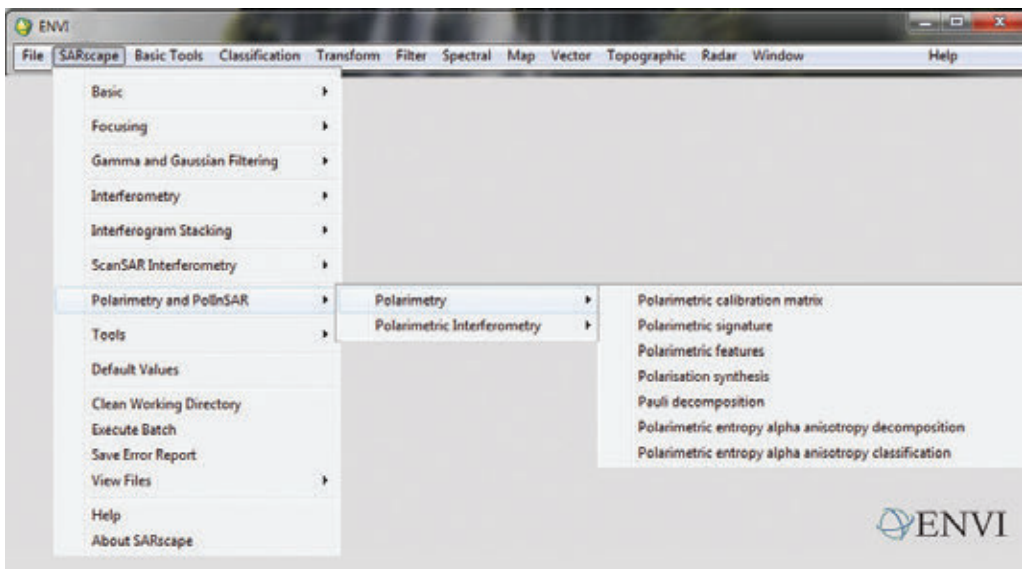


Рис. 4. Меню модуля Polarimetry SARscape

Для расчета смещений и деформаций земной поверхности и сооружений с миллиметровой точностью предназначен модуль SARscape Interferogramm Stacking, включающий в себя две технологии: Persistent Scatterers (PS) и Small Baselines (SBas). Входными данными для этого модуля являются 20-40 проходные интерферометрические серии снимков. На выходе — не только результирующая карта смещений, но и графики развития смещений во времени для каждой точки этой карты (т. е. анализ динамики происходящих смещений). Для этих методов характерна повышенная чувствительность к малым смещениям, к выявлению трендов смещений. К преимуществам данного метода также можно отнести меньшую зависимость от величины базовой линии (смещения достоверно выявляются даже при больших базовых линиях) и уменьшение сложностей, связанных с разверткой фазы. К ограничениям метода PS можно отнести необходимость наличия значительного количества высококогерентных точек. Такая плотность постоянных отражателей достигается на застроенных территориях и на территориях без растительности.

ПОЛЯРИМЕТРИЯ И ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ

Отдельно рассмотрим модуль поляриметрии и поляриметрической интерферометрии. Данный модуль специально предназначен для обработки радарных снимков, сделанных в четырехполяризационном режиме, позволяющем генерировать полную поляризационную матрицу. Уникальная особен-

ность полностью поляриметрических данных состоит в возможности классификации объектов на снимке по физическому типу отражения. Меню модуля Polarimetry представлено на рис. 4. Основной функцией этого модуля является Polarimetric entropy alpha anisotropy classification, которая и позволяет выполнять классификацию объектов на поверхности по типу отражения. Физический смысл такой классификации можно пояснить следующим образом: из четырехполяризационного радарного снимка генерируется полная поляризационная матрица (рис. 5) и в зависимости от того, в какую область этой матрицы попадает каждый конкретный пиксель радарного снимка, ему присваивается определенный класс. В SARscape в настоящее время реализован метод поляриметрической классификации, позволяющий выделять 9 классов объектов (рис. 6). Есть и другие методы, позволяющие выделять другое (большее или меньшее) число классов.

Еще одна возможность, представленная в SARscape, позволяет выполнять интерферометрическую обработку полностью поляризационных данных (так называемый PolInSAR). Меню этого модуля представлено на рис. 7.

Конкретно этот модуль позволяет получить оптимизированную дифференциальную интерферограмму и оптимизированную когерентность, если на входе используется интерферометрическая пара четырехполяризационных снимков.

В дальнейшем эти интерферограмма и когерентность могут быть использованы в качестве входных данных в модуле Interferometry для последующего

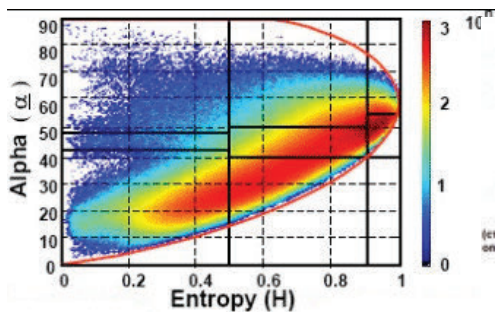


Рис. 5. Полная поляризационная матрица

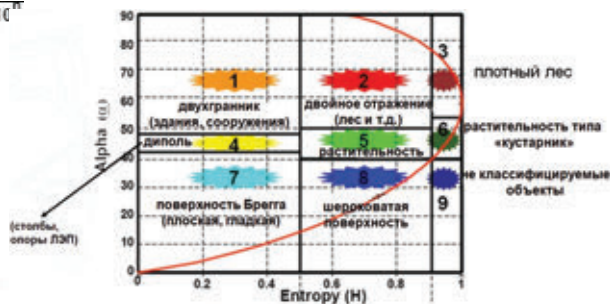


Рис. 6. Классы объектов, различающиеся по физическому типу отражения, выделяемые SARscape

расчета по ним ЦМР или карты смещений.

Такая технология позволяет, в частности, при мониторинге смещений снять вопрос об изменении отражающей поверхности (земля влажная — земля сухая, голая земля — подростная трава, голые ветки — распутившиеся листья и другие варианты изменений, произошедших между съемками снимков интерферометрической пары, которые могли вызвать «ложные смещения», обусловленные разными отражающими поверхностями). Теперь при использовании полностью поляриметрических снимков можно классифицировать объекты по типу отражения на первом снимке пары, затем на втором снимке пары и проследить, проявляются ли систематические или локальные изменения классов отражающих объектов (не переходит ли гладкая поверхность на первом снимке в шероховатую поверхность на втором, шероховатая поверхность — в растительность, растительность — в кустарник, редкий лес в плотный лес и т. д.). Если такие изменения классов пространственно совпадают со смещениями на карте смещений, рассчитанной по этой же паре снимков, то это ложные смещения, вызванные

изменением отражающей поверхности. Если же классы не изменяются, а на карте смещений есть смещения, то это действительно произошедшие смещения одной и той же отражающей поверхности.

При построении ЦМР по полностью поляриметрическим данным аналогично можно определять, по какой конкретно отражающей поверхности построена ЦМР (высоты чего конкретно определяются).

Еще одна вариация поляриметрической интерферометрии — это построение поляриметрических фазовых разностей, т.е. интерферограмм по разным поляризациям одного и того же снимка. Особенность таких интерферограмм заключается в том, что между «снимками» (а фактически каналами одного снимка) интерферометрической пары абсолютно нулевая базовая линия и отсутствует временной промежуток. Поэтому в такой интерферограмме в принципе отсутствует топографическая компонента фазы, а поскольку между съемками нет временного промежутка (в обработке участвуют каналы одного и того же снимка), то нет и реальных смещений. Однако на практике часто в таких интерферограммах все же присутствуют фазовые разности, которые

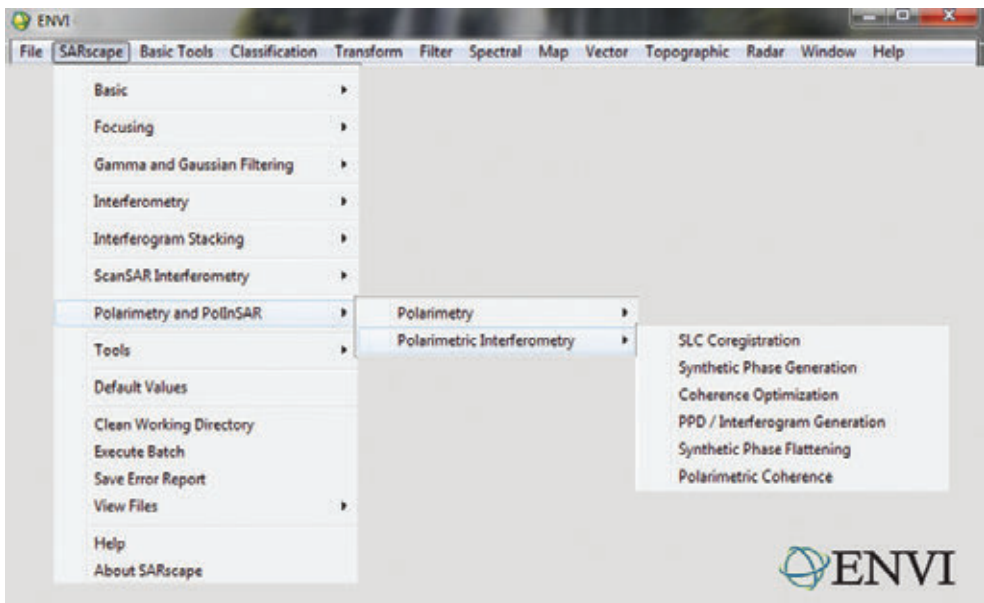


Рис. 7. Меню модуля Polarimetry and polarimetric interferometry SARscape

обусловлены различными механизмами отражения одного и того же объекта в разных поляризациях. Анализ таких интерферограмм совместно с результатами поляриметрической классификации позволяет дополнительно проанализировать отражающую поверхность, ее изменения (при мониторинговых съемках) и ее влияние на построение рельефа и анализ смещений интерферометрическим методом, а также выполнять классификацию объектов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Еще одной дополнительной и очень удобной частью SARscape является меню Tools (рис. 8), которое предоставляет возможности обрабатывать как радарные снимки, так и просто растровые и векторные файлы. Рассмотрим эти функции подробнее.

Картографическая трансформация — функция, позволяющая пересчитывать радарный снимок или любой растровый либо векторный файл из одной

картографической проекции в другую. Также можно пересчитать координаты точки, в том числе ее высоту. Для растрового файла есть функция вырезки одного файла (или нескольких файлов) по другому файлу, причем выходной файл (выходные файлы) будут точно обрезаны по этому первому файлу и приведены к его пространственному разрешению, также все выходные файлы будут иметь одинаковое число рядов и колонок с опорным файлом.

Возможно также разделять комплексные данные (например, радарный снимок или интерферограмму) на фазовую и амплитудную составляющие. А можно из амплитудной и фазовой составляющих, наоборот, создать комплексный файл. Это применимо, например, для дифференциальной интерферограммы и амплитудного радарного снимка, которые вместе – в виде комплексного файла – представляют собой интересный объект для анализа. Есть возможность расчета уклонов по имеющейся ЦМР.

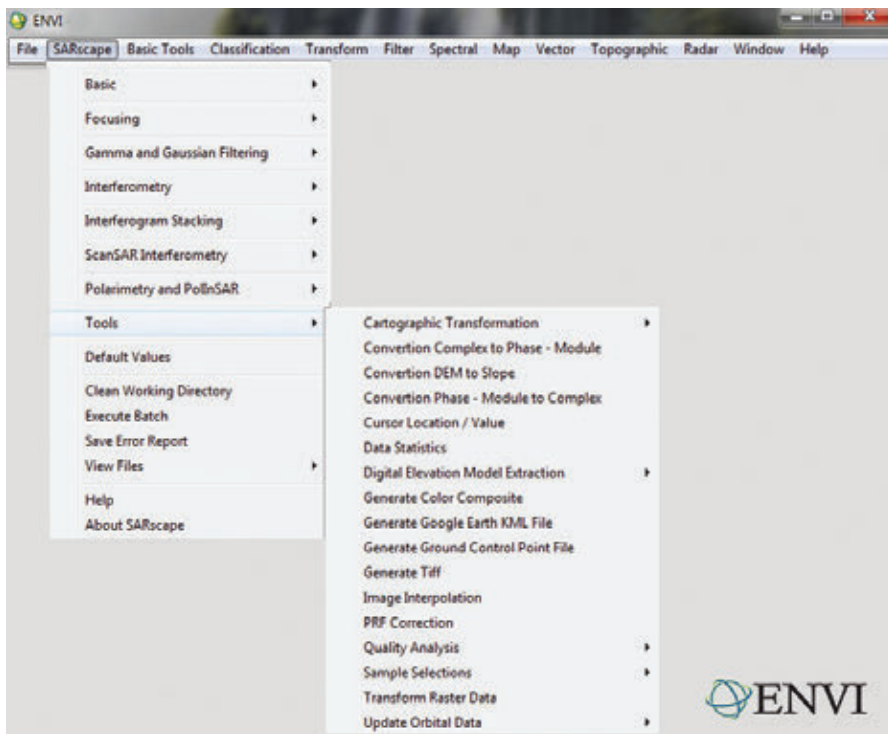


Рис. 8. Меню модуля Tools SARscape

Также присутствует очень удобная функция загрузки ЦМР из Интернета. В этом меню доступны для загрузки следующие глобальные ЦМР: ACE, GLAS/ICESat, GTOPO30, RAMP, SRTM. Функция позволяет ввести имеющиеся радарные снимки на нужную территорию, затем выбрать нужную глобальную ЦМР, установить выходное разрешение этой ЦМР и ее выходную географическую проекцию, а также вычесть из этой ЦМР геоид (для интерферометрии необходимо использовать возвышения над эллипсоидом WGS-84), рассчитать уклоны. Выходной файл ЦМР будет обрезан так, чтобы покрывать всю территорию введенных снимков. Вместо входных снимков можно просто задать квадрат координат.

Утилиты статистики позволяют ввести радарный снимок (или снимки, или участок снимка либо снимков) и рассчитать для входных данных следующие параметры: количество пикселей, минимальное и максимальное значения амплитуды отражения, моду, стандартное отклонение, фактор нормализации, медиану, среднее значение, радиометрическое разрешение (в дБ), эквивалентный коэффициент некогерентного накопления.

Имеется возможность создания различных видов цветных RGB-композигов. Например, цветного радарного изображения, где в цветовых каналах – различные поляризации одного радарного снимка. Или цветовой комбинации multi-difference, где в красном канале — разница амплитуд отражений первого и второго снимков, а в зеленом и синем каналах — соответственно амплитуда второго и амплитуда первого снимка. На результирующем RGB-изображении красным цветом будут видны произошедшие изменения, зеленым — преобладание амплитуды второго снимка над первым, синим — наоборот.

Еще один вариант RGB-композигов, рассчитываемого по разновременным радарным снимкам, – это ILU (Interferometric Land Use Image). Здесь в красном канале — когерентность, в зеленом – средняя амплитуда и в синем – разница амплитуд двух снимков. В таком случае, зеленые участки на ILU-композигов представляют собой леса, плотную растительность и участки «переналожения»; синие участки соответствуют поверхности воды; красные участки соответствуют почве без растительности,

оголенным горным породам, либо сельскохозяйственным полям, на которых не произошли изменения в растительном покрове за период между съемками; желтым цветом на ILU-композигов будут выгладеть застроенные участки, что обусловлено сочетанием эффекта переналожения (зеленый канал) и стабильных отражателей (красный канал). Таким образом, этот очень распространенный RGB-композигов в какой-то степени визуально напоминает оптический снимок в видимом диапазоне.

Следующая возможность позволяет создать *.kml-файл для визуализации снимков и результатов их обработки в Google Earth.

Функция создания файла наземных контрольных точек реализована таким образом, что точки можно вводить как вручную, так и интерактивно – из просмотрщика ENVI. Также точки могут быть импортированы из имеющегося *.shp или *.evf векторных файлов.

Функция *Generate tiff* позволяет сгенерировать из интерферограммы или дифференциальной интерферограммы цветной RGB-композигов, причем он генерируется таким образом, что каждый полный спектр цветов (цветовой цикл) на этом RGB-композигове соответствует перепаду фазовых значений на интерферограмме, равному 2π . Другие типы данных (радарные снимки, когерентность, развернутая фаза и т.д.) с помощью этой функции могут быть сохранены в виде 8-битного *.tiff файла, что позволяет составлять из них произвольные RGB-композигови.

Image interpolation позволяет выполнить усредняющую фильтрацию произвольного растрового файла и интерполяцию его значений в области фоновых значений.

Geolocalization correction и *PRF correction* позволяют скорректировать параметр частоты повторения импульса, неправильная запись которого, например на спутнике RADARSAT-1, вызывает значительные ошибки геолокализации. С помощью названных инструментов можно, определив на снимке как минимум две контрольные точки с известными координатами и высотой, максимально возможно разделенные между собой по направлению азимута, скорректировать значение частоты повторения импульса. Затем с помощью этих же контрольных точек можно выполнить корректное геокодирование снимка.

Quality analysis позволяет выполнять валидацию

ЦМР, построенной интерферометрическим методом. Валидация может быть выполнена относительно имеющейся опорной ЦМР либо относительно серии опорных контрольных точек. Результат валидации относительно опорной ЦМР — файл статистики отклонений в форматах *txt и *xls. Результат валидации относительно опорных точек с известными высотами — векторный файл с отклонениями высот для каждой опорной точки. Также существует возможность использовать на входе файл классификации типов ландшафта (полученный по результатам оцифровки соответствующих карт или, например, по результатам поляриметрической классификации полностью поляризованного радарного снимка). Если такой файл используется, файл статистики величин отклонений высот от опорных значений вычисляется отдельно для различных типов ландшафта.

Sample selection позволяет вырезать из серии снимков, характеризующихся неполным перекрытием, максимально возможную общую область, которая полностью покрывается всеми введенными снимками, либо вырезать из серии введенных геокодированных снимков одну и ту же область, определяемую квадратом координат либо векторным файлом. Можно вместо геокодированных снимков использовать корегистрированные снимки в координатах азимут—наклонная дальность (тогда квадрат координат или векторный файл также должен быть в этой системе координат).

Update orbital data позволяет значительно уточнить орбиты для спутников ERS-1, ERS-2 и ENVISAT с помощью поставляемых через Интернет файлов коррекции орбиты. Одна из коллекций файлов коррекции орбиты ведется голландским институтом Delft Institute for Earth-Oriented Space Research (DEOS orbits) [1,2]. Вторая коллекция ведется Германским аэрокосмическим агентством DLR. Уточнение орбит с помощью этих файлов коррекции наиболее актуально для задач интерферометрии, поскольку пиксельная точность геолокации для вышеназванных спутников присутствует и без коррекции орбиты.

В случае же интерферометрической обработки важно уточнение геолокации на субпиксельном уровне. Такая коррекция орбиты, как правило, сразу же четко визуализируется при построении интерфе-

рограмм, поскольку из них в случае более корректной записи орбитальных параметров удаляется диагональная фазовая помеха.

ПРИМЕРЫ ОБРАБОТКИ

Ниже представлена серия типовых результатов обработки радарных данных, выполненной в программном комплексе SARscape.

На рисунке 9 представлена амплитуда исходного и фильтрованного радарного изображения.

На рисунке 10 — геокодированный RGB-композит типа Interferometric Land Use.

На рис. 11 представлена ЦМР на всю территорию Швейцарии, построенная специалистами SARMAP по данным тандемной интерферометрической съемки

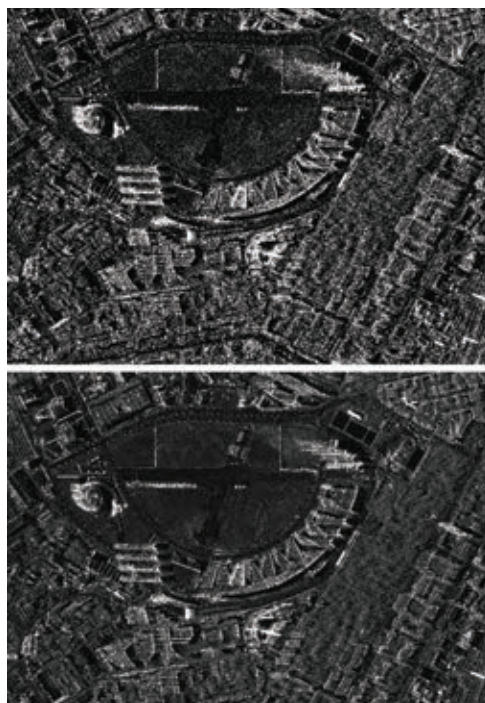


Рис. 9. Исходная (сверху) и фильтрованная мультитременным фильтром (снизу) амплитуда радарного снимка TerraSAR-X; использованы функции импорта, некогерентного накопления, корегистрации и мультитременной фильтрации (Компания «Совзонд», 2012 г.)



Рис. 10. Геокодированный RGB-композит *muна Interferometric Land Use*, рассчитанный по двум снимкам TerraSAR-X (Infoterra GmbH). Растительность зеленая, вода темно-синяя, здания желтые и красные, дороги и поверхности без растительности красные; использованы функции импорта, расчета когерентности, некогерентного накопления, геокодирования и расчета RGB-композита ILU (Компания «Совзонд», 2012 г.)

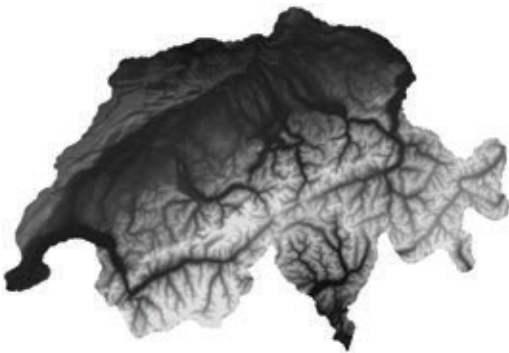


Рис. 11. ЦМР, построенная специалистами SARMAP (разработчиками SARscape) по данным тандемной интерферометрической съемки со спутников ERS-1 и ERS-2 в конце 1990-х гг.; использованные функции: фокусировка радарных голограмм, интерферометрическая обработка с получением на выходе ЦМР, создание мозаики выходных ЦМР, вырезка по векторному файлу государственной границы Швейцарии [3]

со спутников ERS-1 и ERS-2 в конце 1990-х гг. [3]. Точность ЦМР варьируется от 7 до 15 м по высоте. Пространственное разрешение — 25 м.

На рис. 12 приведены смещения, рассчитанные по данным дифференциальной интерферометрической обработки серии снимков TerraSAR-X [4], а на рис. 13 — сползание в Северный Ледовитый океан ледников за период всего в 30 минут (тандемная интерферометрия ERS-2 — ENVISAT) [5].

На рис. 14 показаны оседания земной поверхности над Уренгойским нефтегазовым месторождением (север Тюменской области) [6–8].

На рис. 15 показаны результаты поляриметрической классификации полностью поляриметрических данных ALOS/PALSAR.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Scharroo, P.N.A.M. Visser. *Precise orbit determination and gravity field improvement for the ERS satellites*, *J. Geophys. Res.*, 103, C4, 8113—8127, 1998.
2. E. Doornbos, R. Scharroo, H. Klinkrad,

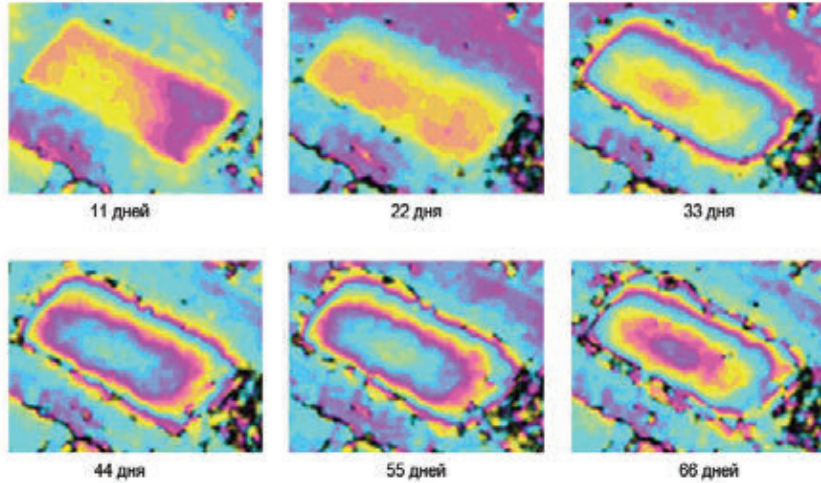


Рис. 12. Осадка в зоне строительства здания, рассчитанная по данным дифференциальной интерферометрической обработки серии снимков TerraSAR-X [4]. Под каждой интерферограммой указан временной интервал между снимками пары; каждый цветовой цикл на интерферограммах соответствует оседаниям, равным половине длины волны (m . е. 1,5 см). Использованы функции модулей Basic и Interferometry

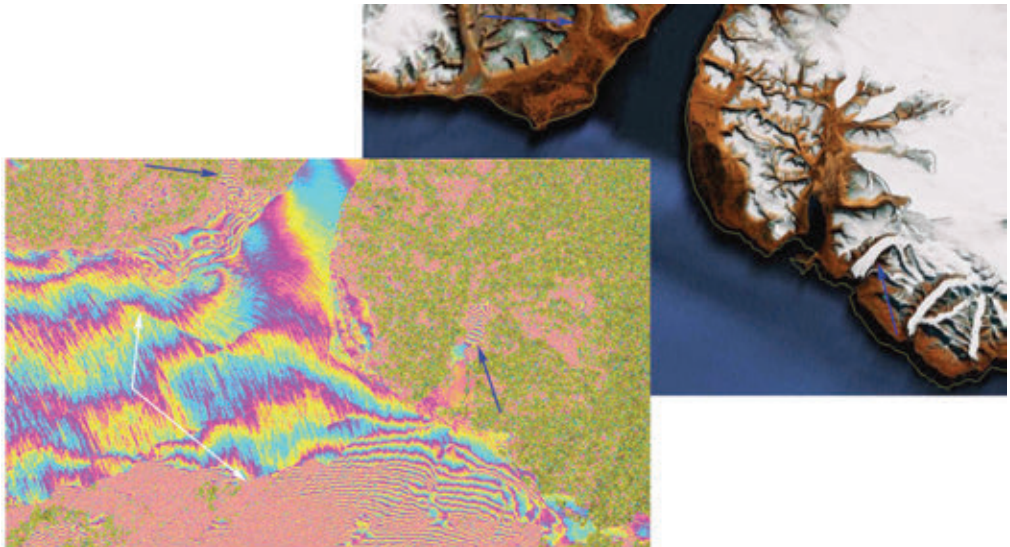


Рис. 13. Сползание ледников в Северный Ледовитый океан по данным тандемной интерферометрии ERS-2 — ENVISAT за период всего в 30 минут. Оползание ледников показано синими стрелками, амплитуда оползания — десятки сантиметров (каждый цветовой цикл — 2,75 см). Белыми стрелками показаны границы ледовых массивов в бухте Баффин, движущихся относительно друг друга [5]. Справа — изображение из Google Earth. Использованы функции модулей Basic и Interferometry, а также утилита создания *.kml файла для Google Earth

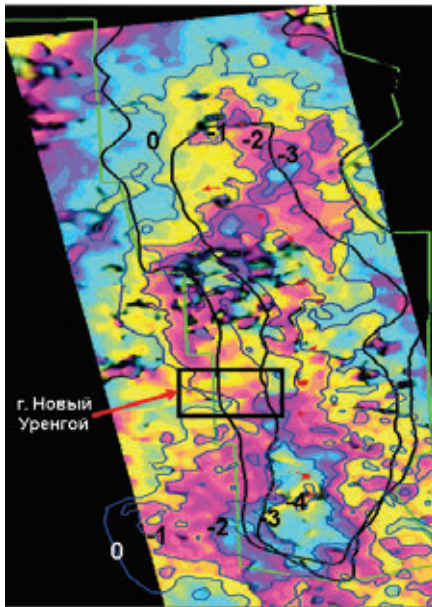
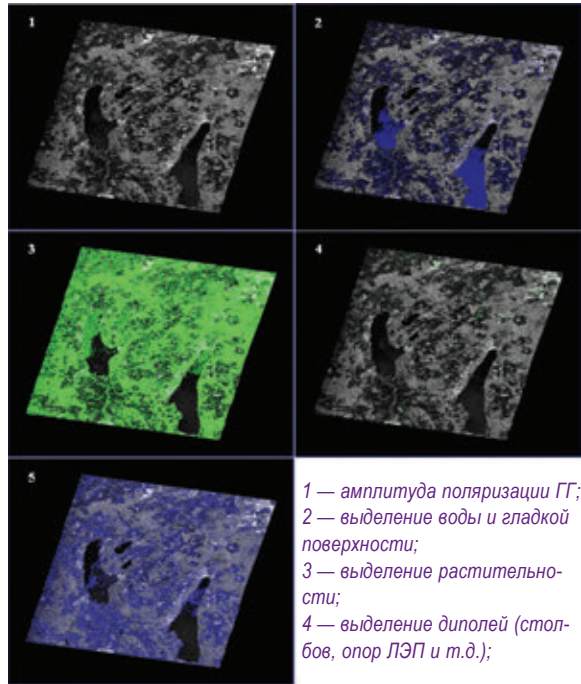


Рис. 14. Дифференциальная интерферограмма, показывающая смещения земной поверхности на Уренгойском нефтегазовом месторождении за период 2007–2008 гг. по результатам обработки данных RADARSAT-1 (изолинии показывают оседания в см). Использованы функции модулей Basic и Interferometry, а также утилита коррекции значения «частоты повторения импульса» [6–8]



1 — амплитуда поляризации ГГ;
2 — выделение воды и гладкой поверхности;
3 — выделение растительности;
4 — выделение диполей (столбов, опор ЛЭП и т.д.);

5 — выделение участков суши без растительности или с невысокой растительностью.

Использованы функции модуля Polarimetry и Polarimetric Interferometry (Компания «Совзонд», 2010 г.).

Рис. 15. Результаты поляриметрической классификации четырехполяризационного снимка ALOS/PALSAR (JAXA)

R. Zandbergen, B. Fritsche. Improved modelling of surface forces in the orbit determination of ERS and Envisat Canadian Journal of Remote Sensing, Volume 28, No. 4, August 2002.

3. C. Poidomani. National-Scale DEM generation using ERS Tandem data in alpine regions, ERS-ENVISAT Symposium, 2000.

4. Материалы интернет-сайта www.sarmap.ch;

5. P. Pasquali, A. Cantone, M. Barbieri, M. Engdahl. Monitoring of sea ice dynamic by means of ERS-ENVISAT Tandem Cross-Interferometry, ESA FRINGE Workshop, Frascati, 2009.

6. Ю.Б. Баранов, Ю.И. Кантемиров, Е.В. Киселевский, С.Э. Никифоров и др. Мониторинг смещений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов с помо-

щью комплекса космических и геодезических методов / Недропользование – XXI век. – 2009. №1. С. 60–64.

7. Ю.Б. Баранов, Ю.И. Кантемиров, Е.В. Киселевский, С.Э. Никифоров и др. Опыт комплексного мониторинга смещений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов с помощью геодезических и космических методов / Геоматика. – 2009. №1. С. 71–74.

8. Р.О. Самсонов, Н.А. Гафаров, Ю.Б. Баранов, Ю.И. Кантемиров и др. Космический мониторинг смещений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов ОАО «Газпром» / Газовая промышленность. – 2009. спецвыпуск «Освоение и разработка месторождений углеводородов» — С. 29–33.

Ю.И. Кантемиров (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работал младшим научным сотрудником лаборатории космической информации для целей газовой промышленности в ООО «Газпром ВНИИГАЗ». С 2010 г. работает в компании «Совзонд» ведущим специалистом отдела программного обеспечения.

Обзор возможностей новой версии SARscape 4.4

В начале 2012 г. вышла новая версия программного продукта SARscape 4.4, предназначенного для выполнения комплексной обработки радарных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Обработка радарных данных принципиально отличается от обработки оптических данных, поэтому и возникает необходимость в специализированном программном обеспечении, чтобы полностью оценить и использовать возможности космических радарных съемок.

Среди задач, решаемых с помощью радарных данных, можно выделить следующие:

- мониторинг смещений и деформаций земной поверхности и сооружений;
- построение цифровых моделей местности (ЦММ) и рельефа (ЦМР) по данным радарной интерферометрии и радарграмметрии;
- классификация земной поверхности по данным единичных и повторных мониторинговых съемок;
- классификация объектов на земной поверхности по физическому типу отражения с использованием полностью поляризационных радарных данных;
- всепогодный космический мониторинг природных и техногенных процессов с гарантированной периодичностью (независимо от облачности и освещенности);
- всепогодный мониторинг ледовой обстановки и судоходства (до 10 раз в сутки);
- выявление нефтеразливов на поверхности воды;
- мониторинг паводков и наводнений (вплоть до ежедневного);
- изучение морских и океанских течений (в комплек-

се с другими данными);

- мониторинг землетрясений и их последствий, оценка ущерба;
- мониторинг вырубок для задач лесного хозяйства;
- мониторинг сельскохозяйственных процессов;
- мониторинг землепользования;
- многие другие задачи.

В новой версии SARscape 4.4 представлены значительные улучшения алгоритмов обработки радарных данных ДЗЗ, а также существенно обновлен интерфейс в сторону большего интуитивного понимания его пользователем.

Краткий список наиболее важных обновлений приведен ниже:

- добавлена возможность упрощенного IDL-программирования последовательностей шагов обработки;
- появился SARscape Tools for ArcGIS — упрощенный набор инструментов для отображения и частичной обработки радарных снимков в среде ArcGIS;
- добавлен новый метод мультитременной развертки фазы в трех измерениях (наклонная дальность, азимут, время), применимый при обработке многопроходных интерферометрических цепочек радарных снимков;
- добавлено новое программное ядро алгоритма Persistent Scatterers собственной разработки компании SARMAP (в отличие от предыдущих версий алгоритма Persistent Scatterers, в которых было реализовано программное ядро совместной разработки SARMAP и других компаний);

- многократно улучшен алгоритм SBas для обработки многопроходных интерферометрических цепочек радарных снимков;
- появились во встроенном в SARscape руководстве пользователя библиотеки типовых сообщений об ошибках обработки с предлагаемыми типовыми решениями этих ошибок. Подробный список обновлений приводится ниже.

ОБЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

- Добавлена возможность интерактивного упрощенного IDL-программирования последовательностей шагов обработки SARscape, которая позволяет пользователю программировать свои последовательности операций и в дальнейшем запускать их нажатием одной кнопки.
- Улучшена интеграция SARscape и ArcGIS, что выражено в добавлении в интерфейс ArcGIS дополнительного меню SARscape Tools for ArcGIS (при установке ArcGIS и SARscape на одном и том же компьютере), позволяющего выполнять некоторый набор функций отображения и частичной обработки радарных данных в среде ArcGIS.
- Улучшено отображение радарных снимков в программном комплексе ENVI за счет добавления в меню просмотрщика ENVI функции SARscape stretch, выравнивающей гистограмму наилучшим образом именно для отображения радарных снимков.
- Появились обновленные тестовые наборы радарных данных для каждого из модулей, в том числе новые наборы исходных данных для модуля Interferogramm Stacking.
- В сообщения об ошибках обработки теперь добавлена ссылка на соответствующий новый раздел встроенного в SARscape руководства пользователя, в котором описываются типовые причины данной конкретной ошибки и типовые варианты решения этой ошибки.
- Запланировано создание Интернет-форума, где между пользователями, дистрибьюторами и разработчиками SARscape будет возможно обсуждение различных проблем, касающихся радарных данных и их обработки в SARscape.

МОДУЛЬ BASIC

- Улучшены существующие алгоритмы радиометрической калибровки радарных изображений.
- Появились поля Input files list в меню импорта радарных снимков, позволяющего одновременно импортировать серию снимков в одинаковом формате и уровне обработки (а не каждый снимок в отдельности, как было ранее).
- Набор функций Segmentation будет недоступен в этой версии в связи с интенсивными работами по улучшению алгоритмов этих функций и по ускорению времени обработки радарных снимков с помощью этих функций.

МОДУЛЬ INTERFEROMETRY

- В существующий метод развертки фазы Minimum cost flow добавлен алгоритм обхода препятствий для развертки с помощью триангуляции Делоне, позволяющий уменьшить количество ошибок развертки.
- В функции пересчета фазы в абсолютные высоты Phase to Height Conversion and Geocoding был улучшен алгоритм Relax Interpolation, который теперь более корректно интерполирует между изолированными пикселями.

МОДУЛЬ INTERFEROGRAMM STACKING

- Появилось новое программное ядро метода Persistent Scatterers, полностью разработанное компанией SARMAP, позволяющее добиться большей точности замера смещений и деформаций земной поверхности и сооружений, а также более высокой плотности точек — постоянных рассеивателей радарного сигнала.
- Введен новый мультитрехмерный подход к развертке фазы, в котором третьим измерением является время и который позволяет более корректно разворачивать фазу в процессе SBas, особенно в условиях меняющейся во времени когерентности.
- Улучшен интерфейс SBas, позволяющий интерактивно вручную редактировать набор интерферограмм, автоматически выбранных функцией Connection Graph.

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

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

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

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

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

Окончил Римский университет La Sapienza по специальности «Д33». С 2007 г. работает в компании e-GEOS, в настоящее время — технический руководитель ряда проектов направления «Инновационные продукты и техническая поддержка группировки радарных спутников COSMO-SkyMed».

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

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

Ю.И. Кантемиров (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работал младшим научным сотрудником лаборатории космической информации для целей газовой промышленности в ООО «Газпром ВНИИГАЗ». С 2010 г. работает в компании «Совзонд» ведущим специалистом отдела программного обеспечения.

Новый продукт МТС, рассчитываемый по данным COSMO-SkyMed

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОДУКТЕ МТС

Компания e-GEOS (Италия) — оператор группировки радарных спутников COSMO-SkyMed-1–4 — представляет новый тематический продукт МТС (Multi-temporal coherence), являющийся одним из уровней обработки, в котором пользователю могут быть поставлены радарные снимки COSMO-SkyMed.

Продукт МТС представляет собой мультимедийной цветной композит, составленный из амплитуд двух радарных снимков COSMO-SkyMed, снятых в одинаковой геометрии съемки, и из когерентности фаз этих снимков (рис. 1). Данный продукт может быть сгенерирован пользователем при условии наличия

специализированного программного обеспечения, позволяющего корегистрировать радарные снимки и рассчитывать когерентность (например, это можно сделать в программном комплексе SARscape). Либо, учитывая чисто технический характер создания этого продукта, его генерацию можно просто запросить при заказе интерферометрических пар COSMO-SkyMed, доплатив примерно 10% от стоимости каждой интерферометрической пары снимков, по которой создается данный композит.

Для иллюстрации дешифровочных характеристик продукта МТС проведем сравнение с одиночным оптическим и одиночным радарным снимком (рис. 2–4).

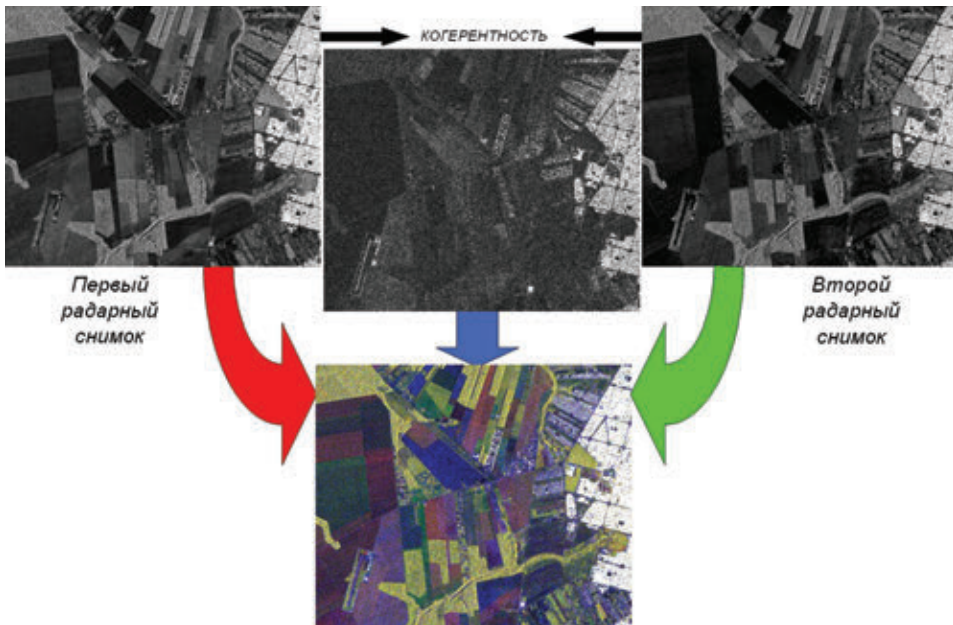


Рис. 1. Схема создания цветного мультивременного радарного композита МТС

Как видно из этих рисунков, по своим дешифровочным характеристикам композит МТС значительно превосходит одиночный амплитудный радарный снимок и как минимум сравним с оптическим мультиспектральным снимком (а учитывая мультивременную составляющую, композит МТС даже более информа-

тивен, чем оптическое мультиспектральное изображение). Данный композит может интерпретироваться не просто как цветное космическое изображение, но и как тематическая карта, на которой каждый цвет или оттенок цвета может быть проинтерпретирован в соответствии с рекомендациями, приведенными ниже.



Рис. 2. Одиночный оптический снимок сельскохозяйственного района вблизи г. Синоп (Бразилия)

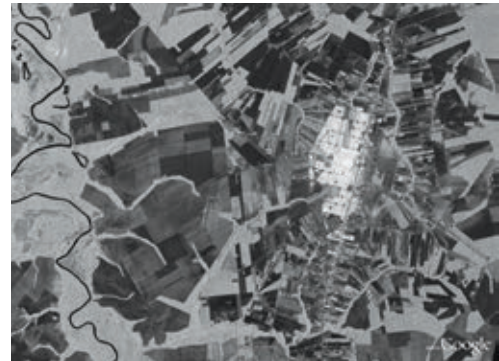


Рис. 3. Одиночный радарный снимок сельскохозяйственного района вблизи г. Синоп (Бразилия)

КАК ИНТЕРПРЕТИРОВАТЬ ЦВЕТА НА КОМПОЗИТЕ МТС?

Мультивременной радарный цветной RGB-композит МТС состоит из следующих каналов:

- красный — амплитуда первого радарного снимка;
- зеленый — амплитуда второго радарного снимка;
- синий — когерентность фаз этих двух снимков.

Исходя из этого, интерпретировать оттенки цвета на этом композите необходимо в соответствии с табл. 1.

Как видно из таблицы, композит позволяет:

- классифицировать типы отражающей поверхности (вода, гладкое поле, вспаханное поле, невозделываемое поле с растительностью, лес, участки активного роста сельхозкультур, участки уборки урожая, здания и сооружения, объекты транспортной инфраструктуры и т. д.);
- наблюдать изменения, произошедшие за период

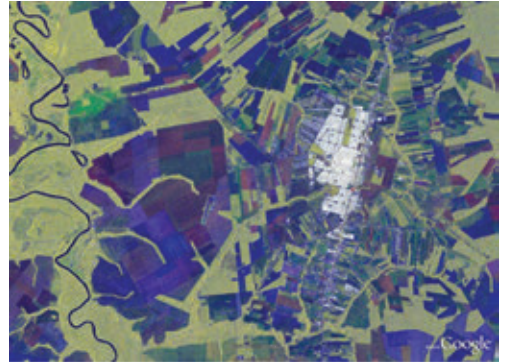


Рис. 4. Цветной композит МТС на сельскохозяйственный район вблизи г. Синоп (Бразилия), составленный из двух амплитудных радарных изображений и из когерентности фаз этих двух радарных изображений

Таблица 1


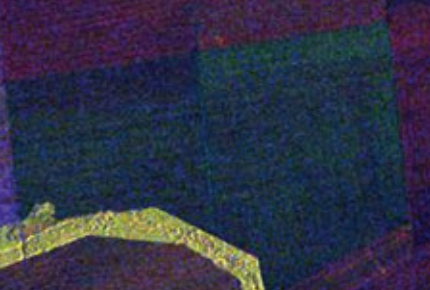


Интерпретация цветов на композите МТС

Относительная выраженность каналов RGB-композиата	Итоговый цвет на композите МТС	Визуализация на композите МТС	Тип объекта
<p>Сильная амплитуда обоих снимков, низкая когерентность</p>	Желтый		<p>Растительность, незначительно выросшая за период между съемками, т.е. естественная природная растительность.</p> <p>В случае наличия текстуры (рисунок слева) это лес.</p> <p>Растительность, незначительно выросшая за период между съемками, т.е. естественная природная растительность.</p> <p>В случае отсутствия текстуры (по центру рисунка слева) это сорняк (заросшее невозделываемое поле)</p>

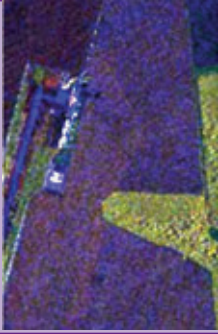
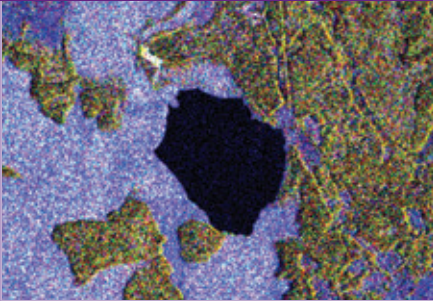
>Продолжение

<p>  </p> <p>Сильная амплитуда обоих снимков, высокая когерентность</p>	<p>Белый</p>		<p>Крупные здания и сооружения, объекты, имеющие углы, объекты из бетона и металла, столбы, опоры ЛЭП, железные дороги.</p> <p>Наиболее интенсивный белый цвет в случае, если вышеперечисленные объекты ориентированы параллельно азимуту радарной съемки (т.е. перпендикулярно направлению дальности)</p>
<p>  </p> <p>Слабая амплитуда обоих снимков, высокая когерентность</p>	<p>Синий цвет с белым цветом на стороне объекта, ориентированной навстречу лучу радара</p>		<p>Небольшие сооружения с плоской крышей (в данном случае сельские домики)</p>
<p>  </p> <p>Слабая амплитуда обоих снимков, высокая когерентность</p>	<p>Темно-синий</p>		<p>Плоские поверхности (низкая амплитуда) с высокой когерентностью (из-за отсутствия растительности на этих поверхностях).</p> <p>Голая плоская земля без изменений за период между радарными съемками.</p> <p>Чем темнее оттенок синего, тем более плоская (либо влажная) поверхность</p> <p>Асфальтированные дороги, взлетно-посадочные полосы (рисунок слева) и т.п.</p> <p>Чем более ярко выраженный синий цвет, тем более ровное покрытие дороги</p>

>Продолжение

<p>↓ ↑ ↓ =</p> <p>Амплитуда второго снимка больше, чем амплитуда первого, при очень низкой когерентности</p>	<p>Зеленый</p> <p>(сильные амплитуды у обоих снимков, при этом амплитуда второго снимка выше)</p>		<p>Быстрорастущая растительность.</p> <p>Участки активно растущих сельскохозяйственных культур.</p>
	<p>Темно-зеленый</p> <p>(слабые амплитуды у обоих снимков, при этом амплитуда второго снимка выше)</p>		<p>Участки голой земли, вспаханные за период между радарными съемками.</p>
<p>↑ ↓ ↓ =</p> <p>Амплитуда первого снимка больше, чем амплитуда второго, при очень низкой когерентности</p>	<p>Красный</p>		<p>Поля, с которых за период между съемками был собран урожай.</p> <p>Хорошо отражающие объекты, присутствовавшие на первом снимке и пропавшие на втором.</p>
	<p>Темно-красный</p> <p>(слабые амплитуды у обоих снимков, при этом амплитуда первого снимка выше)</p>		<p>Голоя земля, увеличившая влагосодержание за период между съемками (например, после дождя или полива)</p>

>Продолжение

Все три цвета равномерно средневыражены	Темные оттенки красного, зеленого и синего		Шероховатое поле без растительности, влаго-содержание которого незначительно изменилось за период между съемками.
Темно-серый или черный цвет	Практически полное отсутствие всех оттенков		Водная поверхность (например, озеро по центру рисунка слева)

между съемками (увеличение—уменьшение влажности земной поверхности, вспахивание земли, появление—исчезновение объектов, антропогенные изменения, вызванные активным землепользованием, вырубки в лесу, замерзание водных поверхностей и т. д.).

ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ

Таким образом, предлагаемый подход к мониторингу с использованием радарного композита МТС состоит в следующем:

1. Для тематического анализа состояния территории на конкретную дату необходимо иметь интерферометрическую пару снимков с как можно меньшей временной разницей между ними (например, 1 или 4 суток, но не более 16 суток).
2. Из этой интерферометрической пары составляется цветной радарный композит МТС, который можно рассматривать как тематическую карту состояния территории на данный момент.
3. Через промежуток времени, определяемый требуемой частотой мониторинга, выполняется съемка еще одной интерферометрической пары, по которой также рассчитывается композит МТС.

4. Изменения выявляются на основании сопоставления двух композитов МТС (т.е. двух тематических карт).

Возможно, конечно, выявлять изменения и по одному композиту МТС, если между снимками, из которых он составлен, присутствует значительный временной промежуток, но при этом следует иметь в виду, что качество и информативность когерентности сильно уменьшаются с увеличением временного промежутка между съемками.

И если в случае композита МТС, составленного из радарных снимков с разницей в 1 или 4 суток, когерентность несет как минимум треть полезной информации, содержащейся в композите, то в случае временного промежутка в 16 и более суток информативный вклад когерентности в композит значительно падает.

Сами радарные космические снимки COSMO-SkyMed и композит МТС, рассчитываемый на их основе, возможно заказать в компании «Совзонд», являющейся официальным дистрибьютором компании e-GEOS (Италия) — оператора спутников COSMO-SkyMed.

Е.В. Бахтинова (Филиал ФГУП «Рослесинфорг» «Центрлеспроект»)

В 1970 г. закончила географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова. В настоящее время — заместитель руководителя Центра ГИЛ Филиала ФГУП «Рослесинфорг» «Центрлеспроект».

А.Ю. Соколов (Филиал ФГУП «Рослесинфорг» «Центрлеспроект»)

В 1988 г. закончил факультет лесного хозяйства Московского лесотехнического института (МЛТИ) (сейчас МГУЛ). В настоящее время главный инженер филиала ФГУП «Рослесинфорг» «Центрлеспроект».

Д.Б. Никольский (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил факультет прикладной космонавтики МИ-ИГАиК по специальности «исследование природных ресурсов авиакосмическими средствами». С 2007 г. работает в компании «Совзонд». В настоящее время — специалист отдела программного обеспечения.

Ю.И. Кантемиров (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работал младшим научным сотрудником лаборатории космической информации для целей газовой промышленности в ООО «Газпром ВНИИГАЗ». С 2010 г. работает в компании «Совзонд» ведущим специалистом отдела программного обеспечения.

Полуавтоматическое выявление вырубок леса на мультитременных радарных и радарно-оптических цветных композитах

ВВЕДЕНИЕ

Космический мониторинг широко применяется для решения широкого круга задач лесного хозяйства во всем мире. Космические снимки земной поверхности, сделанные в различных диапазонах электромагнитного спектра, позволяют оперативно, с необходимой периодичностью получать наглядную независимую дистанционную информацию о состоянии лесов. Однако, особенно в условиях огромных площадей, которые занимают леса в России, серьезным препятствием для регулярного космического мониторинга в оптическом диапазоне становится облачность.

При ежегодном мониторинге многие участки лесов не могут быть сняты из-за облачности спутниками сверхвысокого разрешения с узкой полосой съемки, в связи с чем на эти неотснятые участки приходится

выполнять съемку с других спутниковых аппаратов меньшего разрешения, но с большей полосой съемки. Поэтому каждый год объекты мониторинга оказываются покрытыми данными с разных космических аппаратов с разными характеристиками. Приходится составлять мозаики из снимков, сделанных различными космическими аппаратами, и анализировать мультитременные композиты, полученные из изображений с различными характеристиками.

В качестве альтернативы, как минимум для мониторинга вырубок на участках, не покрытых оптически данными к концу съемочного сезона, а в будущем и для определения породного состава леса, филиал ФГУП «Рослесинфорг» «Центрлеспроект» и компания «Совзонд» предлагает рассмотреть возможность применения всепогодных и не зависящих от облач-

ности космических радарных съемок. Примером комплексного использования радарных и оптических космосъемок для решения задач выявления изменений в лесном фонде, произошедших за период между оптической съемкой 2010 г. и радарной съемкой 2011 г., можем являться проект, выполненный совместно специалистами филиала ФГУП «Рослесинфорг» «Центрлеспроект» и специалистами компании «Совзонд».

РАЙОН РАБОТ — БАБУШКИНСКОЕ ЛЕСНИЧЕСТВО

Бабушкинское лесничество расположено в юго-восточной части Вологодской области. Протяженность территории лесничества с севера на юг 100 км. Общая площадь Бабушкинского лесничества на 01.01.2010 г. составляет 691 366 га.

Леса лесничества представлены одним массивом, внутри которого находятся земли сельхозформирований. Они представлены насаждениями естественного происхождения, которые далеки от оптимальных как по составу древесных пород, так и по продуктивности.

Земли, покрытые лесной растительностью, составляют 92,8 % от лесных, в том числе лесные культуры – 7,6 %, несомкнувшиеся лесные культуры – 0,2 %, земли, не покрытые лесной растительностью, представлены преимущественно вырубками последних лет - 1,1 %. Нелесные земли составляют 6% общей площади лесничества. Это, в основном, болота (5,2%), дороги- просеки (0,4%) и сенокосы (0,2%).

По лесорастительному районированию территория Бабушкинского лесничества относится к таежной лесорастительной зоне и южно-таежному лесному району европейской части Российской Федерации.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАДАРНЫХ СЪЕМОК В 2011 г.

К концу съемочного сезона 2011 г. оптические спутники сверхвысокого разрешения не смогли безоблачно отснять территорию Бабушкинского лесничества, на которой филиалом ФГУП «Рослесинфорг» «Центрлеспроект» выполнялся мониторинг использования лесов с целью заготовки древесины. Поэтому для того чтобы гарантированно получить актуальное покрытие данными ДЗЗ за 2011 г., в срочном режиме была запланирована радарная космическая съемка этого участка со спутников COSMO-SkyMed, позволя-



Рис. 1. Схема съемки территории Бабушкинского лесничества (красный контур) со спутников COSMO-SkyMed (голубые контура — полосы съемки)

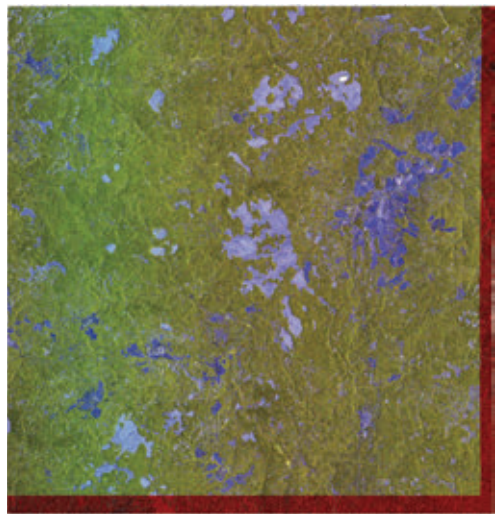


Рис. 2. Пример одного из цветных радарных композиций МТС, построенных по двум радарным съемкам от 2 и 3 октября на территорию Бабушкинского лесничества

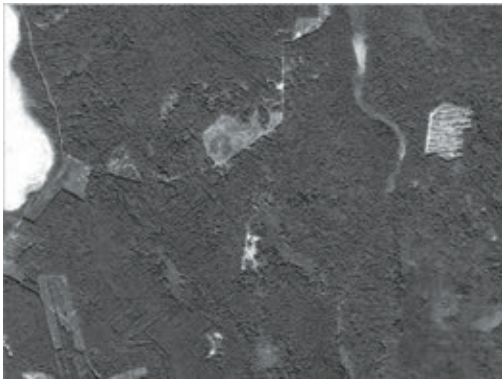


Рис. 3. Снимок SPOT-5 (2010 г.)

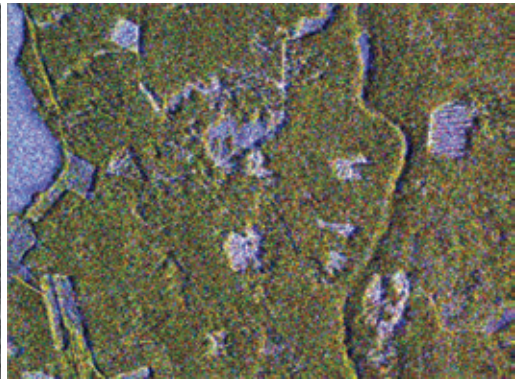


Рис. 4. Продукт МТС, сгенерированный по паре снимков COSMO-SkyMed (2011 г.)

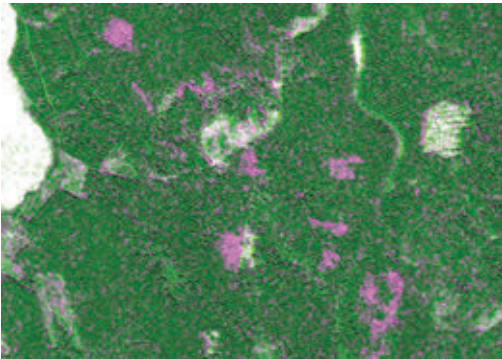


Рис. 5. Мультивременной композит 2010–2011 гг. (SPOT-5+COSMO-SkyMed)

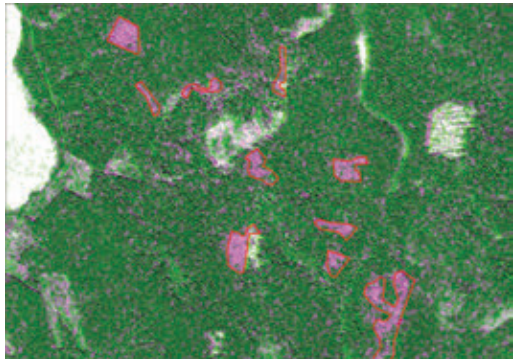


Рис. 6. Контура вырубок за период 2010–2011 гг.

ющая получить цветной радарный композит МТС.

Вся площадь лесничества не зависимо от облачности и освещенности была отснята интерферометрическими парами радарных снимков с пространственным разрешением 3 м за 9 дней (одна пара — 2 и 3 октября, вторая пара — 6 и 10 октября). Схема покрытия территории Бабушкинского лесничества отснятыми кадрами COSMO-SkyMed приведена на рис. 1. По каждой интерферометрической паре был построен цветной радарный композит МТС. Композит на одну из сцен площадью 40 x 40 км приведен на рис. 2. Как видно из этого рисунка 2, для данного типа территории на композите МТС наиболее четко разделяются следующие типы территории: ненарушен-

ный лес — зеленым цветом; участки без растительности (поля с убранным урожаем и свежие вырубки) — ярко-синим цветом; участки со слабой природной растительностью (болота, старые вырубки с восстановлением растительности) — бледно-синим цветом.

МЕТОДИКА оперативного выявления изменений в лесном фонде

Для выявления изменений, произошедших за период с 2010 по 2011 г., анализировались оптические снимки SPOT 2010 г. (рис. 3) и радарный композит МТС 2011 г. (рис. 4). Далее из них составлялся мультивременной оптико-радарный композит (рис. 5), на котором новые контуры (за период с 2010 по 2011 г.) автоматически выделялись розовым цветом

SPOT-5 (2,5 м)

COSMO-SkyMED (3 м)

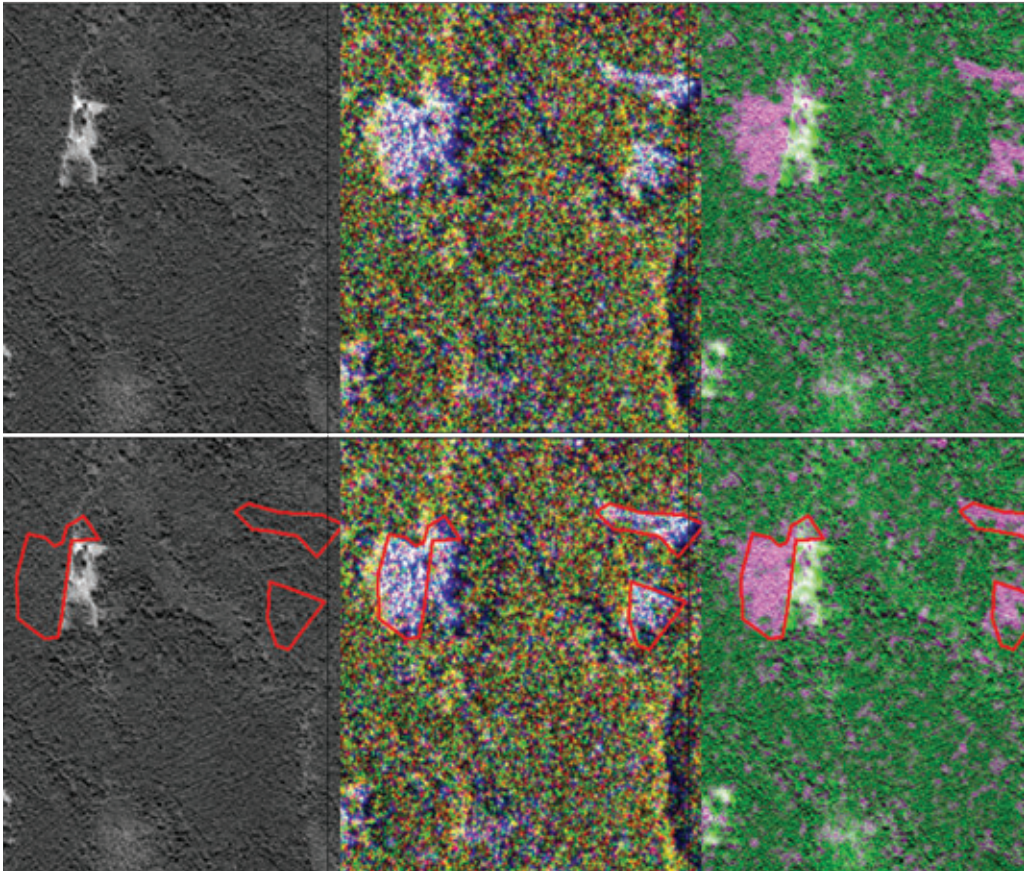
Мультивременной
КОМПОЗИТ

Рис. 7. Слева направо:

- оптический снимок SPOT-5 2010 г.;*
- цветной радарный композит 2011 г.;*
- мультивременной оптико-радарный композит 2010–2011 гг., показывающий розовым цветом новые вырубки, произошедшие за период с 2010 по 2011 г.; внизу то же, но с оконтуренными вручную новыми вырубками*

и затем оцифровывались их границы (рисунки 6 и 7).

Таким образом, методика выявления изменений в лесном фонде с помощью оптико-радарных мультивременных композитов довольно проста и аналогична выявлению изменений по чисто оптическим мультивременным композитам. Конечно, визуальное качество мультивременного композита, построенного по только

оптическим данным за разные даты, - выше качества радарно-оптического композита. Однако радарные данные, за счет своей не зависимости от облачности и освещенности, позволяют гарантированно и оперативно получить необходимую информацию о вырубках к нужной дате с незначительной потерей точности картирования границ изменений.

И.В. Гневанов (ЗАО «Мобиле»)

В 2004 г. окончил механико-математический факультет Пермского государственного университета по специальности «прикладная математика». В настоящее время — руководитель отдела ГИС проектов ЗАО «Мобиле». Кандидат физико-математических наук.

П.В. Шамин (ОАО «Уралкалий»)

В 1980 г. окончил Пермский политехнический институт по специальности «маркшейдерское дело». В настоящее время — главный геомеханик отдела главного маркшейдера ОАО «Уралкалий».

Оценка деформаций земной поверхности горных отводов ОАО «Уралкалий» в г. Березники методами радарной интерферометрии

ВВЕДЕНИЕ

ЗАО «Мобиле» совместно с маркшейдерской службой ОАО «Уралкалий» был проведен интерферометрический анализ радарных снимков для выявления территорий с деформациями поверхности земли г. Березники. Анализ произведен на основе снимков с сенсоров ALOS/PALSAR и TerraSAR-X. Выбор сенсора PALSAR был сделан исходя из потребности получить оценку деформаций как для застроенной, так и для залесенной территории (основная часть поверхности горных отводов ОАО «Уралкалий» покрыта лесом), а также для демонстрации возможности получения результатов на зимних снимках для залесенной территории. Выбор сенсора TerraSAR-X был сделан для анализа применимости X-диапазона зимой и исходя из доступности архивных данных.

До недавнего времени в городе действовали три рудника по добыче калийных солей Верхнекамского месторождения шахтным способом. Широко известно, что в результате прорыва водозащитной толщи в октябре 2006 г. началось затопление рудника №1, в результате чего в июле 2007 г. образовался провал на территории промышленной площадки рудоуправления. По инструментальным наблюдениям, проводившимся маркшейдерской службой ОАО «Уралкалий», скорости оседаний по периметру образовавшегося провала составляли 10–15 мм в сутки [1]. Позже образовалось еще 2 провала, в ноябре

2010 г. и в декабре 2011 г. В 2008 г. был начат мониторинг деформаций поверхности города и жилой застройки на основе многопроходной съемки со спутника TerraSAR-X в летнее время года — с мая по октябрь. Наличие инструментальных измерений позволило выполнить контроль результатов расчетов в данной работе.

АНАЛИЗ СЦЕН ALOS/PALSAR

Для анализа были использованы два зимних снимка в режиме FBS с HH-поляризацией, с временной базой чуть более двух лет (декабрь 2007 – февраль 2010 г.). Перпендикулярная база составила 560 м. Зимний период времени благоприятен для выполнения мониторинга оседаний, особенно территорий, покрытых лесом, потому что в это время минимизируется влияние растительности на декорреляцию сцен. В то же время сухой однородный снег не влияет на прохождение радиоволн.

Анализ сцен ALOS/PALSAR с временной базой 2 года упоминается в работах [2, 3]. В [2] анализировались летние снимки, в [3] — зимние. Однако даже в случае зимних снимков был получен результат при наблюдении за оползнями.

Большая длина волны сенсора L-диапазона (23,6 см) позволяет достигать практически непрерывной когерентности, хотя и не очень высокой. В результате получается картина изменений местности в целом, а

не отдельными участками. Невысокая когерентность связана с почти критической разницей во времени между сценами (780 дней).

В результате обработки были получены дифференциальная интерферограмма и карта когерентности, проведено выравнивание интерферограммы по опорным точкам. Для получения дифференциальной интерферограммы использовалась цифровая модель рельефа (ЦМР) SRTM. Развертка фазы также проводилась, однако в силу большой зашумленности интерферограммы получение карты смещений было нецелесообразно. Все выводы были сделаны на основе полученной интерферограммы и построенных профилей по выбранным линиям.

Сначала рассмотрим территорию города, расположенную над выработками затопленного рудника. Дифференциальная интерферограмма показана на рис. 1. Соответствующая карта когерентности показана на рисунке 2, а на рисунке 3 — фотоплан местности. Каждый фринг (цикл цветов синий–желтый–розовый–синий) соответствует вертикальным смещениям примерно в 15 см (угол наклона луча — 39 градусов). Сплошными белыми прямоугольниками показаны зоны с выявленными смещениями, пунктирными — подозрительные места, где четкая интерферограмма не получилась. Желтыми линия-

ми показаны построенные профили.

На рис. 1 видно, что территория города в целом стабильна, за исключением пронумерованных зон. Следует отметить зону 3, где обнаружены значительные оседания в зоне застройки в русле р. Зырянка, и прилегающую зону 4, где оседания обнаружены в лесу (рис. 4).

На рис. 5, 6 приведены профили оседаний по линиям 1 и 2. Профиль 1 примечателен тем, что был выбран на основе имеющихся инструментальных

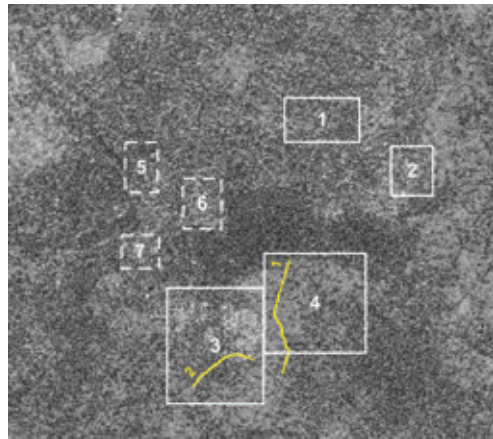


Рис. 2. Карта когерентности на территорию г. Березники по паре ALOS PALSAR 20.12.2007 г. – 09.02.2010 г.

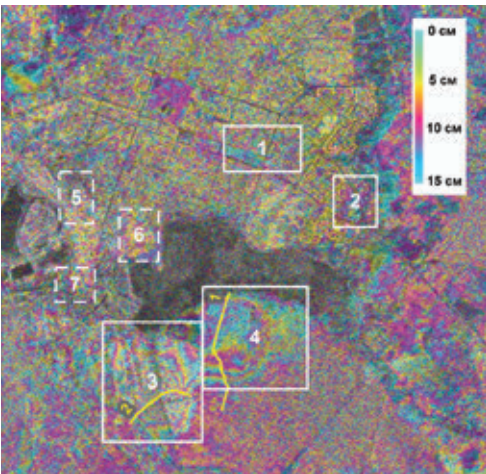


Рис. 1. Дифференциальная интерферограмма на территорию г. Березники по паре ALOS/PALSAR 20.12.2007 г. – 09.02.2010 г.



Рис. 3. Фотоплан территории г. Березники

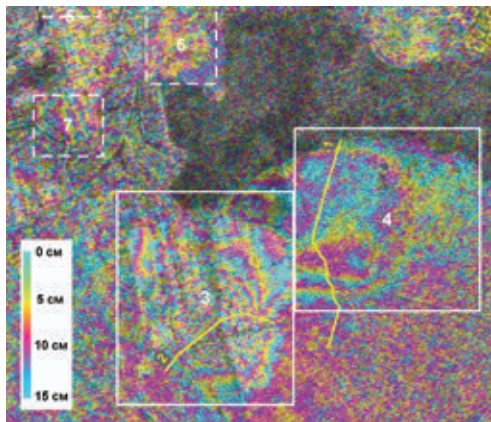


Рис. 4. Дифференциальная интерферограмма южной части г. Березники по паре ALOS/PALSAR

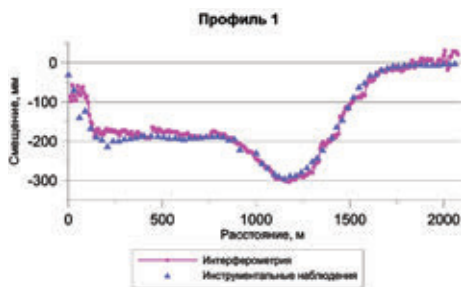


Рис. 5. График оседаний по профилю 1; сравнение с инструментальными наблюдениями

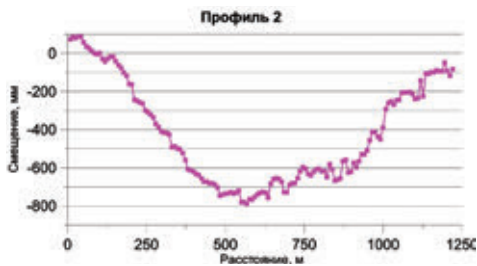


Рис. 6. График оседаний по профилю 2

наблюдений, и позволил выполнить сравнение и оценку точности метода. Как видно, графики хорошо согласуются. Разница между значениями составила от 5 до 10%, что позволяет говорить о сантиметровой

точности даже при такой большой временной базе и низкой когерентности, которая колебалась по профилю в пределах от 0,2 до 0,6. Максимальная скорость оседаний составила 140 мм/год.

По профилю 2 деформация оказалась выше и фринги уже практически сливаются, что неудивительно при такой большой временной базе. Здесь максимальные оседания составили около 800 мм, это 370 мм/год. Зоны 3 и 4 находятся над выработками пласта карналлита.

В зонах 5, 6, 7 видны изменения, но количественно отразить их не получилось предположительно из-за огромных скоростей деформаций: зона 7 близка к первому провалу, а в зоне 5 позже образуются 2-й и 3-й провалы.

Рассмотрим результат для территории над действующим рудником. Соответствующие интерферограмма, когерентность и фотоплан показаны на рис. 7, 8, 9. Здесь также были выявлены зоны с деформациями. Фринги отчетливо видны в зоне развязки дорог 11, небольшие изменения есть в зоне 10. На рис. 10 показан профиль 3, однако есть сомнения в правильности развертки в области минимума. В направлении северо-запада от профиля 3 фринги расположены чаще, что говорит о еще больших скоростях оседаний (рис. 11).

Анализ снимков с сенсора ALOS/PALSAR показал, что их можно использовать для оценки смещений поверхности в зимних условиях и даже на залесенной территории. Сравнение с результатами инструментальных наблюдений позволило оценить точность выполнения расчетов. Следует отметить, что если уменьшить временную базу, точность должна возрасти.

АНАЛИЗ СЦЕН TERRASAR-X

Для оценки возможности использования зимних снимков X-диапазона было заказано три архивных снимка TerraSAR-X, выполненных в режиме StripMap с НН-поляризацией. Снимки датировались 29.12.2009 г., 20.01.2010 г. и 11.02.2010 г. — с разницей в 22 дня. Предварительный анализ показал, что снимок от 29.12.2009 г. не коррелирует с остальными. Скорее всего, это объясняется наличием осадков – в момент съемки шел снег.

Проведение анализа с использованием снимков TerraSAR-X в зимний период упоминается в работе [4], однако никаких результатов не было получено.

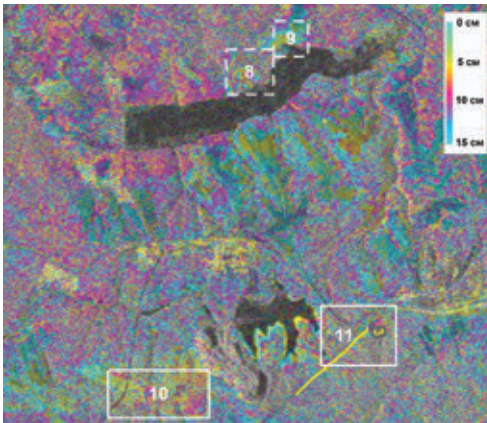


Рис. 7. Дифференциальная интерферограмма на территорию горного отвода БКПРУ-2 по паре ALOS/PALSAR 20.12.2007 г. – 09.02.2010 г.



Рис. 9. Фотоплан территории горного отвода БКПРУ-2

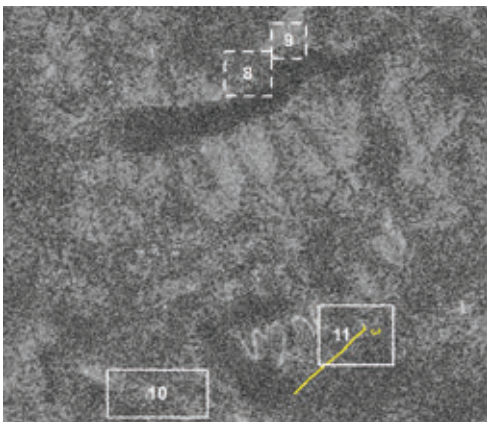


Рис. 8. Карта когерентности на территорию горного отвода БКПРУ-2 по паре ALOS/PALSAR 20.12.2007 г. – 09.02.2010 г.

Также снимки TerraSAR-X были использованы в работе А.И.Захарова и др. по мониторингу транспортной инфраструктуры, однако для получения результата использовались уголковые отражатели.

В итоге были проанализированы второй и третий снимки. Перпендикулярная база составила 70 м. На рис. 12 показана дифференциальная интерферограмма, каждый фринг соответствует вертикальным смещениям примерно в 19 мм. На рис. 13 изображена карта когерентности. Видно, что зона 4, покрытая

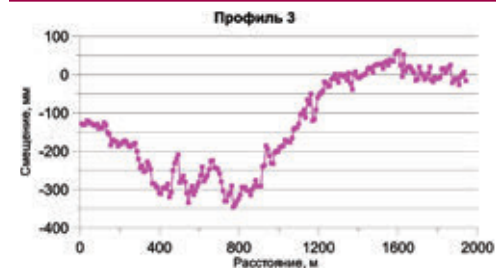


Рис. 10. График оседаний по профилю 3

лесом, имеет очень низкую когерентность. Зато получена картина в зонах 1, 3, 5: изменения в зоне 1 видны лучше, чем по паре ALOS/PALSAR, в зоне 3 за 22 дня произошли смещения с максимумом порядка 20 мм (330 мм/год), что соответствует смещению за 2010 г. Есть смещения в зоне 5, которая была неразличима на результатах предыдущего анализа. Максимальное смещение в зоне 5 составило 14 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ пары снимков с сенсора ALOS/PALSAR подтвердил тот факт, что такие данные можно использовать для анализа деформаций поверхности земли даже в условиях залесенной местности, однако

при выборе сцен следует учитывать возможные скорости деформаций поверхности.

Была получена оценка точности результатов, полученных методом дифференциальной интерферометрии, путем сравнения с данными инструментальных наблюдений, скорректированных по скоростям оседаний. Показано, что в областях с когерентностью, близкой к 0,6, разница значений достигает 5%.

Анализ пары снимков TerraSAR-X показал, что при отсутствии атмосферных помех и осадков данные X-диапазона могут использоваться для анализа смещений в зимний период. Как и было сказано в [4], когерентность для зимних пар выравнивается между техногенными сооружениями и открытой местностью (поля, улицы, сады). Это может быть вызвано отсутствием травянистой растительности и образованием хорошо отражающего слоя в связи с понижением температуры. Конечно, в таком случае когерентность, а следовательно, и точность будут ниже, чем для летних пар снимков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В Березниках (Пермский край) продолжается мониторинг за состоянием провала в карналлитовой зоне. — <http://www.nr2.ru/perm/136730.html>.
2. Баранов Ю.Б., Горяинов М.С., Кантемиров Ю.И., Киселевский Е.В., Кулапов С.М., Нохрин В.А. Преимущество космических радарных систем при выполнении маркшейдерских работ на нефтегазовых месторождениях (на примере Южно-Русского месторождения) // Геоматика. – 2011. – №1. — С.12—14.
3. Захарова Л.Н., Захаров А.И., Лебедева М.А.,

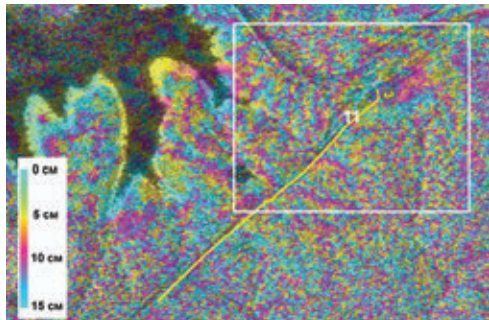


Рис. 11. Интерферограмма на область развязки дорог

Саньков В.А. Применимость радиолокационной интерферометрии к мониторингу деформаций земной поверхности в районе Северомуйского участка БАМ // Тр. конф. «Всероссийские радиофизические научные чтения-конференции памяти Н.А. Арманда. Всероссийская научно-практическая конференция «Космическая радиолокация», Муром, 28 июня – 1 июля 2010 г. — 2010. — Электронное издание (CD).

4. Кантемиров Ю.И., Киселевский Е.В., Баранов Ю.Б., Никифоров С.Э., Билянский В.В., Ланцл Р. Результаты мониторинга смещений земной поверхности и деформаций зданий и сооружений в г. Новый Уренгой по данным TerraSAR-X // Геоматика. – 2010. – №1. — С.73—79.



Рис. 12. Дифференциальная интерферограмма на территорию г. Березники по паре TerraSAR-X 20.01.2010 г. – 11.02.2010 г.

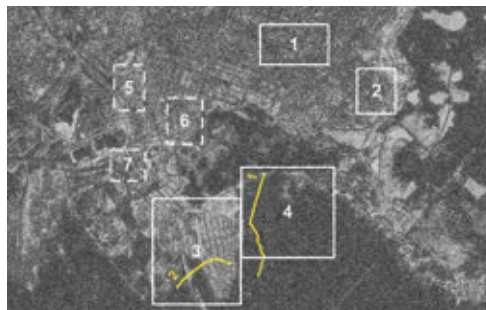


Рис. 13. Карта когерентности на территорию г. Березники по паре TerraSAR-X 20.01.2010 г. – 11.02.2010 г.

Ж. Ш. Жантаев (АО «НЦ КИТ»)

В 1970 г. закончил Казахский политехнический институт по специальности «геофизика». В настоящее время — президент АО «Национальный центр космических исследований и технологий» Казахстана. Доктор физико-математических наук.

А.Г. Фрейд (АО «НЦ КИТ»)

В 1970 г. закончил Томский политехнический институт по специальности «геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». В настоящее время — заведующий лабораторией исследования деформационных процессов земной коры Института ионосферы АО «Национальный центр космических исследований и технологий» Казахстана. Кандидат физико-математических наук.

А.В. Иванчукова (АО «НЦ КИТ»)

В 2010 г. закончила Казахский национальный университет по специальности «геодезия и картография». В настоящее время — младший научный сотрудник лаборатории исследования деформационных процессов земной коры Института ионосферы АО «Национальный центр космических исследований и технологий» Казахстана.

А.А. Калдыбаев (АО «НЦ КИТ»)

В 2011 г. закончил магистратуру Казахского национального университета по специальности «география». В настоящее время — ведущий инженер лаборатории геодинамики Института ионосферы АО «Национальный центр космических исследований и технологий» Казахстана.

С.М. Нурақынов (АО «НЦ КИТ»)

В 2009 г. закончил Казахский национальный университет по специальности «геодезия и картография». В настоящее время — ведущий инженер лаборатории исследования деформационных процессов земной коры Института ионосферы АО «Национальный центр космических исследований и технологий» Казахстана.

Ю.И. Кантемиров (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работал младшим научным сотрудником лаборатории космической информации для целей газовой промышленности в ООО «Газпром ВНИИГАЗ». С 2010 г. работает в компании «Совзонд» ведущим специалистом отдела программного обеспечения.

С.Э. Никифоров (Ростехнадзор)

В 2000 г. окончил Московский государственный горный университет по специальности «горный инженер-маркшейдер». В настоящее время доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии Московского государственного горного университета, консультант Управления горного надзора Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Кандидат технических наук.

Космический радарный мониторинг смещений земной поверхности над нефтегазовым месторождением Тенгиз

ВВЕДЕНИЕ

В настоящей статье рассматриваются вопросы космического радарного интерферометрического мониторинга вертикальных смещений земной поверхности над разрабатываемым нефтегазовым месторождением Тенгиз (Республика Казахстан).

Тенгиз — это крупнейшее по запасам месторожде-

ние Казахстана, открытое в 1979 г. и расположенное в Прикаспийской нефтегазовой провинции в 160 км к юго-востоку от г. Атырау (бывший Гурьев).

Продуктивные горизонты находятся в интервале глубин 3,8–5,4 км от земной поверхности. Существенной особенностью залежи является наличие в ней большого количества сероводорода,

находящегося под аномальновысоким пластовым давлением. Резервуар представлен сложно построенным карбонатно-трещинным или трещинно-пустотным коллектором и соляным флюидоупором. Особенность строения резервуара — в наличии отдельных гидроблоков, связь между которыми затруднена или отсутствует.

Аномальновысокое пластовое давление, сложное геологическое строение, а также значительный срок эксплуатации месторождения с постоянно нарастающими объемами извлекаемой нефти дают основание предполагать возможные просадки техногенного происхождения, что и послужило основанием для проведения данного исследования. В статье приводится пример интерферометрической обработки конкретной пары радарных снимков спутника Европейского космического агентства (ESA) ENVISAT/ASAR от 23.11.2005 г. и 28.11.2007 г., иллюстрирующий методику интерферометрического выявления вертикальных смещений земной поверхности, и в частности их численной оценки.

Также приводятся результаты реального проекта по выявлению смещений земной поверхности над месторождением Тенгиз, произошедших с 2004 по 2010 г., по результатам применения методики SBas к данным 33-проходной цепочки радарных снимков

ENVISAT/ASAR и 12-проходной цепочки радарных снимков японского спутника ALOS/PALSAR. Обработка выполнялась в программном комплексе SARscape.

ОБРАБОТКА ОТДЕЛЬНОЙ ПАРЫ СНИМКОВ ENVISAT/ASAR

Для иллюстрации технологии интерферометрической обработки радарных снимков рассмотрим ее на конкретном примере одной из пар снимков ENVISAT/ASAR месторождения Тенгиз (снимки от 23.11.2005 г. и 28.11.2007 г.).

Предварительная оценка качества интерферометрической пары средствами функции Baseline estimation модуля SARscape Interferometry показывает (рис. 1), что перпендикулярная составляющая базовой линии около 17 м, что для спутника ENVISAT/ASAR является очень маленьким значением. Вместимость топографического интерференционного цикла (2PI Ambiguity height) составляет 530 м, что на порядок больше, чем реальный перепад высот на этом участке, а следовательно, фаза смещений земной поверхности значительно преобладает над фазой рельефа. Именно поэтому данная пара снимков была выбрана для демонстрации возможностей метода. Разница положений доплеровского центрада также незначи-

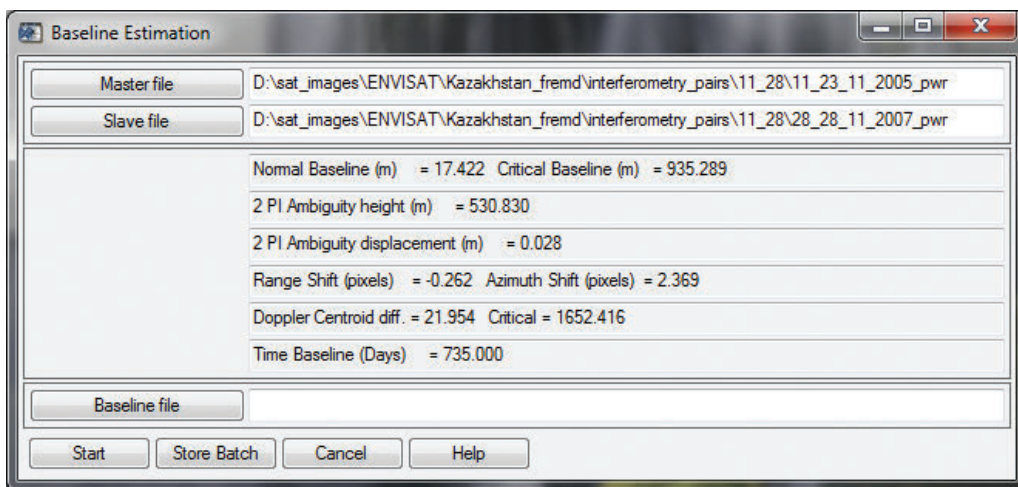


Рис. 1. Оценка основных параметров пары снимков ENVISAT/ASAR от 23.11.2005 г. и 28.11.2007 г.

тельна (22 Гц при критической величине 1652 Гц), и поэтому ее влияние минимально.

Первым шагом интерферометрической обработки является совмещение основного и вспомогательного радарных изображений интерферометрической пары в автоматическом режиме. В случае пары с малой базовой линией этот шаг лучше выполнять без участия цифровой модели рельефа (ЦМР). Совмещение в SARscape выполняется в автоматическом режиме во время процедуры Interferogramm Generation Without DEM модуля SARscape Interferometry. Оно выполняется в три этапа:

1. Совмещение с пиксельной точностью по орбитальным параметрам.
2. Уточнение сдвига одного снимка относительно другого с субпиксельной точностью с использованием нерегулярной сетки окон, характеризующихся корреляцией амплитуд выше заданного порога.
3. Уточнение сдвига одного снимка относительно другого с использованием нерегулярной сетки окон, в которых рассчитываются когерентности фаз этих снимков (в расчет идут значения сдвига, вычисленные по окнам, у которых соотношение сигнал—шум рассчитываемое с учетом когерентности, выше за-

данного порога). На данном этапе достигается точность корегистрации снимков до 1/100 пикселя.

Совмещение двух снимков прошло удачно в автоматическом режиме, после чего в рамках этой же процедуры Interferogramm Generation был выполнен второй шаг — расчет комплексной интерферограммы, являющейся результатом комплексного поэлементного перемножения фаз радарных снимков пары. Интерферограмма показана на рис. 2.

Комплексная интерферограмма в общем случае содержит в себе несколько компонентов:

- фазу рельефа;
- фазу смещений;
- атмосферные артефакты;
- фазовый шум.

В нашем случае фаза рельефа хоть и незначительна (из-за малой базовой линии и из-за не ярко выраженного рельефа территории), но тем не менее ее необходимо удалить из интерферограммы. Это делается на следующем шаге интерферометрической обработки с помощью процедуры Interferogramm Flattening модуля SARscape Interferometry. В рамках этой процедуры выполняется разделение топографического и деформационного компонентов фазы за счет синтеза фазы рельефа с помощью имеющейся

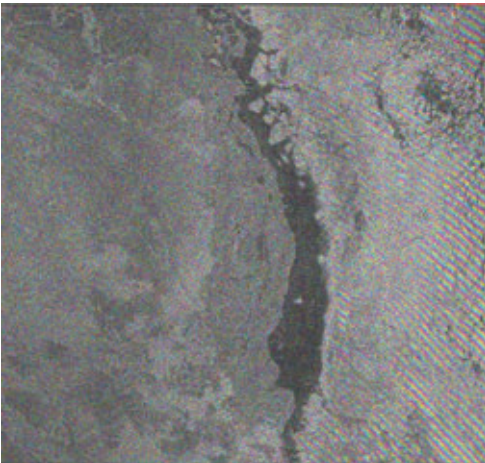


Рис. 2. Комплексная интерферограмма, рассчитанная по паре радарных снимков от 23.11.2005 г. и 28.11.2007 г.

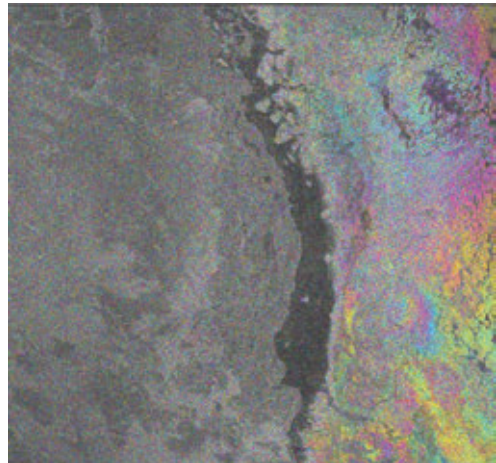


Рис. 3. Дифференциальная интерферограмма, рассчитанная по паре радарных снимков от 23.11.2005 г. и 28.11.2007 г.

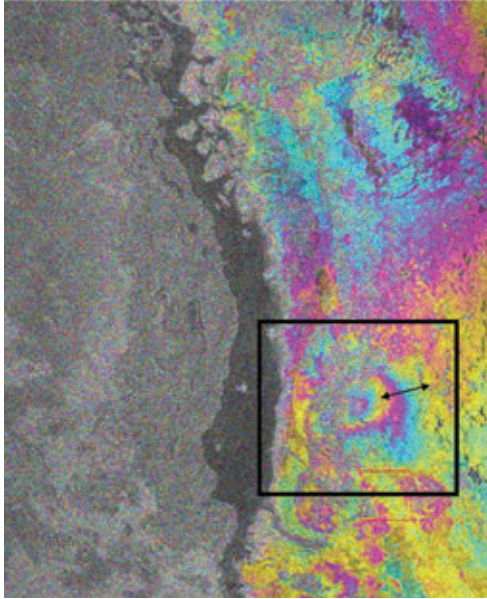


Рис. 4. Фильтрованная дифференциальная интерферограмма, рассчитанная по паре радарных снимков от 23.11.2005 г. и 28.11.2007 г.

ЦМП, в качестве которой авторами использовалась ЦМП SRTM. Основным выходным файлом данной процедуры является дифференциальная интерферограмма, представляющая собой результат вычитания синтезированной фазы рельефа из комплексной интерферограммы. Дифференциальная интерферограмма для обрабатываемой пары снимков показана на рис. 3.

Дифференциальная интерферограмма содержит в себе компоненту смещений и компоненту фазового шума. Чтобы уменьшить уровень шума, выполняется адаптивная фильтрация дифференциальной интерферограммы. На фильтрованной дифференциальной интерферограмме, показанной на рис. 4, хорошо заметны два concentric интерференционных цикла (так называемых фринга), отражающих смещения земной поверхности за период между 2005 и 2007 гг. Каждый фринг соответствует смещению, равным половине длины волны радиолокатора ENVISAT (длина волны — 5,5 см, половина длины волны — 2,75 см). Черным квадратом на рис. 4 обведена муфта оседаний земной поверхности над месторождением Тенгиз (один интерференционный цикл соответствует смещениям земной поверхности, равным половине длины волны радиолокатора, т.е.

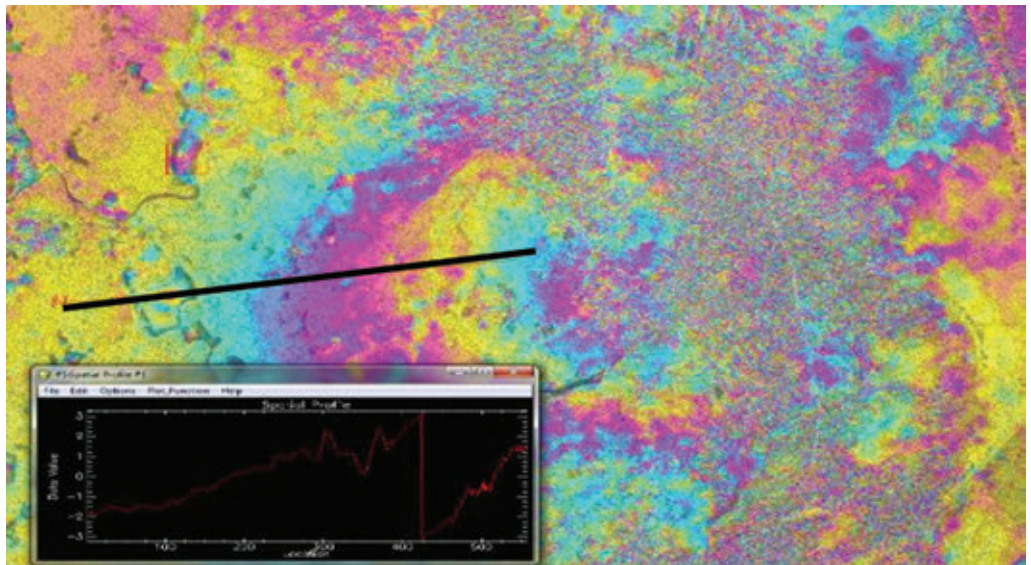


Рис. 5. Иллюстрация периодической природы фазы и ее разрывов на границе интерференционных циклов

2,75 см). На рисунке отчетливо наблюдаются два концентрических интерференционных цикла (т.е. смещения до 5,5 см за период в 2 года — с 2005 до 2007).

Фаза на дифференциальной интерферограмме имеет периодическую природу, и между соседними фрингами существует разрыв фазы (см. рис. 5). Чтобы получить непрерывную фазу, необходимо выполнить процедуру ее развертки. На рис. 6 показана развернутая фаза на тот же участок, что и на рис. 5. Скачок (разрыв) фазы на границе фрингов устранен. Участки черного цвета – зашумленные зоны интерферограммы для которых фаза не разворачивалась (в дальнейшем расчете смещений эти точки не участвуют). На рис. 7 показана развернутая фаза на весь обрабатываемый участок.

Далее развернутая фаза с использованием нескольких контрольных точек, взятых с ЦМР SRTM для коррекции орбиты, была преобразована в смещения в миллиметрах. Модель смещений на весь обрабатываемый участок месторождения Тенгиз и прилегающих территорий показана на рис. 8.

Выше был приведен пример обработки одной из возможных пар снимков 33-проходной цепочки. Однако обработка одной пары снимков не является

статистически представительным результатом. Для того чтобы уверенно картировать смещения, необходима обработка многих пар снимков, в том числе перекрещивающихся во времени, чтобы смещения, произошедшие за определенный интервал времени, оценивались не по одной, а по нескольким (или многим) парам снимков, охватывающих данный интервал. Поэтому с той же последовательностью действий, как была обработана пара снимков от 23.11.2005 г. и 28.11.2007 г., были обработаны 60 других пар этой 33-проходной цепочки, отобранные по принципу наименьших базовых линий в соответствии с методом SBas [1]. Их обработка описана в следующем подразделе.

ОБРАБОТКА 33-ПРОХОДНОЙ ЦЕПОЧКИ ENVISAT ASAR МЕТОДОМ SBAS

Из снимков 33-проходной цепочки можно составить всего 528 независимых пар ($33 \times 32 / 2$). Поскольку к смещениям земной поверхности наиболее чувствительны интерферометрические пары, характеризующиеся малыми перпендикулярными компонентами базовых линий, логично отобрать именно их для дальнейшей обработки. Исходя из статистического распределения базовых линий данной конкретной

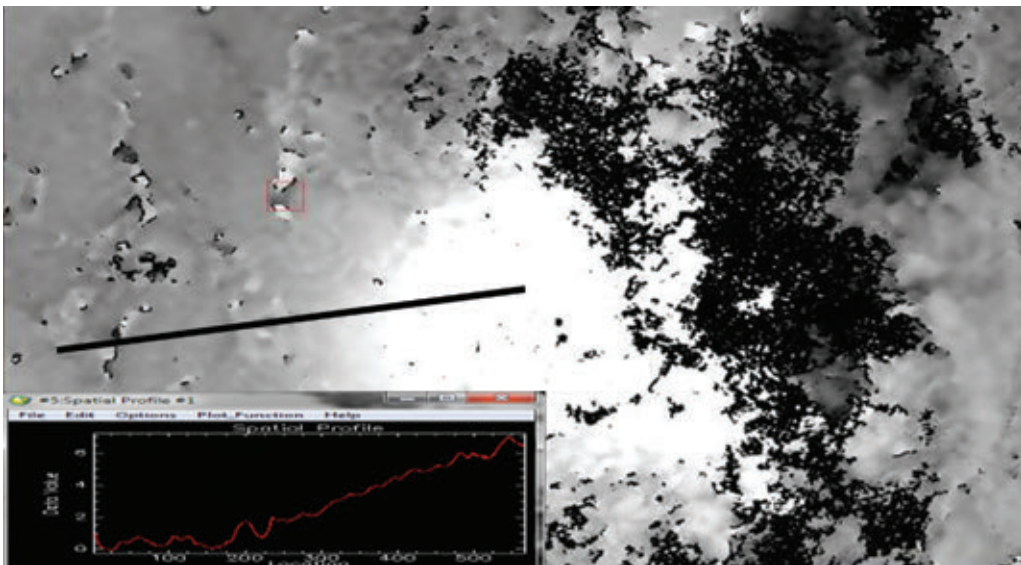


Рис. 6. Развернутая фаза на тот же участок, что и на рис. 5

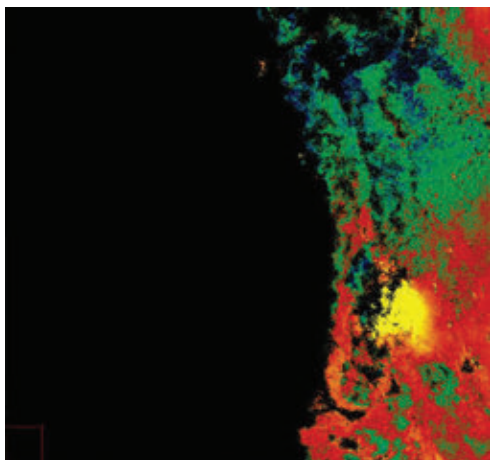


Рис. 7. Развернутая фаза в псевдоцветах на весь обрабатываемый участок

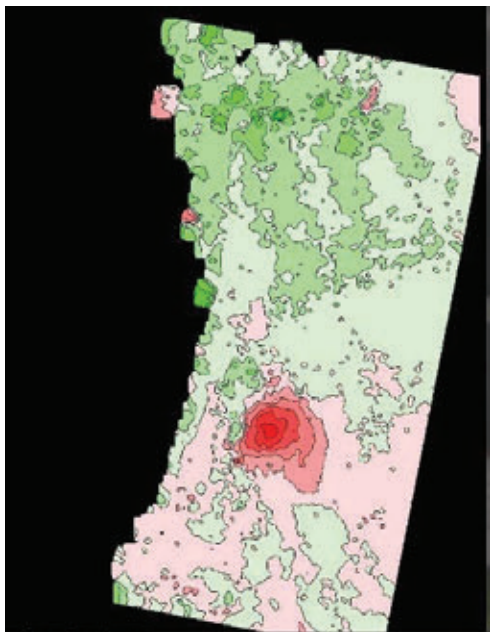


Рис. 8. Геокодированная карта вертикальных смещений земной поверхности за период с 23.11.2005 г. по 28.11.2007 г., с изолиниями смещений, проведенными через 10 мм. Красный цвет — оседания, зеленый цвет — поднятия. Оседания максимально достигают 7,5 см за два года

цепочки, а также из опыта авторов, для отбора пар для дальнейшей обработки был установлен порог базовых линий — до 30% от критической базовой. Кроме того, чтобы избежать выбора пар с сильной временной декорреляцией, было установлено максимальное значение временной базы в 365 суток.

После определения этих исходных параметров была выполнена интерферометрическая обработка 33-проходной цепочки данных ENVISAT по методу малых базовых линий (SBAs), реализованному в программном комплексе SARscape в модуле Interferogramm Stacking. Именно обработка по этому методу была выбрана для получения основного результата по данным ENVISAT за 2004–2009 гг., а именно для статистически выверенной оценки смещений земной поверхности над месторождением Тенгиз, произошедших за рассматриваемый период.

Сначала с указанными выше параметрами была применена функция Connection Graph модуля Interferogramm Stacking. Результатом явились 60 из 528 теоретически возможных пар снимков. Схематически выбранные 60 пар снимков в координатах «время — базовая линия» приведены на рис. 9. Как видно из рисунка, большая часть рассматриваемого периода (с 2004 по 2009 г.) анализируется по результатам обработки не одной, а нескольких пар, что значительно увеличивает достоверность получаемых результатов. В частности, при одновременной обработке нескольких пар вклад реально закономерно происходящих динамических процессов земной поверхности увеличивается, а роль случайных и незакономерных во времени факторов, влияющих на интерферометрическую фазу, таких как атмосфера, электромагнитные шумы, осадки и т. д., сильно падает.

Далее обработка всех этих выбранных пар велась в той же последовательности, что и обработка пары от 23.11.2005 г. и 28.11.2007 г., подробно рассмотренная выше. Авторы считают излишним приводить все промежуточные результаты по каждой из 60 пар, поскольку последовательность их обработки полностью идентична. Приведем все же на рис. 10 несколько фильтрованных дифференциальных интерферограмм, отражающих смещения земной поверхности за разные периоды, для иллюстрации того, что муфта оседаний, выявленная по паре от 23.11.2005 г. и 28.11.2007 г., хорошо заметна также и на других

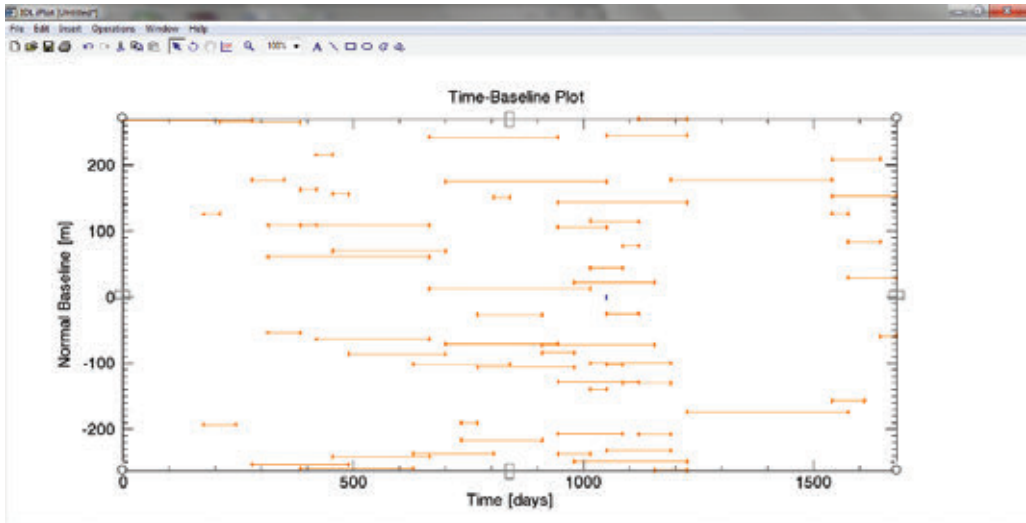


Рис. 9. Иллюстрация пар снимков 33-проходной цепочки ENVISAT, выбранных по принципу малых базовых линий. По оси X — время в сутках (первый по порядку снимок принят за ноль). По оси Y — базовые линии в метрах (знаки «+» и «-» означают отклонение вправо и влево от маршрута спутника ENVISAT)

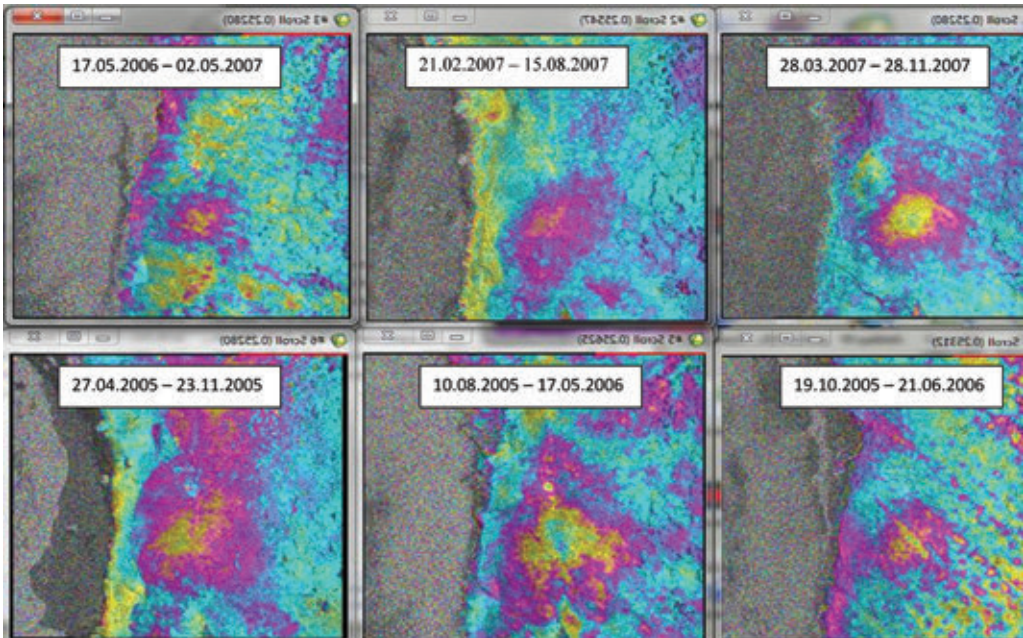


Рис. 10. Несколько типовых фильтрованных дифференциальных интерферограмм, рассчитанных по парам снимков ENVISAT 33-проходной цепочки с малыми базовыми линиями

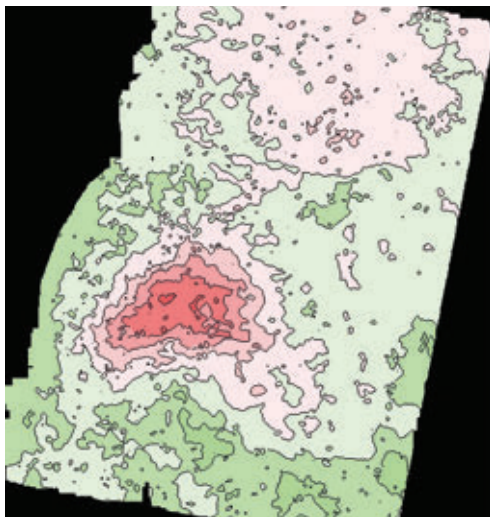


Рис. 11. Результирующая модель вертикальных смещений земной поверхности над месторождением Тенгиз за период с 2004 по 2009 г. в цветовом кодировании. Зеленый цвет — поднятия, красный цвет — оседания. Изолинии смещений подписаны в миллиметрах («+» — поднятия, «-» — оседания)

интерферограммах анализируемой 33-проходной цепочки за различные временные периоды. Абсолютные значения смещений по дифференциальным интерферограммам можно оценить исходя из количества интерференционных циклов (фрингов) или их долей на этих интерферограммах, поскольку полный интерференционный цикл на них соответствует смещениям, равным 2,75 см, т. е. половине длины волны радиолокатора ENVISAT.

Для математического вычисления динамики смещений за 2004–2009 гг. из рассчитанных 60 интерферограмм ENVISAT был применен алгоритм SBAS Inversion, реализованный в модуле SARscape Interferogram Stacking. Данный алгоритм подразумевает восстановление последовательной во времени динамики смещений поверхности по результатам совместной обработки перекрестных во времени интерферометрических пар снимков. На выходе данной процедуры генерируются модели вертикальных смещений земной поверхности на каждую дату съемки (поставляются в электронном виде в растровом формате ENVI), результирующая модель вертикальных смещений за весь период наблюдений и

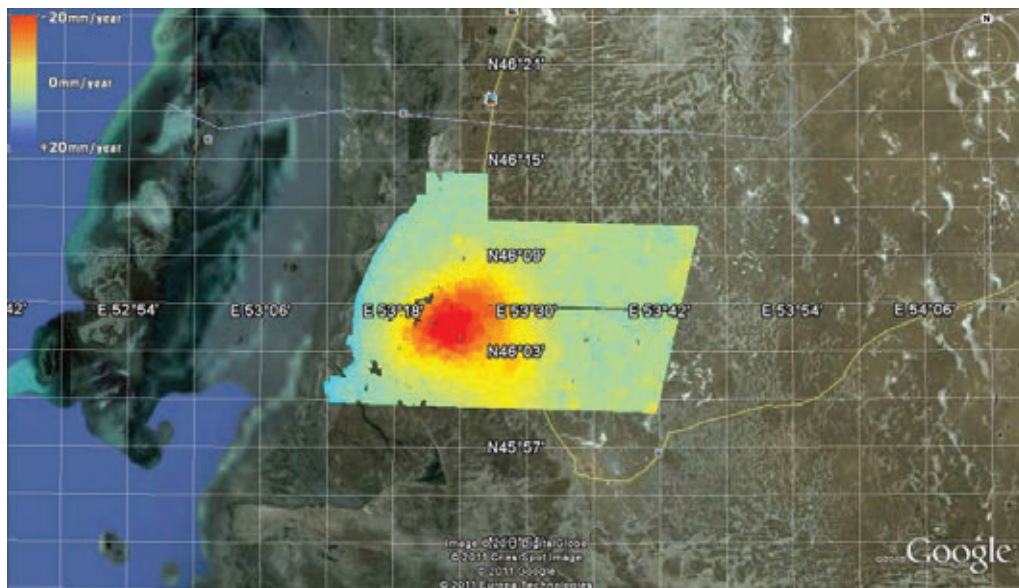


Рис. 12. Мультида оседания земной поверхности над месторождением Тенгиз за период с 2004 по 2009 г., зарегистрированная по данным ENVISAT, отображенная в среде Google Earth

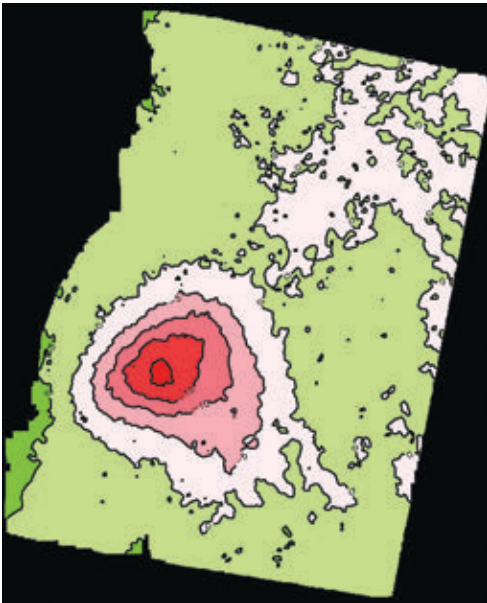


Рис. 13. Графики оседаний в миллиметрах для нескольких типовых точек — постоянных рассеивателей радарного сигнала, расположенных в самом центре зарегистрированной мульды оседаний. По оси X — даты, по оси Y — смещения в миллиметрах, знак «-» означает движение вниз (оседание)

модель среднегодовой скорости вертикальных смещений. Кроме того, генерируется точечный векторный файл постоянных рассеивателей радарного сигнала (в атрибутах каждой точки записаны смещения на каждую дату съемки).

Результирующая модель смещений земной поверхности над месторождением Тенгиз за период с 2004 по 2009 г. в цветовом кодировании представлена на рис. 11. Мульда оседаний над месторождением Тенгиз в среде Google Earth показана на рис. 12. Графики оседаний в миллиметрах для нескольких типовых точек — постоянных рассеивателей радарного сигнала, расположенных в самом центре зарегистрированной мульды оседаний — показаны на рис. 13. Модель среднегодовой скорости смещений земной поверхности над месторождением Тенгиз за период с 2004 по 2009 г. показана на рис. 14.

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ результатов мониторинга смещений земной поверхности, произошедших над месторождением Тенгиз с 2004 по 2009 г. и зарегистрированных в ходе интерферометрической обработки радарных данных ENVISAT, показал наличие ускоряющихся во времени оседаний земной поверхности над районом активной добычи углеводородов из этого месторож-

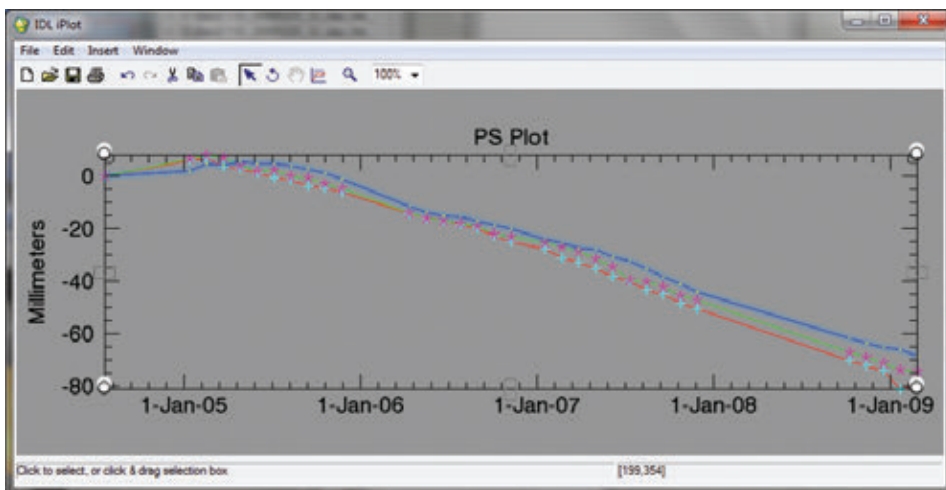


Рис. 14. Модель среднегодовых скоростей вертикальных смещений земной поверхности над месторождением Тенгиз за период с 2004 по 2009 г.

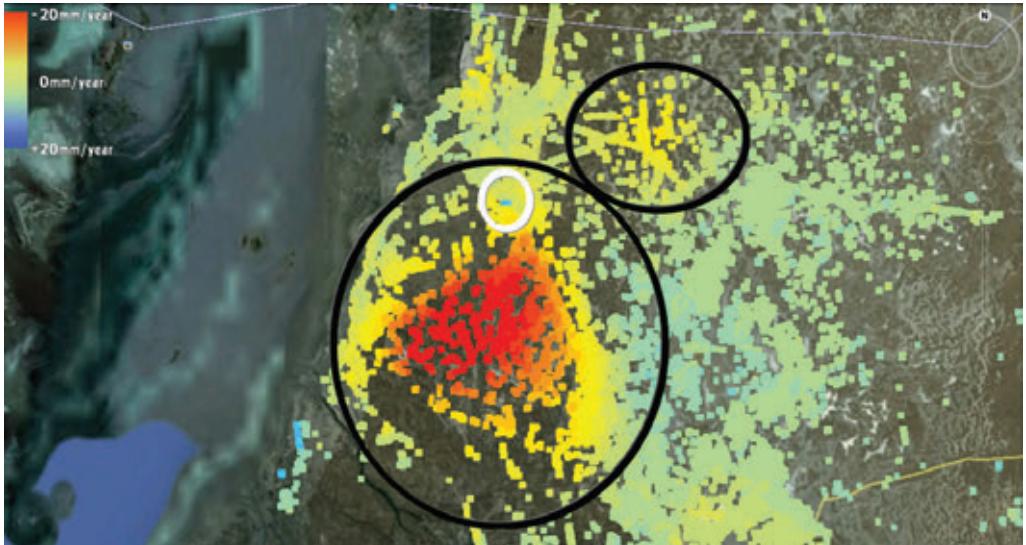


Рис. 15. Основные особенности, дешифрируемые на результирующей модели смещений земной поверхности по данным ALOS за 2007–2010 гг.: основная мульда оседаний земной поверхности и новая формирующаяся мульда оседаний (черные круги), а также локальный участок поднятий (белый круг)

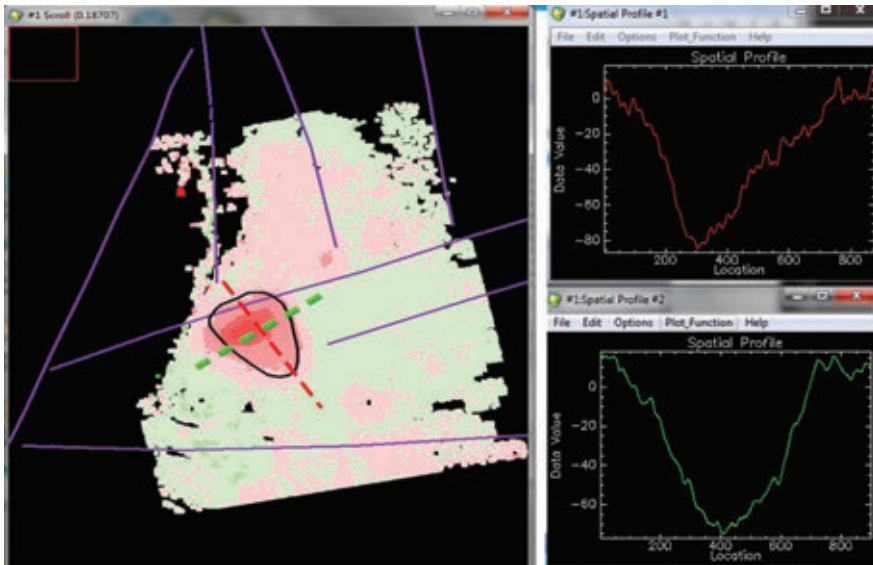


Рис. 16. Сопоставление карты смещений земной поверхности над месторождением Тенгиз (слева) с контуром месторождения на глубине 5 км (черный контур) и геологическими разломами (фиолетовые линии). Красный и зеленый пунктир — продольный и поперечный профили мульды оседаний. Справа — смещения по продольному и поперечному профилям мульды смещений

дения. Скорость оседаний в центре основной зарегистрированной мульды достигает 30 мм в год. На момент окончания анализируемой цепочки данных ENVISAT (конец 2009 г.) западная граница мульды (нулевая изолиния смещений) не достигла береговой линии, но движется по направлению к ней.

По сравнению с анализируемыми в рамках статьи данными ENVISAT за 2004—2009 гг. в результатах по данным ALOS за 2007—2010 гг. проявились следующие основные особенности (рис. 15):

- западная граница основной мульды оседаний сместилась в сторону береговой линии и достигла ее к концу 2010 г.;
- сформировалась еще одна мульда оседаний земной поверхности — к северо-востоку от первой;
- появился локальный участок поднятий земной поверхности на северной окраине основной мульды оседаний — в районе сооружений завода по очистке от сероводорода (возможно, это ложные поднятия, вызванные изменением высот сооружений складирования серы, которая откладывается слой за слоем открытым способом).

Сопоставительный анализ результирующей карты смещений с геологическими данными показал (рис. 16), что:

- основная зарегистрированная мульда оседаний земной поверхности совпадает с контуром месторождения Тенгиз на глубине 5 км;
- в северо-западной части мульды — в районе геологического разлома — смещения более интенсивные, чем в юго-восточной ее части, что иллюстрирует продольный профиль смещений на рисунке 15;
- вторая — небольшая — мульда оседаний, образовавшаяся с 2009 по 2010 г. к северо-востоку от первой — основной — мульды оседаний, приурочена к узлу пересечения двух крупных геологических разломов.

Для регулярного мониторинга зарегистрированных по архивным спутниковым данным техногенных смещений и деформаций, локально усиленных природными геологическими причинами, авторы рекомендуют запланировать целевую многопроходную радарную съемку с выдерживаемым временным интервалом (до 8 раз в месяц) и с гораздо более высоким пространственным разрешением (до 1 м).

Наилучшим образом для этой задачи, по мнению авторов, подходит итальянская спутниковая радарная группировка COSMO-SkyMed 1-4.

Данные этих возможных съемок могут быть также обработаны специалистами компании «Совзонд». Кроме того, компания «Совзонд» может поставить программный продукт SARscape по обработке радарных данных, осуществить обучение работе в этом программном продукте, а также проконсультировать и внедрить технологии наблюдений за смещениями земной поверхности с использованием радарных данных на базе заказчика.

Дальнейшее наблюдение за оседаниями земной поверхности необходимо, чтобы предотвратить возможное неожиданное подтопление объектов наземной инфраструктуры добычи углеводородов, поскольку четко зафиксировано развитие мульды оседаний на запад — к побережью Каспийского моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Richards: "A Beginner's: Guide to Interferometric SAR Concepts and Signal Processing". *IEEE Aerospace and Electronic*, Vol. 22, No. 9, September 2007.
2. Ferretti, C. Prati and F. Rocca: "Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry". *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 38, no. 5, Part 1, Sept. 2000, pp. 2202 – 2212.
3. Ferretti, C. Prati and F. Rocca: "Permanent scatterers in SAR interferometry". *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 39, no. 1, Jan. 2001, pp. 8 – 20.
4. Hooper, H. Zebker, P. Segall, and B. Kampes: "A new method for measuring deformation on volcanoes and other non-urban areas using InSAR persistent scatterers". *Geophysical Research Letters*, vol. 31, December 2004.
5. P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, E. Sansosti: "A new algorithm for surface deformation monitoring based on Small Baseline differential SAR Interferometry". *IEEE Aerospace and Electronic*, Vol. 40, No. 11, November 2002.
6. Михайлов И.М. Стрoение нефтяной залежи месторождения Тенгиз по данным геофлюидодинамики // *Геология нефти и газа*. — 1990. — № 2.

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

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

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

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

Ю.И. Кантемиров (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работал младшим научным сотрудником лаборатории космической информации для целей газовой промышленности в ООО «Газпром ВНИИГАЗ». С 2010 г. работает в компании «Совзонд» ведущим специалистом отдела программного обеспечения.

Пример мониторинга ледовой обстановки и судоходства в замерзшей акватории Азовского моря и Керченском проливе по данным COSMO-SkyMed

Как известно, зимой 2012 г. Азовское море и Керченский пролив замерзли. Большое количество кораблей оказалось заперто во льдах Азовского моря. Многие скопились у входа в замерзший Керченский пролив. Эта чрезвычайная ситуация и другие подобные ситуации требуют оперативного и регулярного получения информации о складывающейся ледовой обстановке, положении кораблей, ходе ледокольных операций и т. д.

Оператор группировки всепогодных и не зависящих от освещенности радарных спутников COSMO-SkyMed (E-GEOS, Италия) по запросу компании «Совзонд» быстро отреагировал на создавшуюся ситуацию. Группировка COSMO-SkyMed выполнила оперативные съемки Азовского моря и Керченского пролива. Специалисты компаний «Совзонд» и

e-GEOS выполнили интерпретацию сделанных съемок, результаты которой приводятся ниже.

Для демонстрации возможностей мониторинга ледовой обстановки и судоходства было выполнено в общей сложности 17 съемок в режимах ScanSAR Wide Region (разрешение 30 м, сцена 100 x 100 км) и HImage (разрешение 3 м, сцена 40 x 40 км).

По съемкам среднего разрешения осуществлялся предварительный обзорный анализ ледовой обстановки и выявление кораблей как на входе в Керченский пролив, так и в замерзшей акватории Азовского моря. Съемка в детальном режиме HImage нацеливалась по результатам анализа данных обзорного режима съемки.

Контуры сцен выполненных съемок приведены на рис. 1. Ледовую обстановку и судоходство в обзор-



Рис. 1. Район Керченского залива и южной части Азовского моря. Контуры сцен COSMO-SkyMed, отснятых в феврале 2012 г.

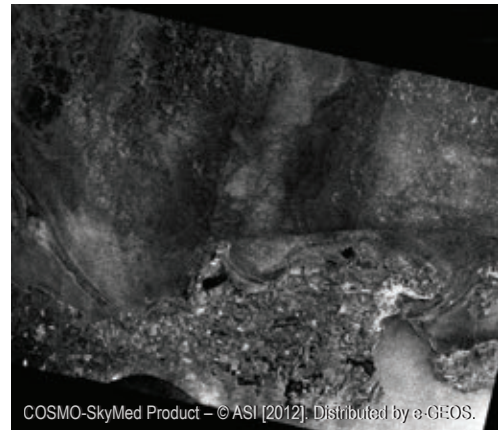


Рис. 3. Съемка COSMO-SkyMed Wide Region от 17.02.12

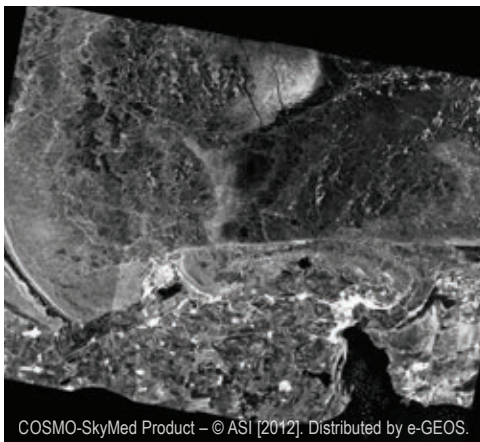


Рис. 2. Съемка COSMO-SkyMed Wide Region от 11.02.12

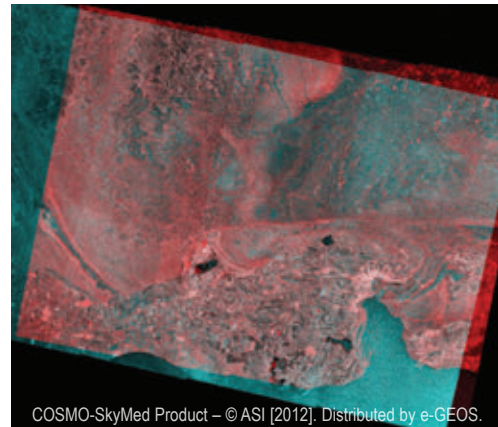


Рис. 4. Амплитудный мультвременной композит, составленный из съемок от 11 и 17 февраля. Красный канал — съемка от 11 февраля, зеленый и синий каналы — от 17 февраля

ном масштабе иллюстрируют, например, две съемки от 11 и 17 февраля 2012 г. (рис. 2 и 3), а также мультвременной композит, составленный по этим двум съемкам (рис. 4).

Амплитудный композит показывает, например, следы от кораблей в замерзшей акватории Азовского моря (рис. 5), стабильные и горизонтально движущиеся ледовые массивы замерзшей акватории (рис. 6), корабли, скопившиеся на входе в Керченский пролив, по состоянию на 11 и 17 февраля (рис. 7).

Выявив на радарных снимках среднего разрешения (30 м) застрявшие во льдах корабли в южной части Азовского моря, специалисты компании «Совзонд» оперативно спланировали новую радарную съемку COSMO-SkyMed высокого разрешения (3 м). Один из радарных снимков высокого разрешения приведен на рис. 8, его фрагмент крупным планом — на рис. 9, интерпретация этого фрагмента — на рис. 10.

Таким образом, исходя из приведенных примеров

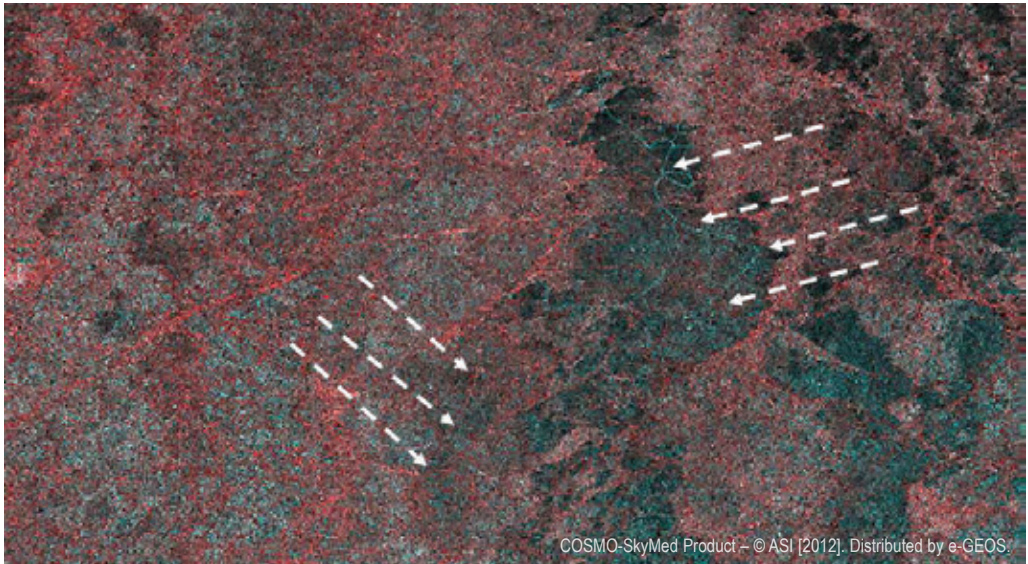


Рис. 5. Фрагмент амплитудного композита. Белые стрелки показывают на тонкую красную линию (преобладание красного канала), отображающую след от дрейфа или ледокольной проводки корабля во льдах по состоянию на 11 февраля и на голубую линию (сочетание синего и зеленого каналов), отображающую след от корабля во льдах за период с 11 по 17 февраля

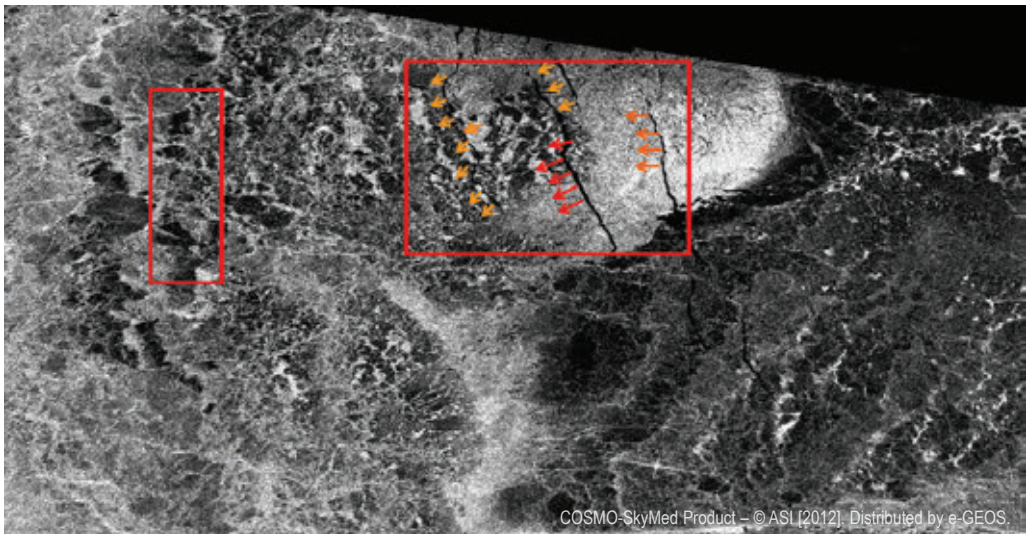
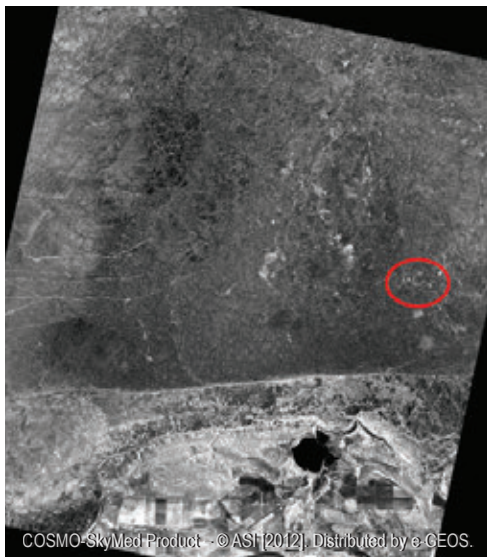


Рис. 6. Пример выявления скоростей горизонтальных подвижек ледовых массивов за период с 11 по 17 февраля. Стрелками показаны направления движения ледовых массивов в пределах динамического участка замерзшей акватории. В западной части снимка красным прямоугольником обведен участок стабильного (не движущегося) льда



COSMO-SkyMed Product – © ASI [2012]. Distributed by e-GEOS.

Рис. 7. Фрагмент мультивременного амплитудного композита. Корабли, ожидающие проводки через замерзший Керченский пролив. Белые яркие точки — корабли, стоящие на одном и том же месте и 11, и 17 февраля. Красные точки — корабли, присутствующие на снимке от 11 февраля, но отсутствующие на снимке от 17 февраля. Голубые точки — корабли, отсутствующие 11 февраля и появившиеся 17 февраля



COSMO-SkyMed Product - © ASI [2012]. Distributed by e-GEOS.

Рис. 8. Снимок COSMO-SkyMed 40 x 40 км с разрешением 3 м южной части Азовского моря

применения радарных космоснимков для решения задач оперативного всепогодного, не зависящего от освещенности мониторинга ледовой обстановки и судоходства, возможно сформулировать список задач, решаемых в данной области с помощью радарных данных:

- построение карт горизонтальных подвижек ледовых массивов;
- построение карт толщин льда (на стадии научно-исследовательских работ);
- построение карт типов льда;
- выделение старого и молодого льда;
- мониторинг судоходства, в том числе выявление застрявших во льдах кораблей;
- нацеливание и мониторинг ледокольной проводки.

Все эти результаты могут поставяться заказчику в виде веб-интерфейса через запароленный интернет-портал. Технически возможная частота мониторинговых съемок – вплоть до нескольких раз в сутки.



Рис. 9. Фрагмент снимка COSMO-SkyMed с разрешением 3 м от 18 февраля. Увеличение на участок расположения кораблей в замерзшей акватории Азовского моря

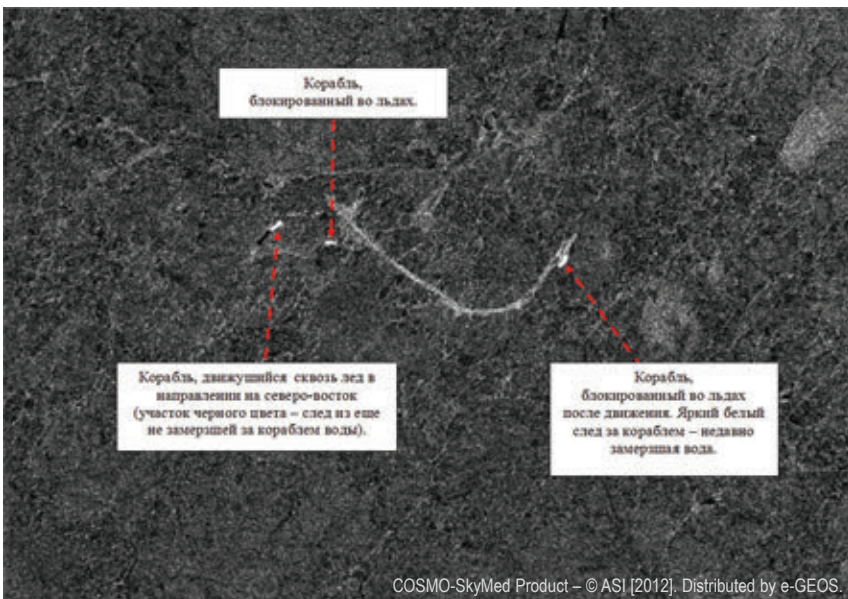


Рис. 10. Интерпретация снимка COSMO-SkyMed от 18 февраля

В.А. Мансуров (ТОО «Корпорация Казахмыс»)

Окончил Киргизский Государственный Университет (КГУ) в 1966 г., физико-математический факультет по специальности «интегро – дифференциальные уравнения». Главный геотехник – руководитель Геотехнического управления. Профессор, доктор физико-математических наук.

М.Ж. Сатов (ТОО «Корпорация Казахмыс»)

Окончил Казахский политехнический институт (Каз ПТИ) в 1973 г. по специальности «геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». Руководитель группы инструментальных наблюдений Геотехнического управления. Доктор технических наук.

Р.Т. Жантуев (ТОО «Корпорация Казахмыс»)

Окончил Казахский национальный технический университет (Каз НТУ) в 2001 г. по специальности «инженер маркшейдер». Ведущий инженер-геотехник по мониторингу смещений земной поверхности отдела инструментальных наблюдений Геотехнического управления.

Ю.И. Кантемиров (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работал младшим научным сотрудником лаборатории космической информации для целей газовой промышленности в ООО «Газпром ВНИИГАЗ». С 2010 г. работает в компании «Совзонд» ведущим специалистом отдела программного обеспечения.

Космический радарный мониторинг смещений земной поверхности и сооружений на Жезказганском месторождении меди (Республика Казахстан)

Жезказганское месторождение меди расположено в центральной части Казахстана, в бассейне реки Кара-Кенгир, юго-восточнее гор Улытау, к западу от города Жезказган и Кенгирского водохранилища, вблизи населенных пунктов Сатпаев, Кенгир и Рудник (рис. 1). Оно включает 5 рудников и охватывает площадь 10 x 7 км. Активная подземная разработка месторождения ведется с середины 20 века. В настоящее время месторождение разрабатывается корпорацией «Казахмыс».

За время разработки добыта значительная часть запасов месторождения. В настоящее время суммарный объем выработанного пространства горных пород составляет порядка 200 млн. м³. Месторождение отрабатывается камерно-столбовой системой разработки. Выработанное подземное пространство поддерживается десятками тысяч междукамерных целиков горных пород [1].

Естественно, такой объем подземных пустот вызы-



Рис. 1. Район Жезказганского месторождения меди (область желтого цвета по центру рисунка)



Рис. 2. Схема покрытия территории Жезказганского месторождения данными RADARSAT-2 в режиме съемки Fine (красный контур). Площадь кадра — 50х50 км, пространственное разрешение — 7 м, длина волны радара — 5,5 см

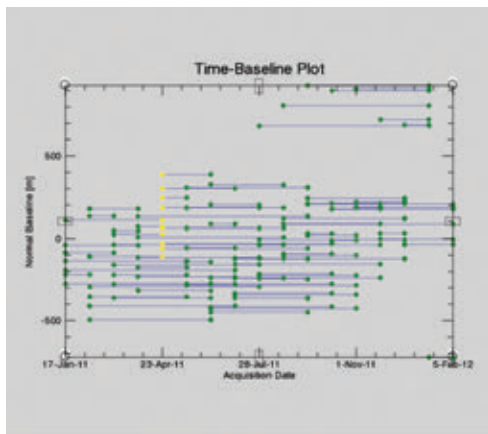


Рис. 3. 92 пары снимков, выбранных для интерферометрической обработки из числа возможных 136 пар 17-проходной цепочки

вает различные по амплитуде смещения и деформации земной поверхности.

Для наблюдений за смещениями и деформациями земной поверхности и сооружений на месторождении организован сейсмический мониторинг. Также выполняются регулярные традиционные геодезические

наблюдения по профильным линиям. Начиная с 2011 года для обеспечения регулярного получения информации о смещениях и деформациях земной поверхности, была организована космическая радарная съемка месторождения и прилегающих территорий со спутника Radarsat-2 (MDA, Канада). Съемка продолжается в настоящее время с периодом в 24 дня.

К настоящему моменту выполнено 17 повторных съемок (15 съемок в 2011 году и две съемки в 2012 году). Компания «Совзонд», спланировавшая эту многопроходную съемку для корпорации «Казахмыс», поставляет данные самих съемок Radarsat-2, а также выполняет обработку этих съемок по технологии радарной интерферометрии малых базовых линий «SBas» [2,3], реализованной в программном комплексе ENVI-SARscape (Exelis VIS, США). На выходе Заказчику ежемесячно поставляются карты смещений и деформаций земной поверхности и сооружений, что позволяет оперативно оценивать происходящие динамические процессы и при необходимости принимать необходимые меры. Для оценки текущей ситуации используется методика, разработанная в Корпорации Казахмыс и утвержденная в Комитете по ЧС Республики Казахстан.

На 2012 год запланирована поставка программного обеспечения ENVI-SARscape в корпорацию «Казахмыс» и обучение специалистов корпорации работе в нем. Таким образом, осуществляется полное внедрение технологии космического радарного мониторинга смещений земной поверхности и сооружений на базе корпорации «Казахмыс». Применяемая схема обработки радарных снимков и первые результаты выполнения проекта на Жезказганском месторождении меди приводятся ниже.

Применяемая технология обработки радарных космических снимков – интерферометрия малых базовых линий «SBas» [2,3] – реализована в программном комплексе ENVI-SARscape. Рассмотрим подробно цепочку обработки на примере 17-проходной серии радарных снимков со спутника Radarsat-2 на территорию Жезказганского месторождения. Контур выполняемых съемок приведен на рисунке 2. Контур выполнения по согласованию с заказчиком был выбран таким образом, чтобы покрывать как само Жезказганское месторождение, так и два хвостохранилища, а также населенные пункты Сатпаев, Жезкаган, Рудник и др.

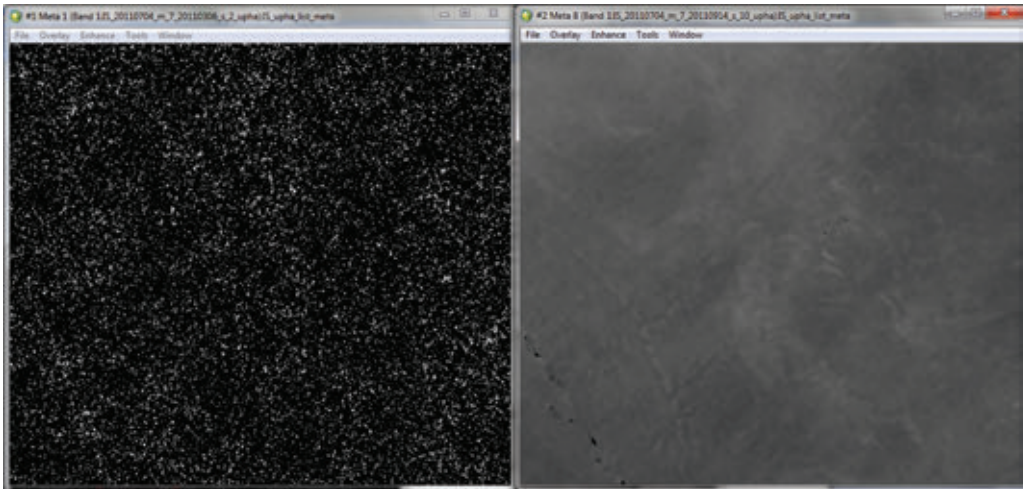


Рис. 4. Иллюстрация визуального отличия «рваной» (низкокогерентной) развернутой фазы (слева) от качественной (высококогерентной) фазы (справа)

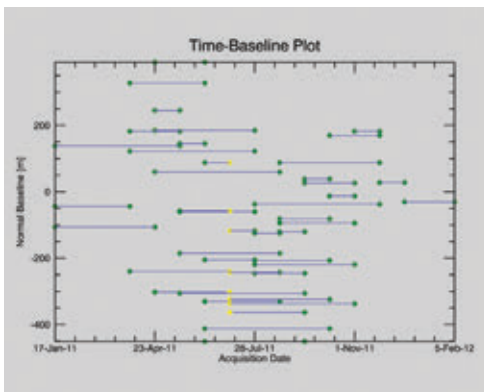


Рис. 5. 46 пар снимков, оставшихся для второй итерации обработки после визуального анализа рассчитанных на первом шаге 92 развернутых фаз и удаления из дальнейшей обработки выявленных низкокогерентных пар

Съемка выполняется с января 2011 года по настоящее время с периодом в 24 дня. Обработка снимков по методике SBAS предусматривает попарную интерферометрическую обработку большого количества перекрещивающихся во времени интерферометрических пар. Первым шагом обработки в SARscape, таким образом, является выбор пар для интерферометрической обработки из общего числа возможных

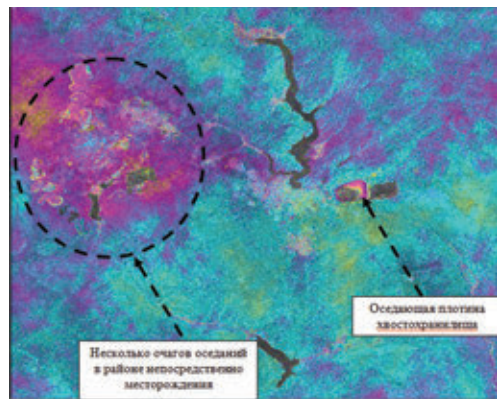


Рис. 6. Фильтрованная дифференциальная интерферограмма (разность фаз), построенная по паре снимков с разницей 72 дня. Один полный спектр цветов на такой интерферограмме соответствует смещениям, равным половине длины волны радара (длина волны RADARSAT-2 – 5,5 см)

пар по некоторым критериям (максимально допустимой базовой линии, максимально допустимого временного промежутка между съемками и др.). 17 повторных съемок – это $17 \times 16 / 2 = 136$ возможных пар снимков. Инструмент «Connection Graph» программы SARscape позволяет в интерактивном автоматизированном режиме выбрать пары для дальнейшей обра-

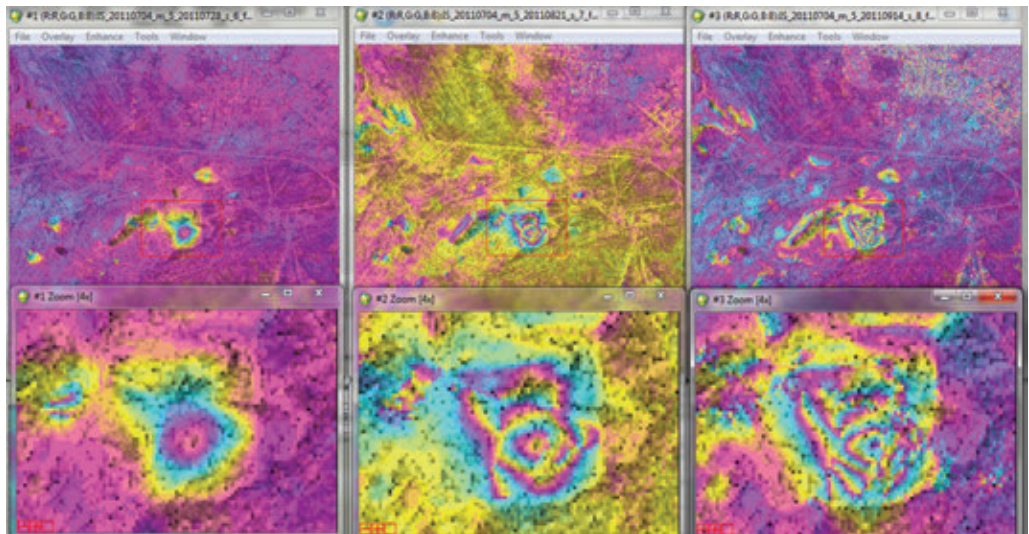


Рис. 7. Иллюстрация развития оседаний земной поверхности на интерферограммах. Сверху показана область внутри контура месторождения, на которой заметны несколько очагов смещений. Снизу — развитие во времени наиболее крупного из этих очагов (слева направо: смещения за 24, 48 и 72 дня соответственно)

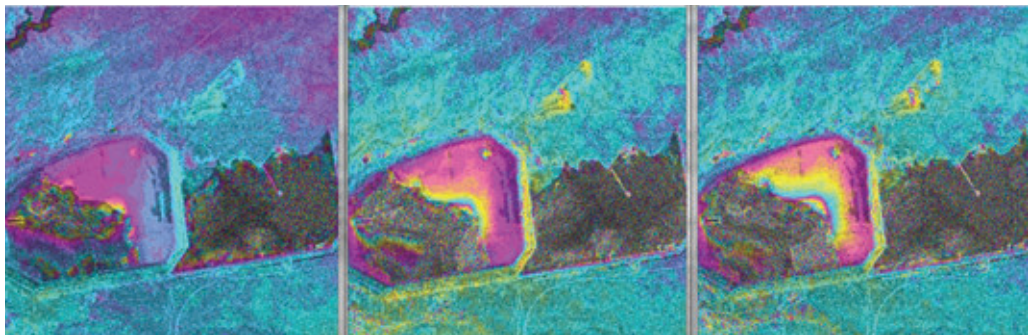


Рис. 8. Оседания плотины хвостохранилища за период (слева направо) в 24, 72 и 120 дней. Один спектр цветов — смещения в половину длины волны радара

ботки с учетом вышеуказанных критериев. Съемки, выбранные для обработки в нашем случае 17-проходной цепочки на Жезказганское месторождение, показаны на диаграмме на рисунке 3 в координатах «дата съемки – базовая линия».

Несложно заметить, что смещения за один и тот же анализируемый период вычисляются не по одной паре снимков, которая теоретически может содержать атмосферные артефакты, помехи за неточность

определения орбиты спутника, помехи, вызванные изменением влажности и шероховатости отражающей поверхности, сезонные эффекты, влияние растительности и т.д. Напротив, смещения за практически каждый рассматриваемый период анализируются по нескольким (и даже по многим) парам снимков. Это особенность технологии SBAS позволяет статистически удалить все вышеперечисленные помехи и наилучшим образом выделить именно полезный сигнал

(в нашем случае – смещения и деформации земной поверхности и сооружений).

Затем каждая пара в автоматизированном режиме прошла всю цепочку интерферометрической обработки (генерация интерферограммы, дифференциальной интерферограммы, фильтрованной дифференциальной интерферограммы и карты когерентности, затем развертка фазы) [2]. Эти операции были выполнены в автоматизированном режиме в рамках процесса SARscape «Interferogramm To Phase Unwrapping» после ввода 17 исходных снимков и выбора 92 пар для дальнейшей обработки.

Далее рассчитанные изображения 92 развернутых фаз были визуально проанализированы специалистами-обработчиками. При визуальном анализе, занимающем не более 15 минут, из дальнейшей обработки удаляются пары с «рваной» развернутой фазой и с низкой средней по кадру когерентностью фаз. Рисунок 4 иллюстрирует относительную простоту данной операции, выполняемой вручную средствами процедуры SARscape «Edit Connection Graph». Пары, оставшиеся для второй итерации обработки после удаления «рваных» фаз, показаны на рис. 5 (всего 46 пар).

Очень низкую когерентность по отношению ко всем остальным снимкам серии показали 2-ой, 3-ий и 16-й снимки цепочки. Удаление пар, построенных от этих снимков, из дальнейшей обработки вызвало уменьшение числа анализируемых пар (т.е. уменьшение числа независимых замеров смещений) в периоды январь—март 2011 г. и декабрь 2011—январь 2012 г. В эти периоды замер смещений выполнялся по 1 – 3 парам. В период с апреля по ноябрь 2011 г. замер смещений выполнялся по данным 5 – 15 независимых друг от друга наблюдений. Таким образом, наибольшая точность замера смещений достигнута именно на этапе наблюдений с апреля по ноябрь 2011 г. Однако, в принципе, значение смещений получено по состоянию на каждую дату съемки. Максимальная заявляемая точность замера смещений, а именно 2—4 мм, будет достигнута при наборе 30 проходов, то есть к концу 2012 г.

На оставшихся 46 развернутых фазах был выполнен предварительный анализ на предмет наличия, пространственной локализации и оценки величины смещений земной поверхности. Это было необходи-

мо, поскольку перед следующим этапом обработки необходим выбор стабильных контрольных точек, не подверженных смещениям. Даже беглый анализ 46 фильтрованных дифференциальных интерферограмм позволил выявить несколько основных очагов зарегистрированных смещений (рис. 6).

В первую очередь, это несколько очагов оседаний непосредственно внутри контура Жезказганского месторождения. Также совершенно явно определяются оседания плотины хвостохранилища, расположенного к востоку от г. Жезказган. Динамика смещений во времени на интерферограммах для одного из очагов внутри контура месторождения и для плотины хвостохранилища проиллюстрирована на рисунках 7 и 8.

На следующем этапе было выполнено создание файла контрольных точек, необходимых для следующего шага обработки, а именно, для коррекции орбитальных параметров съемки. Точки ставились равномерно по изображению, но не попадая в участки резкого перепада высот, а также в участки происходящих смещений земной поверхности. Высота точек бралась с ЦММ SRTM. После набора точек коррекции орбиты и автоматического выполнения этой коррекции для всех оставшихся 46 пар средствами процедуры SARscape «Orbital Re-finement and Re-flattening», была выполнена атмосферная коррекция интерферограмм, затем трехмерная развертка фазы в координатах «дальность – азимут – время» и, наконец, инверсия SBAs, позволяющая перейти от смещений за различные, перекрещивающиеся во времени периоды, к последовательным во времени смещениям — от первой съемки – к последней.

Получена результирующая карта смещений (рис. 9). В каждом пикселе этой растровой карты – смещения по состоянию на каждую дату съемки в миллиметрах. Динамика смещений для некоторых участков проиллюстрирована на рисунках 10 и 11.

Помимо смещений земной поверхности, анализировались смещения зданий и сооружений в населенных пунктах. Здания и сооружения являются стабильными отражателями радиолокационного сигнала. Пространственное разрешение выполняемых съемок позволило стабильно выявлять по несколько постоянных рассеивателей на каждом конкретном здании (углы между двумя стенами, между стеной и крышей и т.д.). Это позволило анализировать различия ско-

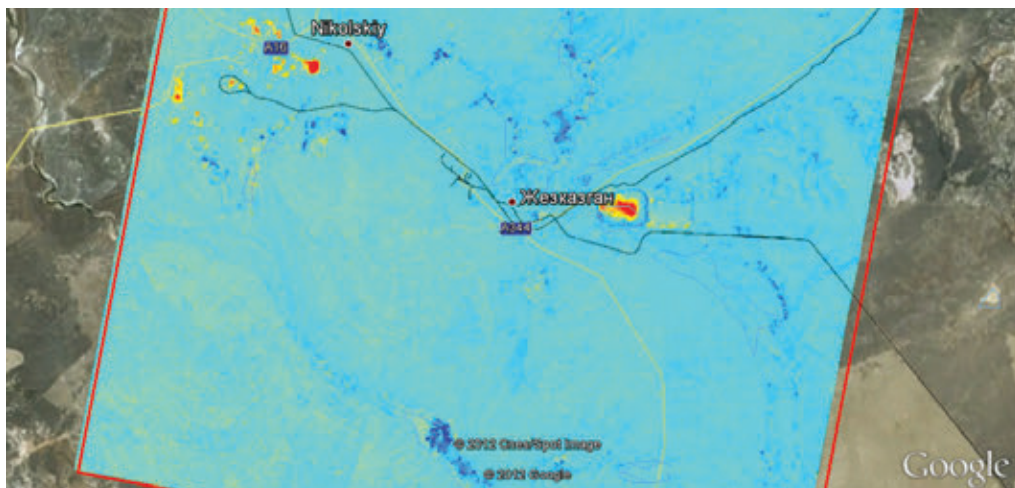


Рис. 9. Карта смещений земной поверхности за период с января 2011 г. по февраль 2012 г. Голубой цвет — стабильные участки, желтый и красный цвет — оседания земной поверхности

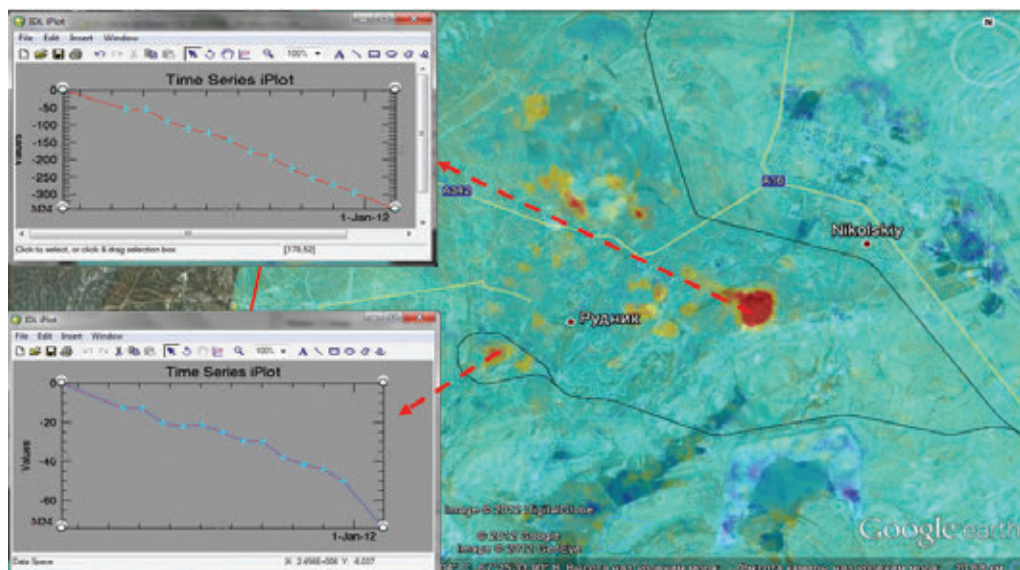


Рис. 10. Полупрозрачная карта смещений, наложенная на оптический снимок в интерфейсе Google Earth. Для двух точек, расположенных в центрах двух очагов оседаний, показаны графики оседаний в миллиметрах за весь период наблюдений

ростей смещений даже в пределах одного здания. Однако для полноценного анализа по методу постоянных рассеивателей (Persistent Scatterers Interferometry) все же необходимо не менее 30 съемок, поэтому анализ смещений зданий и сооружений

в населенных пунктах Сатпаев, Рудник, Жезказган и других будет выполнен при наборе 30 проходов (к концу 2012 г.). В дальнейшем (после набора 30 проходов), и по зданиям и сооружениям результаты будут поставяться с ежемесячной частотой.

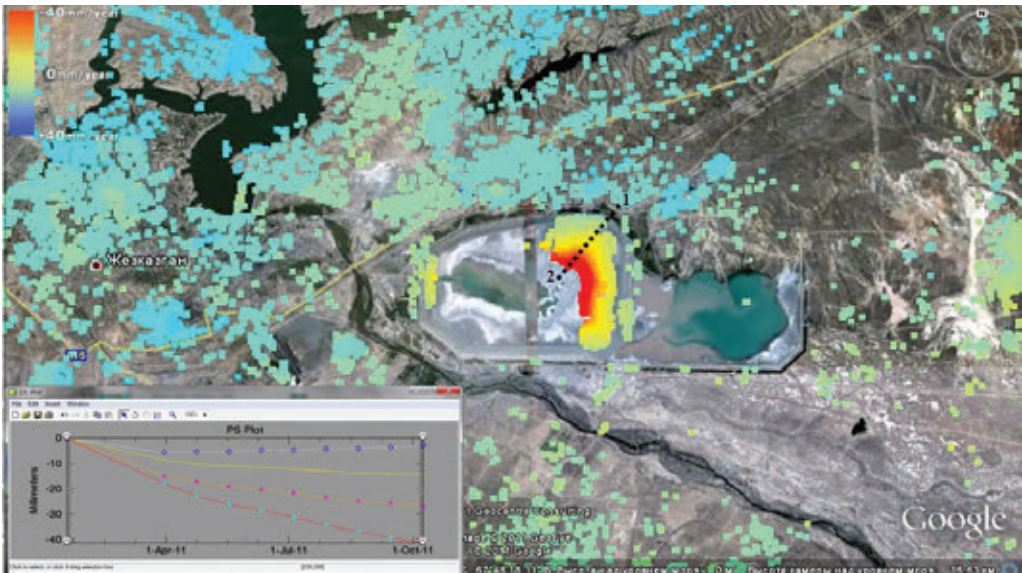


Рис. 11. Район хвостохранилища. Наиболее когерентные точки — постоянные рассеиватели радарного сигнала (естественные реперы для радара). Голубой цвет — стабильные точки, желтый и красный цвет — оседающие точки. Графики смещений для некоторых точек вдоль профиля 1–2, проведенного поперек плотины хвостохранилища, показаны в левом нижнем углу

В настоящее время, по состоянию на февраль 2012 г., опасных смещений непосредственно на территории населенных пунктов не выявлено.

Цифровые продукты обработки радарных снимков (растровые и векторные карты смещений и деформаций земной поверхности и сооружений), аналогичные приведенным на рисунках 9 —11, поставляются в корпорацию «Казахмыс» ежемесячно. Карты смещений и деформаций по зданиям и сооружений будут поставляться ежемесячно после набора 30-проходов. Информация поставляется в цифровом формате средствами электронной связи, что обеспечивает дистанционный мониторинг происходящих динамических процессов земной поверхности на Жезказганском месторождении меди и получение этой информации как добывающим предприятием в Жезказгане, так и головными подразделениями корпорации в г. Алматы.

Технология полностью отработана, ее применение для решения производственных задач полностью себя оправдало, точность замера смещений подтверждается локальными наземными верификационными наблюдениями, запланировано применение

радарной интерферометрической технологии космического дистанционного мониторинга смещений на других объектах корпорации «Казахмыс», а также обучение специалистов корпорации данной технологии, поставка программного обеспечения ENVI-SARscape и полноценное внедрение данной технологии на базе корпорации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.И. Герман, В.А. Мансуров. Прогноз обрушений на Жезказганском медном месторождении. Горный информационно-аналитический бюллетень. — №1.— 2010.— С. 95—104.
2. M. Richards. "A Beginner's Guide to Interferometric SAR Concepts and Signal Processing". IEEE Aerospace and Electronic, Vol. 22, No. 9, September 2007.
3. P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, E. Sansosti: "A new algorithm for surface deformation monitoring based on Small Baseline differential SAR Interferometry". IEEE Aerospace and Electronic, Vol. 40, No. 11, November 2002.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ВВЕДЕНИЕ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ГРУППИРОВКА СПУТНИКОВ COSMO-SKYMED

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

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

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

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

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

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

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

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

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

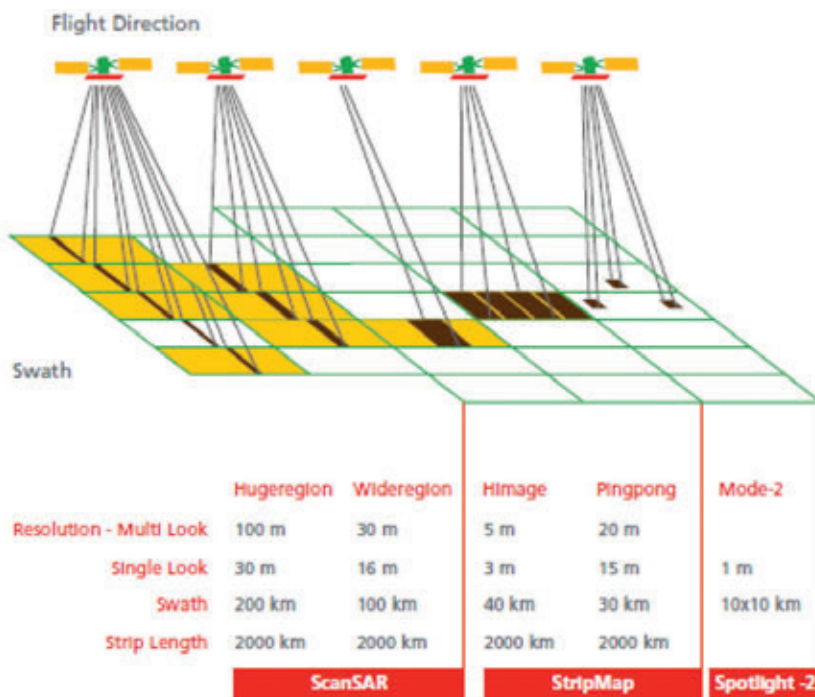


Рис. 1. Режимы съемки спутников COSMO-SkyMed

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

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

ТЕХНОЛОГИЯ

Формирование амплитудного изображения (картограммы коэффициента обратного рассеяния)

Процесс создания амплитудного изображения состоит из 4 этапов:

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

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

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

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

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

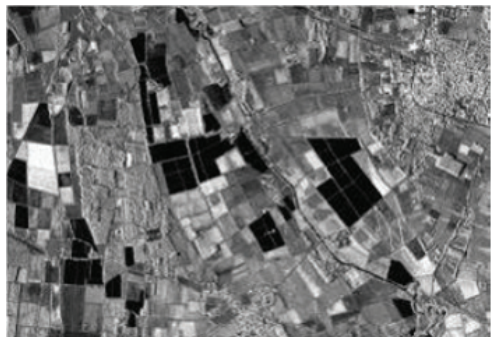


Рис. 2. Снимок COSMO-SkyMed, режим съемки Spotlight-2 (разрешение 1 м), одиночная поляризация HH. Градации серого цвета соответствуют значениям «сигма-ноль»

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

Амплитудное обнаружение и мониторинг изменений по данным двух съемок

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

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

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

Интерпретация композита следующая:

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

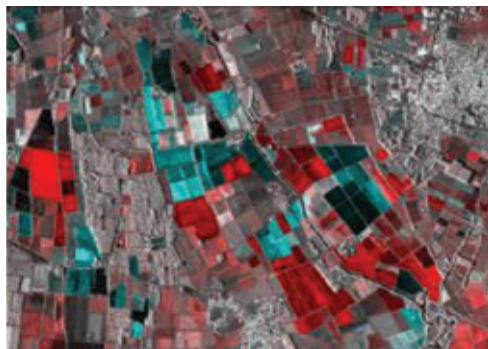


Рис. 3. Амплитудный мультивременной RGB-композит на район сельскохозяйственного землепользования, сформированный по интерферометрической паре снимков COSMO-SkyMed в режиме Spotlight-2 (разрешение 1 м). На территории возделывается рис

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

Амплитудное мультивременное изображение, составленное из трех съемок

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

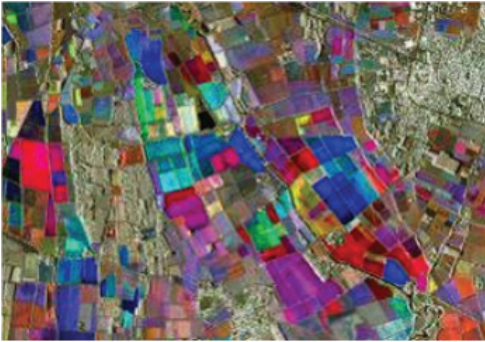


Рис. 4. Амплитудное мультитременное изображение, сформированное из трех снимков COSMO-SkyMed, сделанных в режиме Spotlight-2 (разрешение 1 м), с одинаковой геометрией и параметрами съемки. Различные цвета характеризуют различные стадии фенологического цикла возделывания риса

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

Когерентное мультитременное изображение

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

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

Кратко отметим следующие основные моменты:

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



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

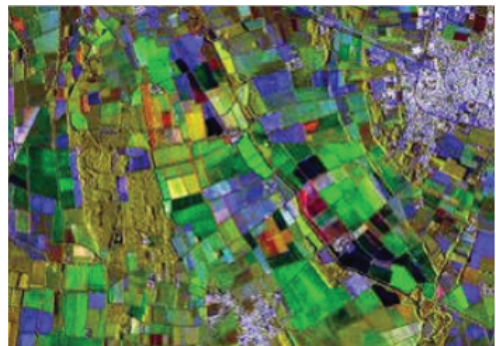


Рис. 6. МТС-изображение, сформированное по интерферометрической паре снимков COSMO-SkyMed, сделанных в режиме Spotlight-2 (разрешение 1 м): красный канал — первое по дате амплитудное изображение; зеленый канал — второе по дате амплитудное изображение; синий канал — картограмма когерентности фаз первого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

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

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

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

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

ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ: АСМЭРА (ЭРИТРЕЯ)

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

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

Один из рабочих пользовательских сценариев

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

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

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

В рамках такой ситуации могут быть предоставлены следующие сервисы:

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

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

В частности, основными задачами пилотного проекта были следующие:

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

метных на оптических снимках, но заметных на радарных снимках;

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

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

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

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

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

Выделение различных объектов и типов ландшафта территории на основе данных ДЗЗ было выполнено на площади около 150 км², а городские карты и

Таблица 1

Асмэра — данные ДЗЗ

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

мультивременные композиты обнаружения изменений были сформированы на территорию площадью около 25 км².

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

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

В частности, были выполнены следующие действия:

1. Получение и подготовка данных:
 - Изображение QuickBird.

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

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

Таблица 2

Выделяемые объекты и типы ландшафтов

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

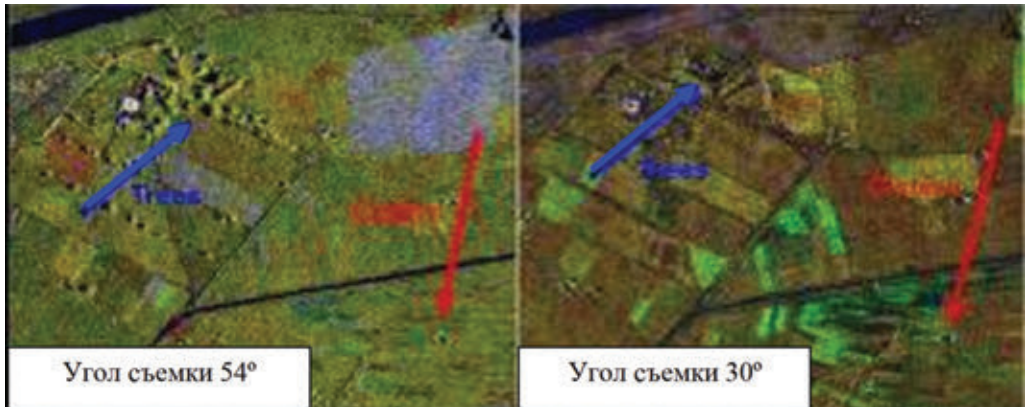


Рис. 7. Иллюстрация четкости отображения объектов (деревья и одиночный точечный объект) на радарных композициях МТС, полученных по снимкам COSMO-SkyMed с различными углами съемки

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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

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

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

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

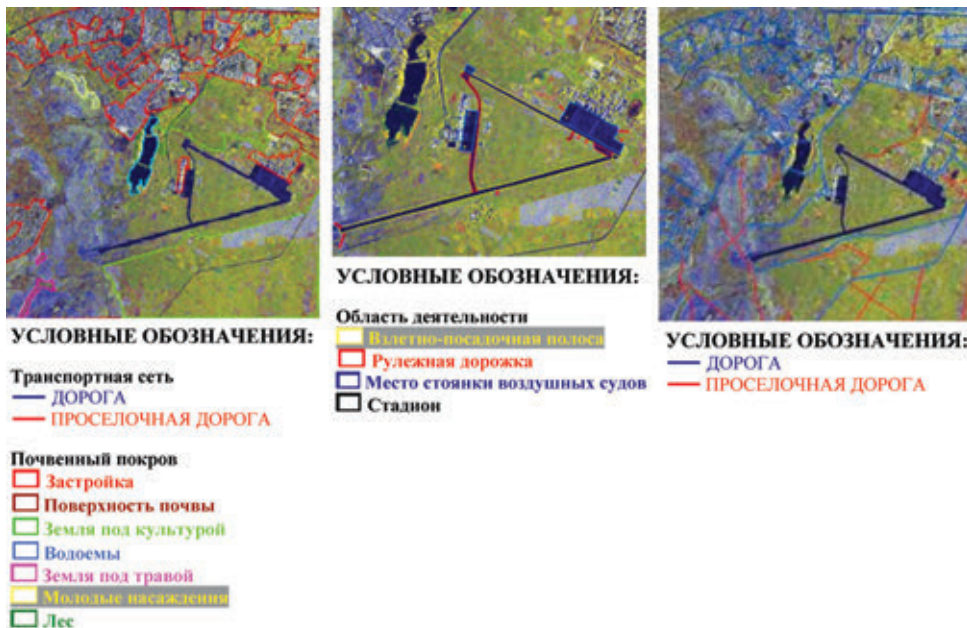


Рис. 8. Результаты интерпретации радарных композитов МТС, рассчитанных на основе снимков COSMO-SkyMed (Spotlight-2)

Е.Х. Аязбаев (НПЦ «Мекенсак»)

В 1971 г. закончил механический факультет Казахского химико-технологического института. В настоящее время – генеральный директор ТОО НПЦ «Мекенсак», кандидат химических наук.

О.А. Токжанов (НПЦ «Мекенсак»)

В 1972 г. закончил физико-математический факультет Гурьевского педагогического института. В настоящее время - заместитель начальника управления природных ресурсов и регулирования природопользования Мангистауской области Республики Казахстан.

Ю.И. Кантемиров (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работал младшим научным сотрудником лаборатории космической информации для целей газовой промышленности в ООО «Газпром ВНИИГАЗ». С 2010 г. работает в компании «Совзонд» ведущим специалистом отдела программного обеспечения.

Мониторинг нефтеразливов в акватории порта Актау с помощью космических радарных данных COSMO-SkyMed

ВВЕДЕНИЕ

В Каспийском море разрабатывается множество месторождений нефти и газа. Доказанные ресурсы нефти в Каспийском море составляют около 10 млрд т, общие ресурсы нефти и газоконденсата оцениваются в 18–20 млрд т.

Город Актау, расположенный на восточном побережье Каспийского моря, является крупным грузовым портом, и в частности единственным портом Казахстана, предназначенным для международных перевозок сырой нефти и нефтепродуктов. Космический мониторинг нефтеразливов в акватории такого крупного порта, как Актау, представляется крайне желательным, если не необходимым для поддержания экологической безопасности в регионе. Радарная космическая съемка, как не зависящая от облачности и освещенности, представляется идеальным источником геопространственной информации для такого мониторинга.

В 2011 г. компанией «Совзонд» совместно с научно-производственным центром «Мекенсак» (Республика Казахстан) был выполнен космический радарный мониторинг нефтеразливов в акватории порта Актау по данным спутниковой группировки COSMO-SkyMed

(Италия). Ниже приведем основные результаты выполненного мониторинга, рассмотрим особенности отображения нефтеразливов на радарных снимках, приведем примеры «ложных» нефтеразливов (look-alike) и опишем предлагаемый компаний «Совзонд» веб-сервис мониторинга нефтеразливов.

ТЕХНОЛОГИЯ

В настоящее время на орбите находится значительная группировка спутников дистанционного зондирования Земли. Данные космической съемки с радарных спутников, которые не зависят от облачности и освещенности, находят широкое применение для задач оперативного (с гарантированной периодичностью) мониторинга судоходства, буровых и добывающих платформ, ледовой обстановки, нефтеразливов и природных нефтяных пленок и т.д.

Физический смысл вышеперечисленных морских приложений радарных съемок заключается в том, что, с одной стороны, вода поглощает радарный сигнал, в то время как, например, суда, нефтегазовые платформы и айсберги являются хорошими отражателями. Поэтому эти объекты определяются на радарных снимках как яркие пиксели на темном фоне.

С другой стороны, радарная съемка реагирует на шероховатость отражающей поверхности. Это ее свойство позволяет определять природные и техногенные углеводородные пленки на поверхности воды (водная поверхность характеризуется волнением, тогда как нефтяные пятна на поверхности воды характеризуются более гладкой поверхностью). Этим объясняется то, что углеводородные пленки на поверхности воды отображаются областями черного цвета на фоне обычной водной поверхности серого цвета. Особенно этот эффект очевиден на радарных снимках, сделанных в поляризации VV.

Что касается мониторинга замерзающих акваторий (в том числе в северной части Каспийского моря), то здесь также возможно наблюдать за ледовой обстановкой (наблюдать за подвижками ледовых массивов, анализировать толщины, возраст и типы льдов, выявлять дрейфующие льдины и айсберги и т.д.).

Остановимся подробнее на результатах проекта по мониторингу нефтеразливов в акватории порта Актау, выполненного в 2011 г.

На первом этапе проекта компании «Совзонд» по согласованию с НПЦ «Мекенсак» были выбраны радарные спутники для выполнения мониторинга нефтеразливов. По сумме технических характеристик, а также с учетом значительных скидок на мониторинговые проекты, предоставляемых оператором спутниковой радарной группировки COSMO-SkyMed — компанией e-GEOS (Италия), именно эта группировка спутников была выбрана для осуществления мониторинга.

Затем был выбран оптимальный режим съемки (ScanSAR Huge Region, пространственное разрешение – 30 м, сцена – 200 x 200 км). Поскольку основной задачей было выявление нефтеразливов, то съемки были запланированы в поляризации VV. Далее заказчиком работ — НПЦ «Мекенсак» — была определена необходимая частота съемок (два раза в месяц). Здесь следует отметить, что технически максимально возможная частота съемок одной и той же территории спутниками группировки COSMO-SkyMed может быть ежедневной и даже достигать нескольких раз в сутки (в случае такой необходимости).

Съемки были запланированы и выполнены в следующие даты: 04.07.2011; 12.07.2011; 05.08.2011; 21.08.2011; 06.09.2011; 22.09.2011; 02.10.2011; 24.10.2011.

Каждый снимок после выполнения съемки поступал в центр обработки радарных данных компании «Совзонд» в виде амплитудного снимка в радарной геометрии «дальность/азимут». Далее к каждому снимку применялась последовательность операций предварительной обработки, отображается на рисунке 1.

Благодаря возможностям автоматизации, реализованным в программном комплексе SARscape, данная операция не выполнялась по отдельным шагам, а выполнялась в виде один раз записанной последовательности шагов (функция упрощенного IDL-программирования последовательностей шагов обработки SARscape).

Далее каждый снимок анализировался визуально специалистами по обработке радарных данных компании «Совзонд». Все визуально заметные относительно темные области на поверхности воды интерпретировались дешифровщиками. Те темные области, которые были интерпретированы как нефтеразливы, оконтуривались векторным полигоном. Далее каждому полигону (нефтеразливу) присваивались определенные атрибуты (площадь, периметр, дата и время обнаружения и т.д.). По каждому снимку составлялись краткие информационные отчеты, содержащие информацию о выделенных нефтеразливах, а также описание так называемых пятен «look-

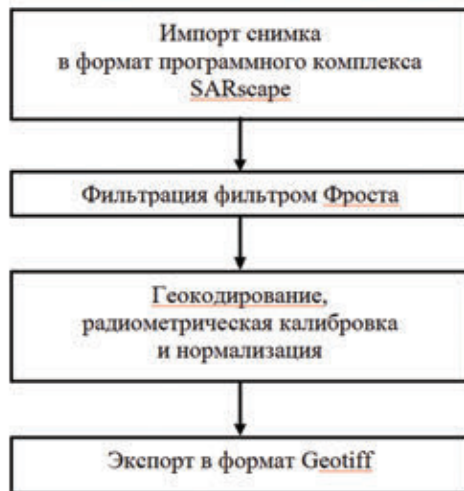


Рис. 1. Блок-схема предварительной обработки радарных данных COSMO-SkyMed

«look-alike», или ложных нефтеразливов, обнаруженных на данном снимке.

Далее снимок, векторные слои нефтеразливов и отчет об интерпретации каждого снимка отправляются через Интернет заказчику — НПЦ «Мекенса».

ПРИМЕРЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РАДАРНЫХ СНИМКОВ COSMO-SKYMED АКВАТОРИИ ПОРТА АКТАУ

В процессе интерпретации снимков COSMO-SkyMed были выявлены как реальные нефтеразливы, так и темные пятна другой природы (так называемые «look-alike»), не являющиеся нефтеразливами. Приведем несколько примеров интерпретации этих радарных снимков.

На рис. 2 приведены чередующиеся темные и

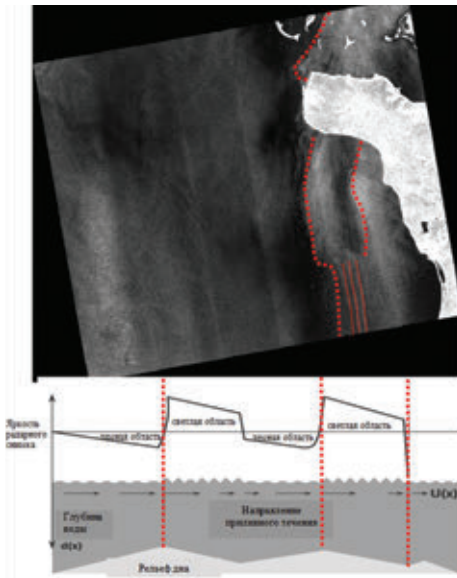


Рис. 2. Снимок от 04.07.2011 с нанесенными на него основными градиентными границами темных и светлых областей (красный пунктир), а также со схематичной интерпретацией, объясняющей возникновение этих ярких и темных участков. То, что эти участки наиболее ярко проявились на этом снимке, может быть объяснено, вероятно, сильным приливным течением именно 04.07.2011, которое наиболее контрастным образом подчеркнуло структуру морского дна

светлые области на радарном снимке от 04.07.2011, вероятно, объяснимые рельефом дна.

В западной и северо-западной части снимка от 05.08.2011, приведенного на рис. 3, заметны чередующиеся светлые и темные пятна. По мнению авторов, это грозовые облака со значительным размером конденсирующихся капель (у спутников COSMO-SkyMed длина волны составляет 3,1 см, т.е. радарный сигнал этих спутников может быть чувствителен к плотным грозовым облакам), а также тени от них. Направление луча радара – с юго-запада на северо-восток (зеленая стрелка). Три облака показаны красными стрелками, тени от них – синими. Еще несколько облаков отдешифрировано в северо-западной части снимка (они заметны при выполнении контрастирования по этой части снимка), а также еще одно облако по центру снимка. Следует отметить, что присутствие облаков заметно только на этом снимке от 05.08.2011 и ни на одном другом и что заметность облаков на радарных снимках является очень редким исключением.

На рис. 4 показаны следы от движущегося вблизи побережья катера, дешифрируемые на снимке от 21.08.2011.

На снимке от 22.09.2011 (рис. 5) обнаружено 6 нефтеразливов на поверхности воды (показаны крас-

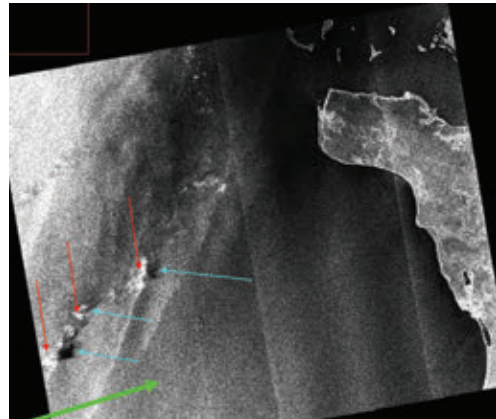


Рис. 3. Снимок COSMO-SkyMed от 05.08.2011. Направление луча радара показано зеленой стрелкой. Красными стрелками показаны плотные грозовые облака, синими стрелками – тени от них

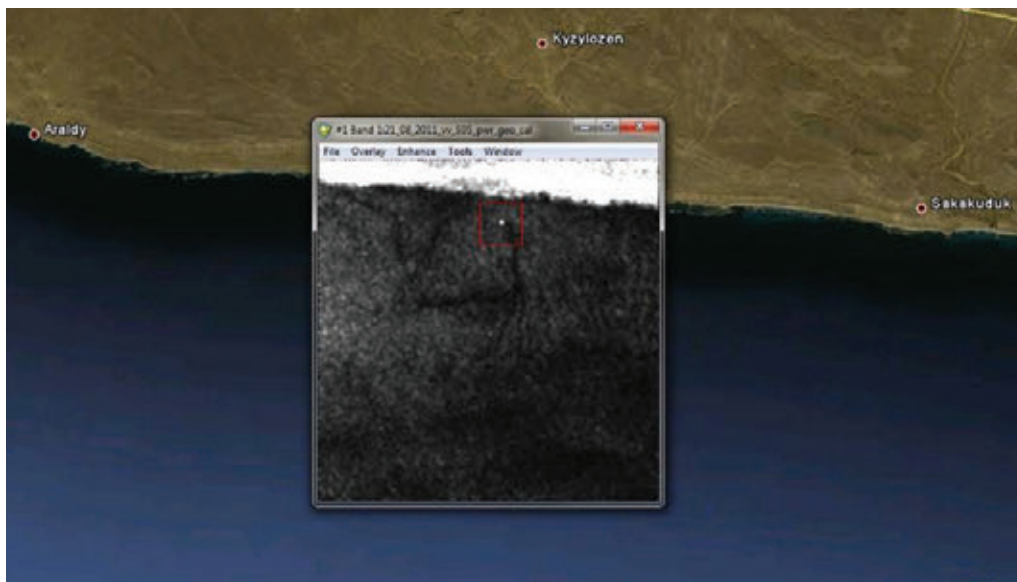


Рис. 4. Темные следы из вспенившейся воды от движущегося вблизи побережья катера на снимке от 21.08.2011

ными стрелками), в том числе два нефтеразлива непосредственно в районе порта Актау. Кроме того, на снимке присутствует крупная область так называемых «черных вихрей» (обведена зеленым пунктиром), которые часто неправильно интерпретируются как нефтеразливы. Вероятнее всего, эта темная область объясняется большим скоплением биогенных углеводородных пленок. Также на снимке присутствует крупная структура течения, пересекающая весь снимок (пунктир голубого цвета) и объясняющаяся рельефом дна. Область «черных вихрей» показана крупным планом на рис. 6. Два из шести нефтеразливов, обнаруженных на снимке от 22.09.2011, показаны на рис. 7. Все шесть обнаруженных нефтеразливов поставлены заказчику в виде векторного полигонального шейп-файла, в атрибутах каждого нефтеразлива записаны площадь разлива в кв. км, дата и время обнаружения.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВНЕДРЕНИЮ ОПЕРАТИВНОГО ВЕБ-СЕРВИСА ВЫЯВЛЕНИЯ НЕФТЕРАЗЛИВОВ

По результатам выполненного в 2011 г. космического радарного мониторинга акватории порта Актау,

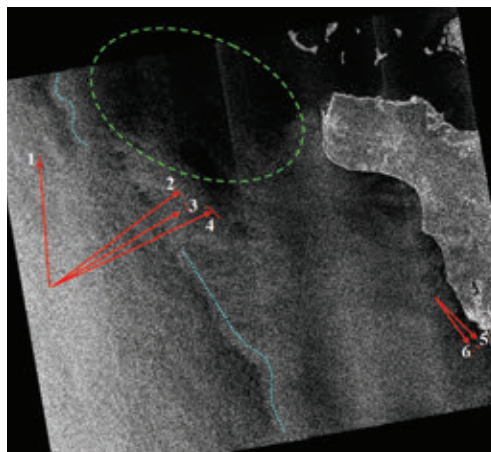


Рис. 5. Снимок COSMO-SkyMed от 22.09.2011. Шесть выявленных нефтеразливов показаны красными стрелками. Зеленым пунктиром на севере снимка показана крупная область так называемых «черных вихрей», объяснимая большим скоплением биогенных углеводородных пленок. Синим пунктиром показано чередование ярких и темных участков, объясняющееся рельефом дна

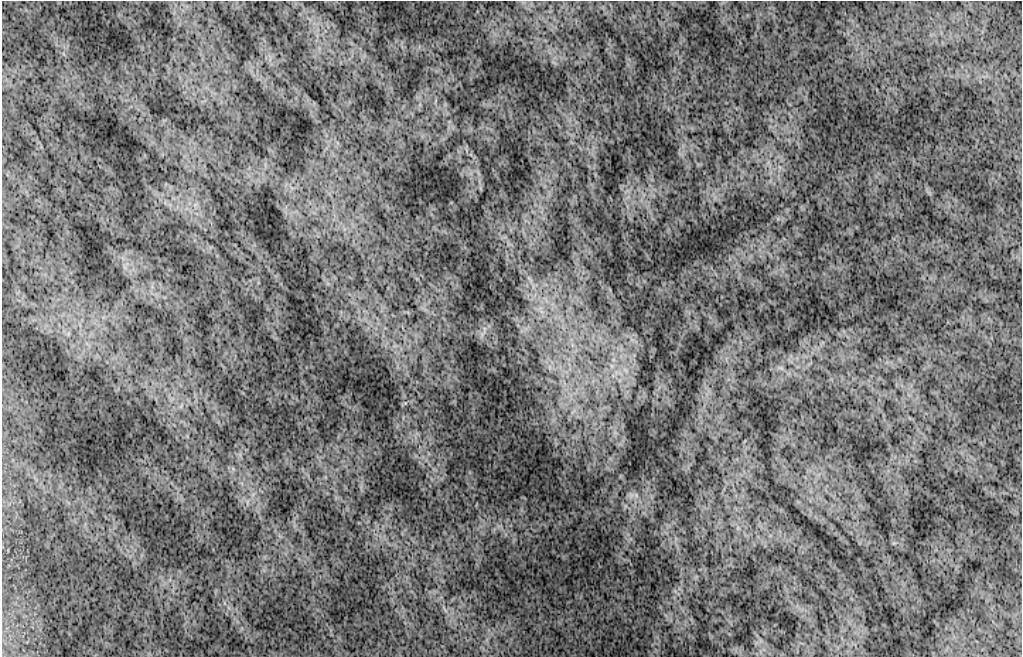


Рис. 6. Область так называемых «черных вихрей» в северной части снимка от 22.09.2011, представляющая собой крупное скопление биогенных углеводородных пленок, часто неправильно интерпретируемых как нефтеразливы

некоторые результаты которого были показаны выше, компанией «Совзонд» предложен план по внедрению оперативного веб-сервиса мониторинга нефтеразливов на базе данных COSMO-SkyMed.

Основные характеристики предлагаемого веб-сервиса следующие:

- нефтеразливы обнаруживаются круглосуточно, независимо от погодных условий;
- обнаруживаются нефтеразливы различного размера и возраста;
- могут быть обнаружены нефтяные пленки линейными площадными размерами от 50–100 м и более;
- данные по обнаруженным нефтеразливам могут предоставляться заказчику через веб-интерфейс круглосуточно 7 дней в неделю, 365 дней в году;
- в качестве исходных данных могут быть использованы данные как одной спутниковой радарной системы (COSMO-SkyMed), так и сразу нескольких;
- максимально возможная частота спутниковых съемок одной и той же территории до нескольких раз в сутки;
- для региона Каспийского моря информация о нефтеразливах становится доступной через веб-интерфейс в течение суток после съемки (либо необходима установка приемной станции в этом регионе для более быстрого приема и обработки снимков COSMO-SkyMed).

Интерфейс веб-сервиса представляет собой цифровую картографическую основу, на которую выкладываются квик-луки радарных снимков, а также векторные слои нефтеразливов. На каждый нефтеразлив составляется *html отчет, содержащий следующую информацию:

- географические координаты центра нефтеразлива;
- дата и время обнаружения;
- пространственная ориентация;
- размеры нефтеразлива (периметр, площадь);
- форма нефтеразлива;
- скорость ветра в районе нефтеразлива, определенная по данным метеорологических спутников и

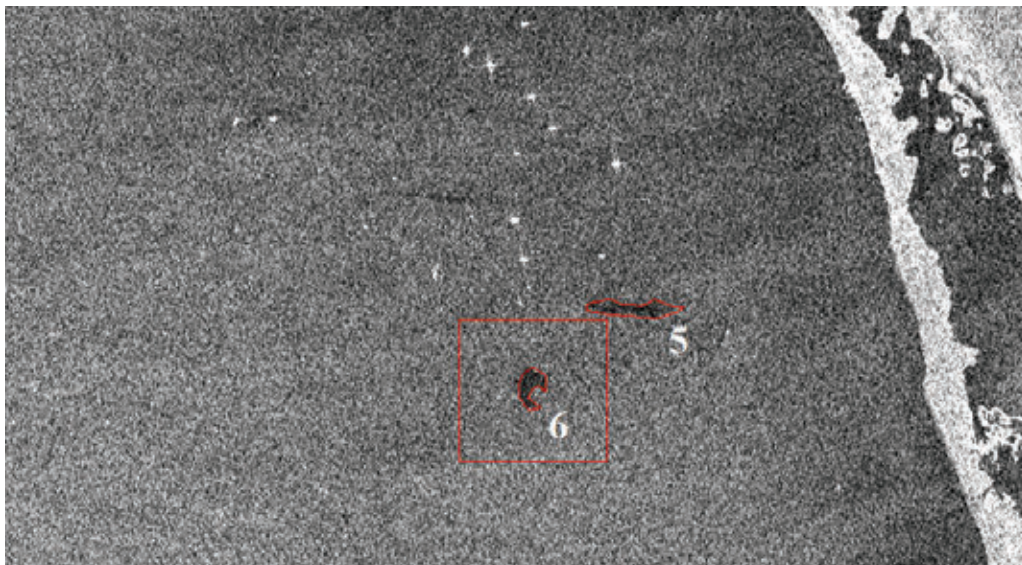


Рис. 7. Два из шести нефтеразливов в районе порта Актау, отдешифрованных на снимке от 22.09.2011

по самому радарному снимку;

- данные по волнению морской поверхности в районе нефтеразлива, определенные по данным метеорологических спутников и по самому радарному снимку;
- скорость течения в районе нефтеразлива;
- температура поверхности воды в районе нефтеразлива;
- степень достоверности нефтеразлива (условно: низкая, средняя, высокая);
- в случае предоставления заказчиком данных систем автоматической идентификации судов информация о возможном судне – источнике нефтеразлива (за счет корреляции нефтеразлива с маршрутами судов).

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Существует большой выбор средств наблюдений (коммерческих радарных спутников) для выявления нефтеразливов на водной поверхности, в том числе для группировки COSMO-SkyMed (e-GEOS, Италия) уже утвержден план поддержания группировки радарных спутников на орбите минимум до 2025 г., включающий запуск новых че-

тырех спутников начиная с 2015 г. (в дополнение к четырем уже действующим спутникам).

2. Технология мониторинга нефтеразливов с помощью радарных космических снимков широко применяется с начала 1990-х гг. и на сегодняшний день позволяет выявлять нефтеразливы независимо от облачности и освещенности с частотой до нескольких раз в сутки.

3. Поставляемые вместе с векторным слоем нефтеразливов метеорологические и океанографические данные позволяют заказчику при необходимости прогнозировать и моделировать развитие нефтеразлива во времени.

4. Заказчик может как использовать сам веб-сервис, так и зачислять исходные радарные снимки и контура нефтеразливов в обменных растровых и векторных форматах.

5. Стоимость сервиса выявления нефтеразливов значительно снижается с увеличением числа съемок. Так, стоимость за один снимок в рамках сервиса при ежедневной съемке в течение года примерно в два раза меньше, чем стоимость снимка в рамках сервиса при заказе, например, 12 съемок.

В.М. Котов (Объединенный институт ядерных исследований)

В 1963 г. окончил Харьковский авиационный институт по специальности «радиоинженер». В настоящее время — ведущий научный сотрудник Объединенного института ядерных исследований.

Н.А. Русакович (Объединенный институт ядерных исследований)

В 1975 г. окончил Белорусский государственный университет по специальности «физика». В настоящее время — главный ученый секретарь Объединенного института ядерных исследований.

Система удаленного мониторинга экспериментов Большого адронного коллайдера

Сбор, предварительная обработка и анализ данных, полученных при дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ) с помощью космических радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), связаны с накоплением и обработкой информации, объемы которой в десятки тысяч раз превышают средний уровень потребностей и достигают десятков терабайт в год.

С 90-х гг. прошлого столетия пользователи имеют возможность получать данные космических аппаратов, имеющих РСА (Envisat, RADARSAT, TerraSAR, COSMO-SkyMed), уже собран большой архив таких данных [1].

В настоящее время и в России в рамках Федеральной космической программы ведется разработка космических аппаратов («Метеор-М №3», «Аркон-2М»), оснащенных многофункциональной РСА с активной фазированной антенной решеткой, характеристики которой соответствуют характеристикам современных РСА [2].

Традиционные подходы к разработке инфраструктуры и обработки таких объемов данных (получивших название «большие данные») не годятся. Необходимы новые подходы к обработке и анализу данных для современных РСА, в том числе и реализация интерактивного взаимодействия в режиме удаленного доступа для многоуровневой, распределенной географически вычислительной системе обработки данных.

Аналогичная проблема стояла и в области экспериментальной физики высоких энергий еще в 90-е гг. прошлого столетия при формировании программы исследований крупнейшего проекта современности в

области фундаментальной науки: создании Большого адронного коллайдера (БАК) в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН), г. Женева, Швейцария.

В результате многолетней работы большого коллектива физиков, инженеров и программистов в ЦЕРНе была разработана, отлажена, запущена и успешно работает второй год в режиме реальных измерений на пучках ускорителя БАК система сбора и обработки данных эксперимента ATLAS БАК, объединяющая в единую систему все компоненты обработки, управления и передачи «больших данных» (это передача и фильтрация в реальном времени 100 Gb/s и офлайн-обработка и анализ экспериментальных данных объемом в десятки петабайт в год) [3].

Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ) является участником программы исследований на БАК. Важной составляющей такого участия в обработке и анализе данных, получаемых в экспериментах на БАК, является создание в ОИЯИ системы удаленного доступа реального времени (СУДРВ) и интеграция ее в глобальную сервис-ориентированную архитектуру GRID-системы сбора и обработки данных экспериментов на БАК [4].

На сегодня не существует технологии, обеспечивающей необходимую функциональность и эффективность обработки таких потоков и объемов экспериментальных данных в одной системе. Поэтому система сбора и обработки данных эксперимента ATLAS БАК была разделена на два уровня: онлайн — сбор и предварительная обработка — и офлайн — полная

Generic Data Acquisition and Computing system

No technology today provides the functionality and performance required by the complexity of the interconnections and the overall throughput

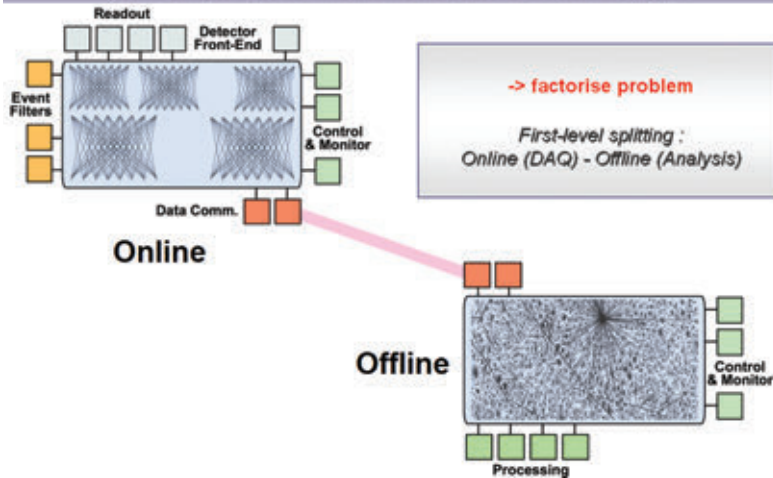


Рис. 1. Общая система онлайн и офлайн

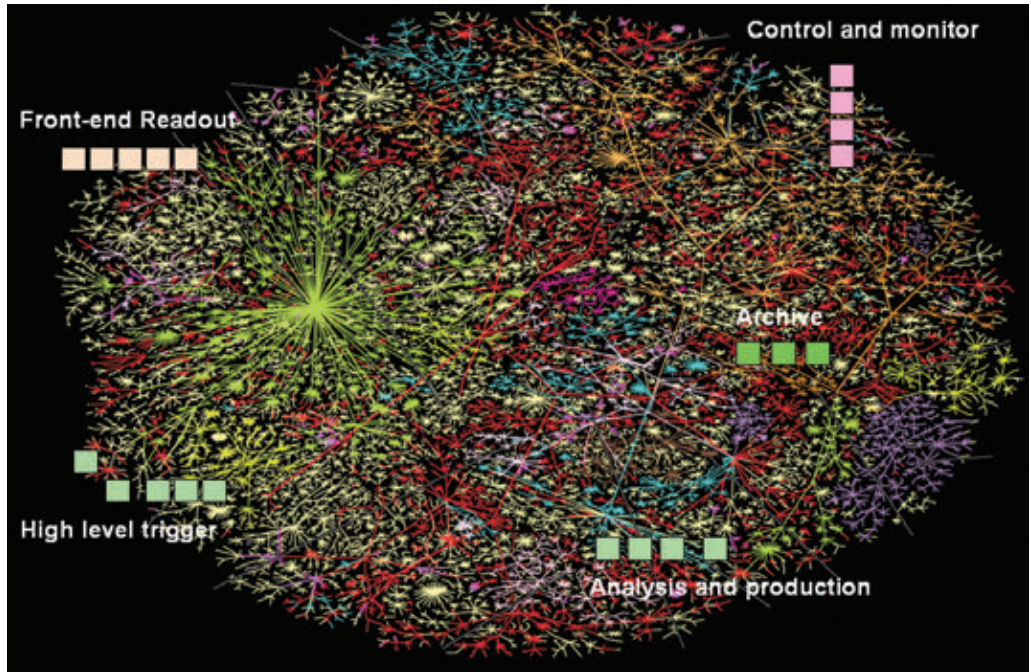


Рис. 2. Система офлайн-обработки

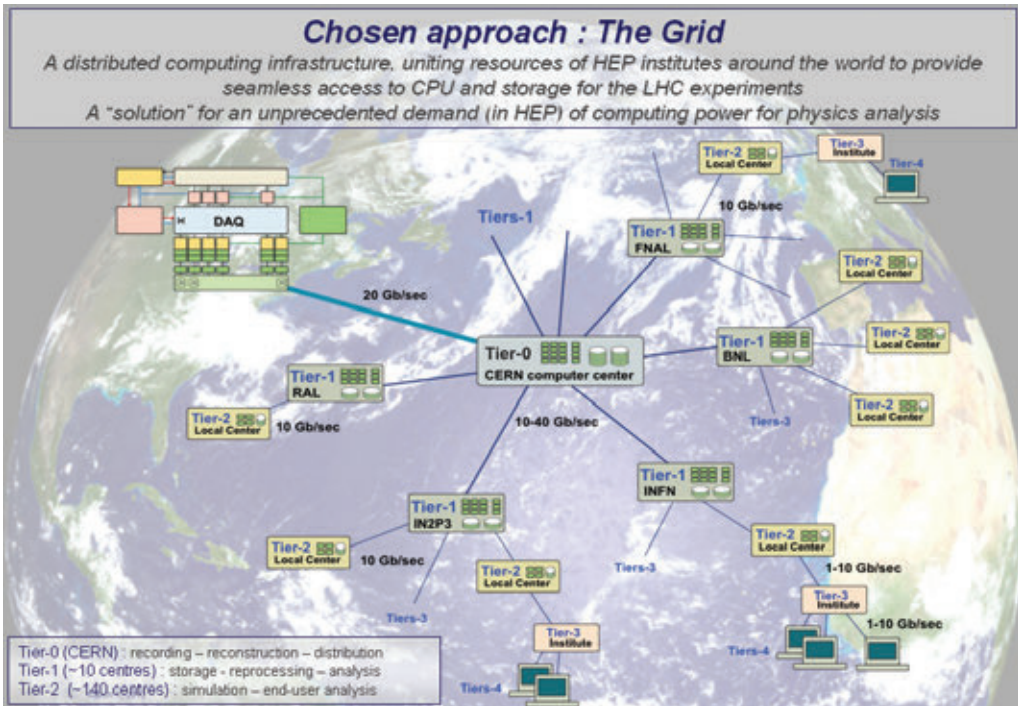


Рис. 3. ГРИД-система обработки данных экспериментов на БАК

обработка и анализ (рис. 1, 2).

Офлайн-обработка требует необычно больших вычислительных ресурсов (примерно 100 000 самых мощных на сегодня процессоров или 150 Kcores) и была реализована в ГРИД-системе (рис. 3).

Показанная в левом верхнем углу на рис. 3. система DAQ и есть онлайн-составляющая системы по сбору и предварительной обработке входных данных.

Опыт разработки и реализации системы сбора и обработки данных экспериментов на БАК может быть использован при создании систем обработки данных в системах ДЗЗ, и в частности для данных, полученных с помощью космических радиолокаторов с синтезированной апертурой.

Современная архитектура наземной географической распределенной системы обработки данных SAR (Synthetic Aperture Radar), предлагаемая Европейским космическим агентством (ESA), также имеет уровень предварительной обработки входных данных, необходимость которой определяется особенностью фор-

матов и структурой данных SAR для выполнения в последующем полного цикла обработки информации с SAR в пакетном режиме. Кроме того, структура радарных данных позволяет проводить эффективный анализ на уровне первичной обработки радиолокационных изображений, оперируя изображением в целом как образом для быстрого опознания и анализа некоторого класса объектов и их характеристик в интерактивном режиме.

ESA в октябре 2007 г. заключило договор с канадской фирмой Aray Systems Computing на разработку инструментального программного обеспечения и с 2010 г. поставляет комплект программного обеспечения с открытым исходным кодом NEST (Next ESA SAR Toolbox) [5], включающий в себя функциональность всех предыдущих версий инструментального ПО BEST, BEAM и др. Состав пакета NEST, компоненты и потоки данных приведены на рис. 4.

По условиям технического задания ESA инструментарий NEST предназначен для помощи в подго-

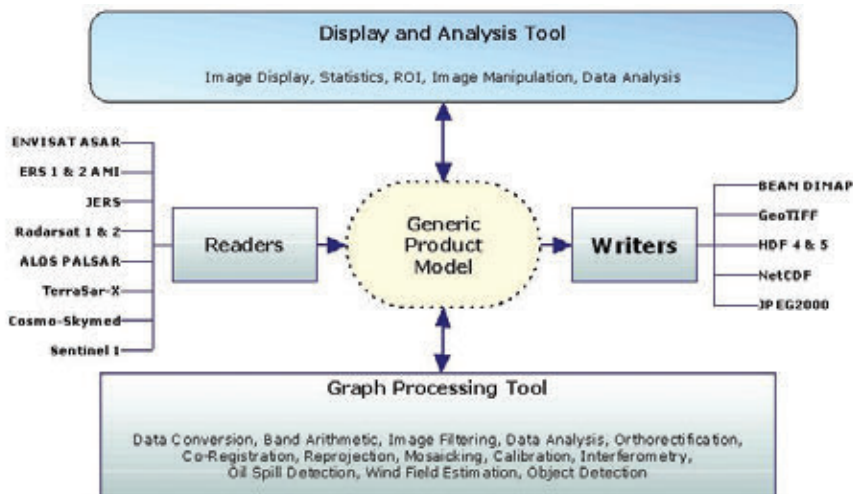


Рис. 4. Компоненты и потоки данных программного комплекса NEST

товке элементов системы обработки данных SAR, но не является SAR-процессором или готовой системой обработки SAR-данных в полном технологическом цикле.

Вместе с тем NEST как программа с открытым исходным кодом, или, как принято обозначать это движение в России, свободное программное обеспечение (СПО), имеет четыре свободы, в частности разрешает не только изучать и свободно изменять такие программы («нулевая» и «первая» свободы СПО), но и свободно распространять как копии программы («вторая свобода»), так и измененные версии с тем, чтобы принести пользу всему сообществу («третья свобода»). Может быть, поэтому функционалы известных на рынке программных продуктов для обработки радарных данных практически идентичны.

Однако современные тенденции, а тем более будущее развитие программ глобального мониторинга окружающей среды невозможны без широкого международного сотрудничества, и поэтому самым эффективным способом реализации возможностей NEST является его использование в составе PaaS (Platform as a Service), имеющей также открытый код, для разработки, тестирования, развертывания и поддержки полномасштабной системы сбора и обработки данных с космических локаторов PCA, реализующей полный технологический цикл обработки радар-

ных данных. Предполагается в составе PaaS реализовать набор инструментов для отображения и частичной обработки радарных снимков в среде ArcGIS.

В качестве основы для разработки прототипа подобной PaaS предлагается использовать систему удаленного доступа реального времени (СУДРВ) ОИЯИ. СУДРВ представляет собой композитный сервис ГРИД-системы и является фрагментом общей системы обработки данных эксперимента ATLAS БАК [6]. Согласно планам развития информационной инфраструктуры экспериментов БАК ЦЕРН и в соответствии с концепцией «облачных вычислений», где все есть Сервис (XaaS), СУДРВ ОИЯИ будет применяться как PaaS для дальнейшего развития системы обработки данных эксперимента ATLAS на БАК.

Кроме того, в соответствии с концепцией «Открытой инновационной лаборатории» эксперимента ATLAS-LAB (ATLAB) на рабочем совещании ЦЕРН—ОИЯИ «Brainstorming workshop on applications from ATLAS using EU-funding for R&D-upgrades» в г. Дубне 24 октября 2010 г. по обсуждению доклада ОИЯИ «Real time remote access system for ATLAS» было поддержано предложение о возможности прикладного использования СУДРВ ОИЯИ в области космического мониторинга, проводимых совместно с ЦЕРН при поддержке ESA.

В настоящее время обсуждается возможность включения партнерства ЦЕРН—ОИЯИ в состав миссии содействия программы Global Monitoring for Environment and Security (GMES). Программа GMES, проводимая Европейским агентством окружающей среды (European Environment Agency, EEA) в партнерстве с ESA, предполагает создание единой системы, объединяющей данные наблюдений на суше, море и в атмосфере с данными космического мониторинга, от успешного использования которых в значительной степени будет зависеть успех программы в целом.

Основой космической составляющей GMES будут не только спутники Sentinel, специально создаваемые для этой программы (оператор ESA), но и другие национальные и международные спутниковые системы ДЗЗ, партнерство с которыми будет оформлено как миссии содействия GMES (GMES Contributing Missions (GCMs)).

Структура программного обеспечения СУДПВ и NEST использует объектноориентированный подход проектирования и соответствует стандарту PSS05 ESA. Объединение NEST и СУДПВ в единую платформу обеспечит интеграцию NEST в общую систему ГРИД-обработки данных экспериментов БАК, а значит, и возможность отладки в последующем и оффлайн-режима обработки данных космического мониторинга в географически распределенной вычислительной системе ГРИД-обработки и партнерство с участием ESA и ЦЕРН.

Следует отметить, что, кроме инструментария NEST, отражающего специфику обработки радарных данных, предлагаемая платформа PaaS будет обеспечивать также доступ к сервисам сбора и обработки данных, необходимых для функционирования NEST в составе СУДПВ.

В качестве базового ядра предлагаемой системы удаленного доступа для сбора и обработки космической радиолокационной информации предполагается использовать набор компонентов из системы сбора и обработки данных в реальном времени эксперимента ATLAS БАК [7].

Интеграция инструментального пакета NEST ESA и системы удаленного доступа СУДПВ ОИЯИ позволит создать развитую платформу (PaaS) для разработки прототипов (макетов) систем предварительной обработки радарных данных космических лока-

торов с синтезированной апертурой высокого разрешения и отладки их в условиях реальной работы в большой географически распределенной вычислительной ГРИД-системе обработки данных экспериментов на БАК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кантемиров Ю.И. (Компания «Совзонд»), Обзор современных радиолокационных данных ДЗЗ и методик их обработки с использованием программного комплекса SARSCAPE
2. Костюк Е.А., Веремчук Ю.А., Денисов П.В. Перспективные технологии обработки космической радиолокационной информации в НКПОР Оператора КС ДЗЗ // V Международная конференция «Космическая съемка — на пике высоких технологий».
3. Mapelli L. Spanning from Data Acquisition to GRID – Today and a view of tomorrow. // XXIII International Symposium on Nuclear Electronics & Computing NEC'2011.
4. Кореньков В.В., Котов В.М., Русакович Н.А., Яковлев А.В., Система удаленного доступа реального времени (СУДПВ) как композитный сервис распределенной ГРИД-системы обработки данных экспериментов на Большом Адронном Коллайдере (БАК) // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ, 2010): Труды международной научной конференции (Уфа, 29 марта – 2 апреля 2010 г.).
5. Software Architecture Document (SAD) for the Next ESA SAR Toolbox (NEST) (ARR-NEST-RS07-016); http://www.array.ca/nest/Software_Architecture_Document_v2.0.pdf
6. Кореньков В.В., Котов В.М., Русакович Н.А., Яковлев А.В., Модель и технология интеграции online-сервисов эксперимента ATLAS на Большом Адронном Коллайдере (БАК) и сервисов ГРИД-инфраструктуры // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ, 2011): труды международной научной конференции (Москва, 28 марта – 1 апреля 2011 г.).
7. ATLAS High-Level Trigger, Data Acquisition and Controls. Technical Design Report (ATLAS TDR-016); <http://atlas-proj-hlttdaqdcs-tdr.web.cern.ch/atlas-proj-hlttdaqdcs-tdr/tdr-v1-r4/PDF/TDR.pdf>



KONGSBERG SPACETEC AS
 Prestvannveien 38 P.O.Box 6288
 NO-9292 TROMSØ - NORWAY
 Tel: +47 77 66 08 00
 Fax: +47 77 65 58 59

E-mail: marketing@spacetec.no
 Website: www.spacetec.no



KONGSBERG

www.spacetec.no

KONGSBERG SPACETEC - является ведущим мировым поставщиком наземных станций для сбора данных со спутников дистанционного наблюдения Земли и метеорологических спутников, в том числе производство дополнительных приложений (для оптических датчиков и SAR). Мы имеем более чем 25-летний опыт поставки и установки собственных систем, сертифицированных по стандарту ISO 9001. Kongsberg Spacetec находится в Тромсе, Северная Норвегия.

Kongsberg Spacetec является частью технологической международной корпорации KONGSBERG, общий годовой доход которой 13,8 млрд. норвежских крон. KONGSBERG имеет офисы в 25 странах мира и около 5500 сотрудников.



Kongsberg Spacetec обеспечивается:

- Метеорологические системы под ключ и дополнительные продукты.
- Экологические и морские системы наблюдения и дополнительные приложения
- Система Прямого Захвата
- Система управления станцией
- Проектирование, монтаж, обучение, обслуживание и поддержку
- Консультации исследований

Kongsberg Spacetec тесно сотрудничает со многими из крупных международных компаний и принимал участие в нескольких европейских программах наблюдения Земли.

Мы поставили системы для станций таких организации как:

- НИЦ «Планета»
- ААНИИ, Санкт-Петербург
- НПО «Тайфун», Обнинск
- METEO France
- UK-met
- NASA и Eumetsat

Многоцелевые системы наблюдения Земли, MEOS™

Наземная Станция Kongsberg Spaceteс MEOS™ (Многоцелевые системы наблюдения) это многоцелевая, гибкая и модульная система под ключ для получения, архивирования, обработки, анализа и распространения метеорологических данных.

Система управления станцией MEOS™ лежит в основе всех MEOS™ Систем. Система управления станции может контролироваться и управляться из X-интерфейса пользователя, который может быть удаленно просмотрен посредством X- продвижения данных через SSH (Secure SHell) или общие

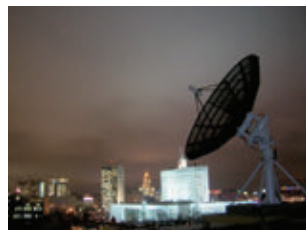
средства удаленного рабочего стола. MEOS™ системы также поставляются с новым графическим интерфейсом на основе мультиплатформы Java, как показано на рисунке ниже.



Хабаровск



Новосибирск



Наша первая установка в России, НИЦ «Планета»

Kongsberg Spaceteс с гордостью может утверждать, что поставляет хорошо зарекомендовавшую себя и инновационную на современном техническом уровне технологию.

Антенна MEOS™

Опираясь на 25-летний опыт работы с наземной спутниковой системой, мы с гордостью представляем Антенну MEOS™.

MEOS™ Антенна поставляется с тарелкой размером от 2,4 м до 4,3 м, предоставляя достаточный запас для приема данных от прямого считывания и со спутников дистанционного зондирования. Предназначенная для оптимального обслуживания и надежности, MEOSTM Антенна использует самые современные доступные промышленные компоненты.



Итоги главного события в области геодезии, навигации и картографии – выставки «GeoForm+ 2012»

13–15 марта в Москве состоялось главное событие в области геодезии, навигации и картографии – выставка «GeoForm+ 2012». Торжественная церемония состоялась на сцене павильона № 4.1 КВЦ «Сокольники».

С приветственным словом к гостям и участникам выставки выступили: Михаил Эдуардович Башелеишвили — генеральный директор Международной выставочной компании MVK в составе группы компаний ITE, Александр Васильевич Запороженко — профессор Академии военных наук, кандидат технических наук, заместитель начальника управления картографии и инфраструктуры пространственных данных Росреестра, Андрей Александрович Майоров — профессор, доктор наук, проректор по научной работе Московского государственного университета геодезии и картографии, Владимир Ильич Лаврухин — руководитель аппарата президента Московской торгово-промышленной палаты.

В первые дни выставка собрала большое количество российских и иностранных гостей, которые образовывали очереди у стендов участников.

В выставке приняли участие более 50 компаний-участниц из России, Китая, Франции и Украины, среди них такие лидеры отрасли, как компания «Геостройизыскания», компания «Технокауф», SOUTH SURVEYING & MAPPING INSTRUMENT CO.,Ltd., ООО «Геоприбор», компания «Геометр Центр», ГНСС+ (Novatel), НИИ «Геотех», ИТЦ «СканЭкс», «Ракурс», Компания «Совзонд», ГИА «Иннотер», Российские Космические Системы, КБ «Панорама», «АФМ-Серверс», многие из которых участвуют в выставке уже не первый год.

В рамках выставки «GeoForm+ 2012» прошла

обширная деловая программа, включившая в себя конференцию «Геопространственные технологии и сферы их применения», пленарные заседания, семинары и стендовые презентации участников выставки.

Масштаб проведения выставки увеличивается год от года, что доказывают цифры:

- Количество зарегистрировавшихся посетителей составило более 3000 человек, что на 40% больше, чем в прошлом году.
- На конференцию зарегистрировалось более 120 участников.

О качестве и организации работы выставки лучше всего свидетельствуют отзывы участников:

Компания «Совзонд»:

«Выставка прошла на «ура»! К организаторам вопросов нет, радуется, что выставка предоставила нам возможность встретить старых знакомых, однако приток новых компаний, интересующихся новинками геоинформационного рынка, также впечатлил. Спасибо за теплый прием.»

ООО «АФД-Каскад»

«Участвовали в первый раз. Очень довольны! Непрерывный поток посетителей, реальные заказы. Будем постоянными участниками. Большое спасибо за организацию выставки.»

ЗАО «Геостройизыскания»

«Наша компания приняла решение участвовать в выставке после достаточно длительного перерыва. И, как показал опыт, мы не ошиблись с нашим решением. Приятно удивило весьма активное посещение выставки в этом году, причем много было специалистов-практиков, на кого, собственно, и ориентированы предлагаемые нашей компанией решения. Интересная и

хорошо сбалансированная программа проводившейся параллельно научно-практической конференции также способствовала привлечению к участию в ней ведущих специалистов геодезической отрасли. Очевидно, что повышенный интерес к мероприятию в целом стал результатом активной предварительной работы его организаторов. Хочу отдельно поблагодарить дирек-

тора выставки Дмитрия Жукова за плодотворную совместную работу как при подготовке к выставке, так и во время ее проведения».

Организаторы выставки рады сообщить, что в следующем, 2013 году выставка переезжает на новую площадку – павильон №75 ВВЦ.

Новое время проведения выставки, новая площадка и новые возможности для развития вашего бизнеса!



2-я Всероссийская конференция «Геоинформационные системы в здравоохранении РФ: данные, аналитика, решения»

На конференции, которая пройдет в Санкт-Петербурге с 24 по 25 мая 2012, будут освещены проблемы и современные решения на базе геоинформационных систем (ГИС), без которых сложно представить полноценные региональные информационные системы здравоохранения, выполненные и выполняемые в настоящее время в рамках Концепции создания единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (Приказ №364 от 28 апреля 2011 г.).

На мероприятии прозвучат выступления, демонстрирующие реальный опыт внедрения и реализации ГИС, запланировано проведение отдельных секций или круглых столов:

- «Круглый стол аналитиков»: будут освещены методические вопросы сбора, анализа и прогнозирования данных и геоданных медицинской статистики в пределах территории городов и субъектов РФ: практический опыт, проблемы и решения с использованием ГИС-технологий для задач здравоохранения и социальной сферы.
- «Секция решений» (или «ИТ-секция»): будут продемонстрированы новые технологии и конкретные предложения или внедрения ГИС как элемента региональных информационных систем.
- «ГЛОНАСС/GPS – решения в социальной сфере»: планируются выступления по промежуточным итогам проекта «Социальный ГЛОНАСС», опыт организаций социальной сферы и скорой помощи с применением ГЛОНАСС/GPS и ГИС-технологий.

По итогам конференции будет подготовлен «Сборник материалов конференции», включающий тезисы докладов участников, очередную резолюцию в Минздравсоцразвития.

После первого дня конференции для всех участ-

ников предусмотрена традиционная прогулка с фуршетом на теплоходе по рекам и каналам Северной столицы.

Организаторы:

- Минздравсоцразвития России;
- ФГБУ НИИЭМ им Н.Ф. Гамалеи;
- Комитет по информатизации и связи правительства Санкт-Петербурга;
- группа компаний «Центр пространственных исследований».

Генеральный спонсор: Esri.

Спонсоры:

- Microsoft;
- Компания «Совзонд».

Информационные партнеры:

- S-news;
- ИД «Менеджер здравоохранения»;
- ArcReview;
- ГИС-Ассоциация;
- АРМИТ;
- Петербургский медицинский форум;
- Журнал «Поликлиника»;
- Портал «Медицинский маркетинг»;
- ИД «Региональная ПР-группа»;
- Ассоциация «ГЛОНАСС/ГНСС-Форум»;
- Ежедневная интернет-газета ComNews.

Подробнее прочитать о программе, условиях участия, а также о предыдущей конференции можно на сайте www.gishealth.ru

Контакты:

Программа, спонсорство:

Денис Струков (denis.strukov@gmail.com).

Регистрация, информационное партнерство:

Елена Чуйнышева (geointellect@mail.ru),

тел. + 7 (812) 493-52-27.

17-19 апреля 2012
Новосибирск



Генеральный
спонсор

Официальный
спонсор



Интерэкспо



Гео-Сибирь

Международная специализированная выставка - конгресс

Официальная поддержка



Информационные партнеры



Организаторы:

Сибирская Государственная
Геодезическая Академия
тел.: 383/343-39-37
факс: 383/344-30-60
v.seredovich@list.ru



www.sgga.ru

Выставочный оператор
ООО "ИнтерГео-Сибирь".
тел.: 383/319-45-45
nenasheva@itcsib.ru



www.expo-geo.ru

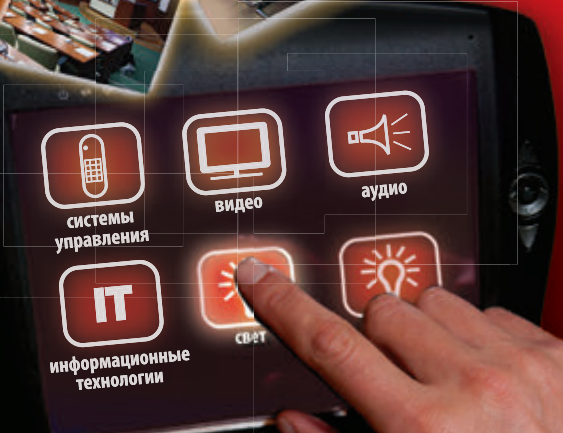
МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

Integrated Systems Russia

АУДИОВИЗУАЛЬНЫЕ,
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ



30 октября - 1 ноября 2012
Экспоцентр, павильоны 1, 5



www.isrussia.ru

Организаторы:



При поддержке:



Платиновые спонсоры:



30 - 2

ОКТАБРЯ НОЯБРЯ
МОСКВА 2012

XXIII

Ежегодная выставка
информационных и
коммуникационных
технологий

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА



Российская академия наук

Министерство связи и массовых коммуникаций РФ

Российский фонд фундаментальных исследований

SoftTool

www.softtool.ru



Конкурс лучших
решений в области
информационных
технологий



Технологии информационного общества • Электронное государство • Технологии управления • Информационная безопасность
Технологии образования • САПР и ГИС • Документооборот • Интернет-технологии • Мобильные технологии • Облачные вычисления
Свободное ПО • Управление проектами • Суперкомпьютеры • Логистика и SCM • Банковские и финансовое ПО • Прикладное ПО
Вспомогательные системы • Сетевые решения • Аутсорсинг • ИТ-услуги • Электронные развлечения • Игры • Компьютеры и периферия



Третий Московский Суперкомпьютерный Форум

Всероссийская конференция
«Электронное государство XXI века»

Заседание
Совета главных конструкторов информатизации
регионов России

в рамках Национального форума

«ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЩЕСТВО. ЭЛЕКТРОННОЕ ГОСУДАРСТВО. ЭЛЕКТРОННОЕ ПРАВИТЕЛЬСТВО»

ОРГАНИЗАТОР



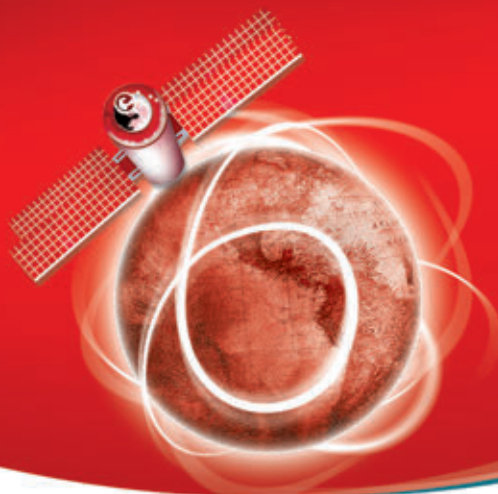
ООО «ИТ-экспо»
+7 (495) 624-70-72
www.softtool.ru

ПАРТНЕРЫ



ОТКРЫТЫЕ СИСТЕМЫ
More than just software





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

25–27 апреля 2012 г.

Москва

Целью конференции является широкий обмен опытом использования данных дистанционного зондирования Земли для решения картографических задач, целей кадастра, 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

УЧАСТНИКИ:

- ОАО «Российские космические системы» (Россия)
- ФГУП ГНПРЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС» (Россия)
- ФГУП ГНПЦ им. М.В.Хруничева (Россия)
- DigitalGlobe (США)
- GeoEye (США)
- RapidEye (Германия)
- MDA (Канада)
- e-GEOS (Италия)
- ESRI (США)

ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ:

- Перспективные национальные и международные программы ДЗЗ, совершенствование технологий космической съемки в мире, новые космические системы мониторингового назначения.
- Центры космического мониторинга отраслевого и регионального назначения – источник актуальной и объективной пространственной информации для решения задач эффективного управления.
- Вопросы создания и развития инфраструктуры пространственных данных; использование данных ДЗЗ в качестве основы для создания и обновления топографических, навигационных и тематических карт.
- Обработка космических снимков (фотограмметрическая, тематическая, составление карт, создание трехмерных моделей). Облачные вычисления и распараллеливание процессов обработки данных ДЗЗ.
- Наземные комплексы и приемные станции данных ДЗЗ; мировые лидеры по производству и установке наземных комплексов приема и обработки данных ДЗЗ.
- Серверные геоинформационные решения, геопорталы и распределенные ГИС.
- Практические аспекты реализации проектов на основе автоматизированных программно-технологических комплексов с использованием данных ДЗЗ в различных сферах.

ОРГАНИЗАТОР:



Компания «Совзонд»
115563, г. Москва, ул. Шипиловская, д. 28а, БЦ «Милан»
Тел. +7 (495) 988-7511, +7 (495) 988-7522 | Факс: +7 (495) 988-7533
conference@sovzond.ru | www.sovzondconference.ru

ПАРТНЕР



ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СПОНСОРЫ:





ПОИСК СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ* catalog.sovzond.ru

* Поиск спутниковых снимков по 12 космическим аппаратам: Alos, RapidEye, QuickBird, WorldView-1, WorldView-2, Formosat-2, Ikonos, GeoEye, TerraSAR, Монитор-Э, Ресурс-ДК, Ресурс-Ф.



115563, Москва, ул. Шипиловская, д. 28а
Тел.: +7 (495) 642-8870, 988-7511, 988-7522
Факс: +7 (495) 988-7533
sovzond@sovzond.ru | www.sovzond.ru

Обзор существующих курсов обучения обработке радарных данных ДЗЗ

Радарные данные дистанционного зондирования Земли применяются во всем мире для решения широкого круга задач. Они применяются в нефтегазовой отрасли, лесном и сельском хозяйстве, при мониторинге ледовой обстановки и судоходства, для получения оперативной геопроостранственной информации в условиях чрезвычайных ситуаций, для решения военных задач и т.д. Однако, в силу ряда причин, в России и СНГ радарные данные ДЗЗ не пользуются большим спросом, в первую очередь, из-за недостаточной осведомленности о технологиях обработки этих данных, а также о тематических продуктах с добавленной стоимостью, которые могут быть получены из этих данных.

С целью популяризации радарных данных ДЗЗ, а также в качестве помощи при внедрении технологий

обработки и применения радарных данных на базе заказчика, компания «Совзонд» проводит и организует ряд тематических курсов.

Среди них можно отметить курсы базового уровня, доступные, в том числе, специалистам, никогда не работавшим с радарными данными, а также различные курсы для продвинутых пользователей радарных ДЗЗ, посвященные подробному рассмотрению одной или нескольких конкретных областей применения радарных данных.

Курсы проводятся как специалистами компании «Совзонд», так и специалистами компаний операторов радарных спутников ДЗЗ и разработчиков программного обеспечения для обработки радарных данных ДЗЗ. Список наиболее популярных курсов приводится в таблице ниже.

Название курса	Краткое описание курса	Требуемый уровень подготовки	Кто проводит	Место проведения
<i>Обработка радарных данных ДЗЗ в дополнительных модулях SARscape программного комплекса ENVI</i>	В рамках курса рассматриваются основные особенности и преимущества радарных съемок, основные их приложения, функционал всех модулей SARscape, а также выполняется обработка тестовых наборов радарных данных с различных спутников.	Базовый уровень	Компания «Совзонд»	Россия
	В рамках курса, программа которого индивидуально адаптируется под конкретного заказчика, пользователи, уже знакомые с функционалом модулей SARscape, обрабатывают совместно с преподавателем курса свои радарные данные, предназначенные для решения конкретных практических задач, интересных данному заказчику.	Продвинутый уровень	Компания «Совзонд»	Россия

<p><i>Курс обучения SARscape у разработчиков*</i></p>	<p>Специализированный курс, программа которого полностью составлена на основе пожеланий заказчика, посвященный детальному рассмотрению любой теоретической или практической задачи, решаемой с помощью радарных данных. В рамках курса могут быть обработаны как данные заказчика, так и тестовые наборы радарных данных.</p>	<p>Продвинутый уровень</p>	<p>Компания SARMAP</p>	<p>Швейцария</p>
<p><i>SAR Basic & COSMO-SkyMed*</i></p>	<p>В рамках курса рассматриваются основные особенности радарных съемок и их различные практические приложения. Детально рассматривается спутниковая группировка COSMO-SkyMed. Выполняется предварительная и тематическая обработка снимков COSMO-SkyMed с получением на выходе различных тематических продуктов.</p>	<p>Базовый уровень</p>	<p>Компания E-GEOS</p>	<p>Италия</p>
<p><i>SAR Advanced & COSMO-SkyMed*</i></p>	<p>Курс, программа которого разработана совместно с заказчиком и посвящена решению одной или нескольких задач с помощью радарных данных COSMO-SkyMed. В рамках курса могут быть обработаны как тестовые наборы данных COSMO-SkyMed, так и данные заказчика.</p>	<p>Продвинутый уровень</p>	<p>Компания E-GEOS</p>	<p>Италия</p>

**Обучение проводится на английском языке, при необходимости обеспечивается профессиональный перевод.*

Информацию о стоимости курсов обучения можно узнать у специалистов компании «Совзонд» по тел. + 7 (495) 988-7511 или e-mail: software@sovzond.ru



Мобильный комплекс приёма информации дистанционного зондирования земли МПЗС-2,4

Комплекс предназначен для приёма, регистрации, структурного восстановления и формирования изображений земной поверхности, поступающих с космических аппаратов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) («Ресурс-ДК1», «TERRA», «AQUA», «NOAA» и др.) в X-, L-диапазонах и обмена информацией через геостационарные спутники-ретрансляторы в Ku-диапазоне.

Комплекс формирует стандартные информационные продукты:

- структурно-восстановленные и радиометрически откорректированные панхроматические или спектрзональные изображения;
- изображения, приведенные к заданной картографической системе координат по орбитальным данным;
- ортоизображения в заданной картографической системе координат, созданных по опорным точкам и цифровым матрицам рельефа.

Комплекс выполнен на базе автомобиля Ford Transit с полноповоротным антенным комплексом приёма спутников ДЗЗ X- и L-диапазонов на базе прицепа и антенным постом Ku-диапазона, установленным на крыше автомобиля.

Комплекс предусматривает:

- транспортировку трёх операторов, помимо водителя;
- установку мачтового устройства с высотой подъёма 6 м и аппаратуры приёма информации от БЛА;
- установку двух автоматизированных мест работы операторов.

Электропитание комплекса осуществляется от промышленной электросети или автономно от дизельного электроагрегата (ДЭА) - 380/220 В 50 Гц.

Параметры	Значение
Антенный комплекс	
Офсетный рефлектор, D, м	D=2,4
Схема построения опорно-поворотного устройства	азимутально-угломестная
Диапазон рабочих углов:	
- по азимуту, град	± 270
- по углу места, град	от 5 до 85
Максимальные скорости наведения:	
- по азимуту, град/с	20
- по углу места, град/с (не менее)	10
Суммарная погрешность наведения, угл.мнк. (не более)	6
X-диапазон	
Полоса принимаемых частот, ГГц	8,0-8,40
Пolarизация	правая и левая
Коэффициент усиления, дБ	43
Диапазон несущих частот, ГГц	8,035-8,380
Вид модуляции принимаемого сигнала	BPSK, QPSK
Скорость приёма и регистрации, Мбит/с	до 320
Объём памяти накопителя, Тбайт	2
Интерфейс выходной информации	Ethernet 100/1000
L-диапазон	
Полоса принимаемых частот, ГГц	1,6-1,7
Пolarизация	правая
Коэффициент усиления, дБ	27
Вид модуляции принимаемого сигнала	BPSK, QPSK, DBPSK, DQPSK
Скорость приёма и регистрации, Мбит/с	0,256-2,56
Объём памяти накопителя, Тбайт	2
Интерфейс выходной информации	Ethernet 100/1000
Ku-диапазон-антенный пост	
Офсетный рефлектор, D, м	D=1,4
Коэффициент усиления, дБ	≥ 42,6 на передачу ≥ 40,5 на прием
Пolarизация	линейная вертикальная, горизонтальная
Диапазон рабочих углов:	
- по азимуту, град	± 85
- по углу места, град	от 2 до 60
Диапазон частот, ГГц	14-14,5 на передачу 10,95-11,2 на приём
Вид модуляции сигнала	BPSK, QPSK
Символьная скорость, Мбит/с	до 2
Интерфейс обмена информацией	Ethernet 100/1000



**КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

КОМПАНИЯ «СОВЗОНД»

Ваш спутник в мире информационных технологий

115563, г. Москва, ул. Шипиловская, д. 28а

Тел.: +7 (495) 642 8870, +7 (495) 988-7511

Факс: +7 (495) 988-7533

sovzond@sovzond.ru | www.sovzond.ru

SOVZOND



СОВЗОНД

ПОДПИСКА

на журнал «Геоматика» 2012

1. На почте в любом отделении связи

Каталог агентства «Роспечать»

Полугодовой подписной индекс 20609, цена – 435 р. / 2 номера

2. По системе адресной подписки

а) Заполните платежный документ (указав количество журналов, общую стоимость).

Стоимость 1 номера: 217 руб. 50 коп., периодичность выхода: 4 номера в год.

б) Отправьте копию квитанции об оплате:

По факсу: +7 (495) 988-7533

По e-mail: info@geomatica.ru

По адресу: 115563, г. Москва, ул. Шипиловская 28 а, Компания «Совзонд»

Подписка оформляется с ближайшего номера после поступления оплаты.

В стоимость подписки включена доставка журналов.

ИЗВЕЩЕНИЕ	<p>ООО «Компания СОВЗОНД» ИНН 7720568664 / КПП 772001001 Р/с № 40702810038120110056 Московский банк ОАО «Сбербанк России» г. Москва БИК 044525225 К/с № 30101810400000000225</p> <p>Ф.И.О. _____ Почтовый адрес _____ Организация _____ Тел. _____</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Название журнала</th> <th>Количество номеров</th> <th>Сумма</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Геоматика</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <tr> <td>Плательщик</td> <td>Дата</td> <td></td> </tr> </table>	Название журнала	Количество номеров	Сумма	Геоматика			Плательщик	Дата	
Название журнала	Количество номеров	Сумма								
Геоматика										
Плательщик	Дата									
Кассир	<p>ООО «Компания СОВЗОНД» ИНН 7720568664 / КПП 772001001 Р/с № 40702810038120110056 Московский банк ОАО «Сбербанк России» г. Москва БИК 044525225 К/с № 30101810400000000225</p> <p>Ф.И.О. _____ Почтовый адрес _____ Организация _____ Тел. _____</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Название журнала</th> <th>Количество номеров</th> <th>Сумма</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Геоматика</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <tr> <td>Плательщик</td> <td>Дата</td> <td></td> </tr> </table>	Название журнала	Количество номеров	Сумма	Геоматика			Плательщик	Дата	
Название журнала	Количество номеров	Сумма								
Геоматика										
Плательщик	Дата									
Кассир										

GLOBAL BASEMAP

С сервисом Global Basemap космические снимки становятся доступнее. Сервис Global Basemap предоставляет самые актуальные и точные снимки, а также позволяет создавать бесшовные мозаики любого района Земли. Компания DigitalGlobe берет на себя обработку, обновление и обслуживание, позволяя пользователям полностью сконцентрироваться на предметном изучении и анализе.

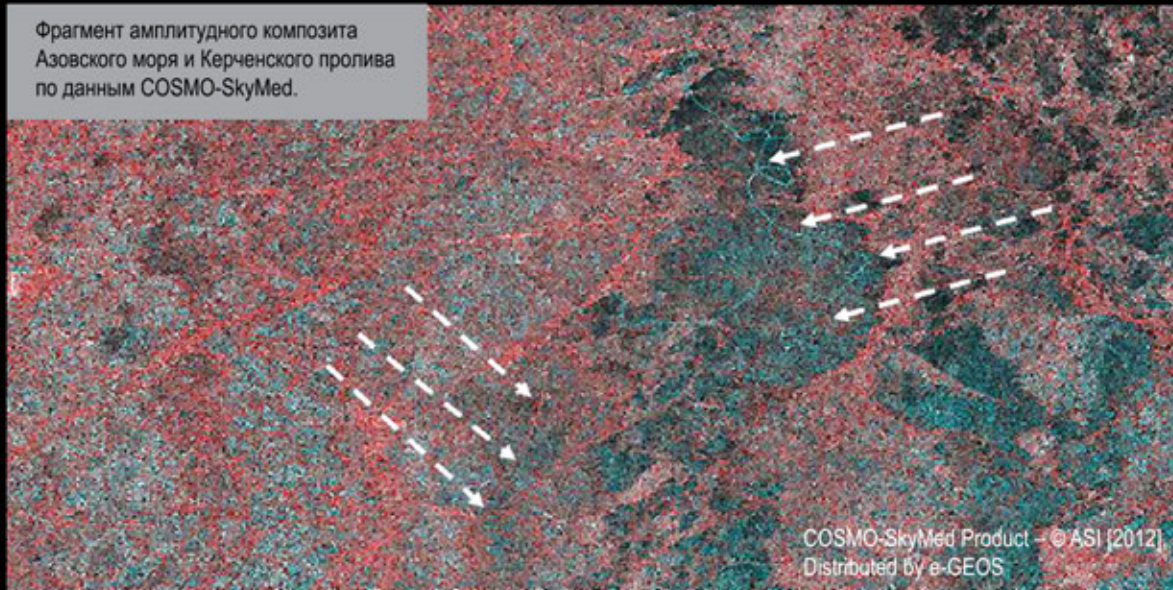
САМАЯ
БОЛЬШАЯ
ОН-ЛАЙН
БИБЛИОТЕКА
СНИМКОВ

ПОЛНОЕ
ПОКРЫТИЕ
ВСЕЙ
ПОВЕРХНОСТИ
ЗЕМЛИ

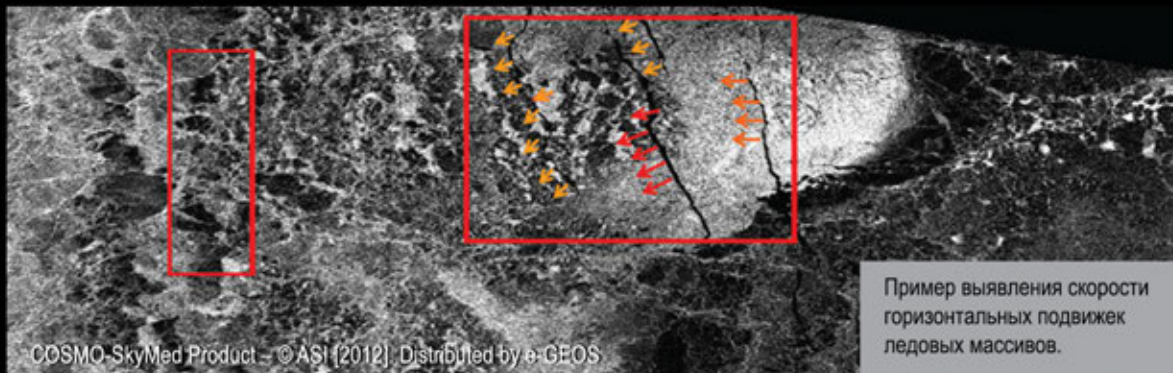
БЫСТРЫЙ
И ПРОСТОЙ
ДОСТУП

DIGITALGLOBE®

Фрагмент амплитудного композита
Азовского моря и Керченского пролива
по данным COSMO-SkyMed.

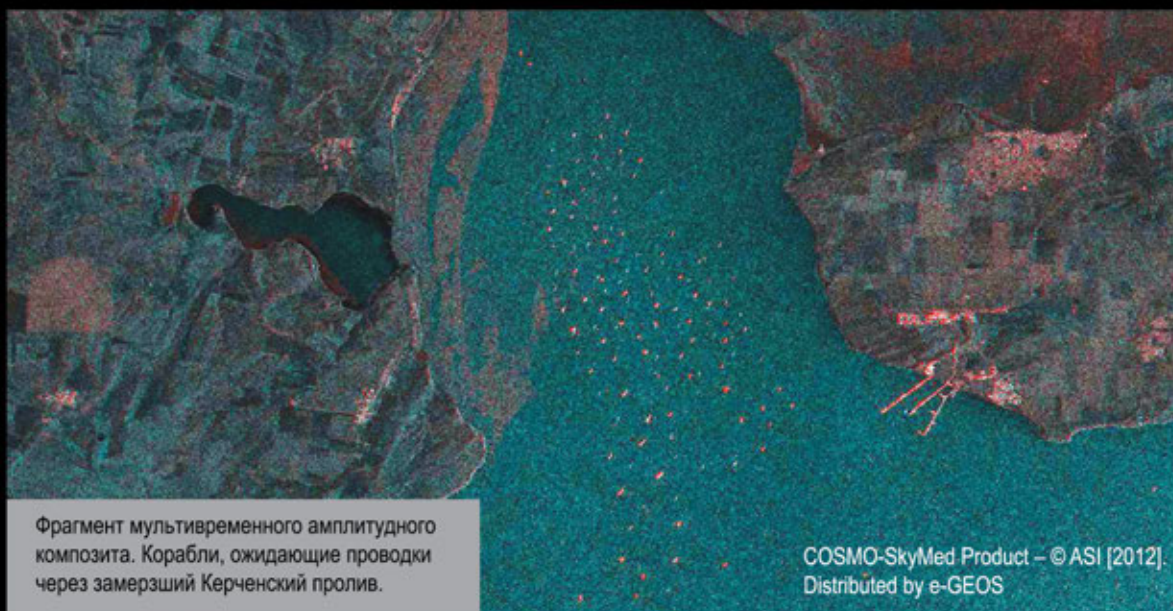


COSMO-SkyMed Product – © ASI [2012].
Distributed by e-GEOS



Пример выявления скорости
горизонтальных подвижек
ледовых массивов.

COSMO SkyMed Product – © ASI [2012]. Distributed by e-GEOS



Фрагмент мультивременного амплитудного
композита. Корабли, ожидающие проводки
через замерзший Керченский пролив.

COSMO-SkyMed Product – © ASI [2012].
Distributed by e-GEOS