

ПОСТРОЕНИЕ ЦМР ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ALOS PALSAR*

Ю.Б. Баранов (ВНИИГАЗ)

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

Ю.И. Кантемиров (ВНИИГАЗ)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина по специальности «разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений». После окончания университета работает в ООО «ВНИИГАЗ», в настоящее время — младший научный сотрудник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности.

Е.В. Киселевский («Газпром»)

В 1976 г. окончил Московский горный институт (Московский государственный горный университет) по специальности «маркшейдерское дело». В настоящее время — начальник отдела маркшейдерско-геодезического и информационного обеспечения недропользования ОАО «Газпром».

М.А. Болсуновский («Совзонд»)

В 1990 г. окончил Киевское высшее инженерное радиотехническое училище. После окончания училища служил в рядах ВС РФ. С 2000 г. работал в ООО «Гео Спектрум», а с 2002 г. — в ФГУП ВО «Техмашимпорт». В 2004 г. получил степень «Мастер делового администрирования в области стратегического планирования» (Master of Business Administration) во Всероссийской академии внешней торговли Минэкономразвития РФ. С 2004 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время — заместитель генерального директора.

▼ Практическая реализация (программные решения)

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

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

Рассмотрим практическую реализацию интерферометрической обработки пары радиолокационных снимков для получения

ЦМР, теоретические основы которой приведены в первой части статьи. Процесс обработки снимков в программном комплексе SARscape включает следующие последовательные шаги.

1. Совмещение основного и вспомогательного радиолокационных изображений интерферометрической пары радиолокационных снимков с помощью двухэтапного автоматизированного алгоритма (первый этап включает совмещение на пиксельном уровне, второй — на субпиксельном) с последующим расчетом интерферограм-

* Окончание. Начало в № 1-2008.

мы и заданием параметров некогерентного накопления.

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

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

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

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

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

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

в рамках первого и третьего практических шагов, соответственно).

▼ Получение ЦМР интерферометрическим методом на примере Заполярного месторождения

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

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

Сфокусированные таким образом снимки были успешно совмещены в полуавтоматическом режиме (необходимые параметры процесса автоматического совмещения задаются пользователем), а затем была рассчитана интерферограмма (рис. 3). Следует отметить высокое качество интерферограммы, так как наблюдаются непрерывные интерферометрические полосы. Зашумленная область в правом верхнем углу интерферограммы соответствует водной поверхности реки Таз.

Для выделения топографической компоненты фазы из интерферограммы были использованы две более грубые ЦМР, имеющиеся на район исследований. ЦМР-500 и ЦМР-100 были получены путем оцифровки горизонталей и высотных отметок топографических карт масштабов 1:500 000 и 1:100 000, соответственно. На рис. 4 представлены дифференциальные интерферограммы на фрагмент участка исследований, прошедшие процедуру незначительной

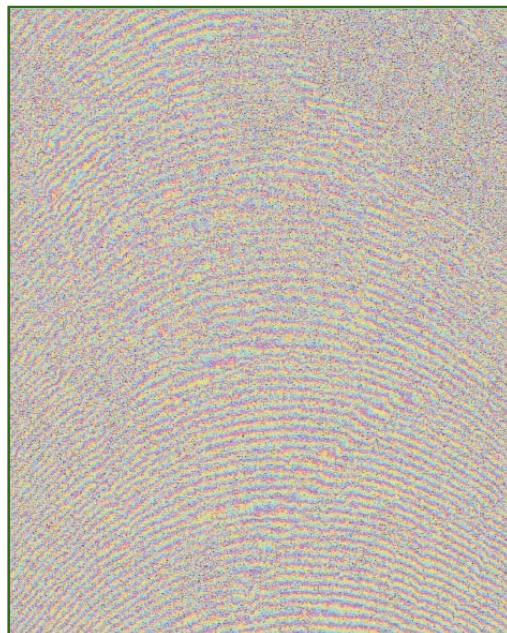


Рис. 3

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

адаптивной фильтрации. Как и следовало ожидать, топографическая компонента более полно исключена из дифференциальной интерферограммы, полученной с использованием ЦМР-100 (рис. 4б). На дифференциальной интерферограмме, полученной с помощью ЦМР-500, топографическая компонента все еще довольно ярко выражена (рис. 4а).

Следует отметить, что перпендикулярная составляющая базовой линии для рассматриваемой пары снимков составляет 2006 м. При таком значении базовой линии топографическая компонента выражена довольно сильно и, чтобы извлечь ее полностью, даже топографической карты масштаба 1:100 000 оказалось недостаточно. А в целом, для получения рельефа интерферометрическим методом по радиолокационным изображениям в L-диапазоне необходимы базовые линии примерно на порядок большие, чем для радиолокационных изображений в С-диапазоне. Так, если для радиолока-

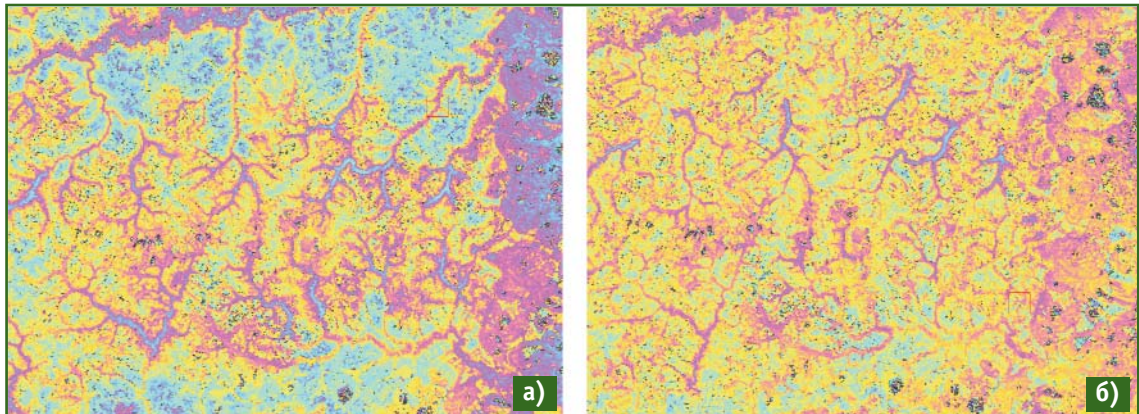


Рис. 4

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

торов С-диапазона (ERS-1 и 2, ENVISAT, RADARSAT-1) приемлемыми для получения рельефа являются перпендикулярные базы в первые сотни метров, то для радиолокаторов L-диапазона (ALOS PALSAR) таковыми являются базы в первые тысячи метров.

Критическая перпендикулярная базовая линия, составляющая для радиолокаторов С-диапазона порядка 1 км, для радиолокаторов L-диапазона также

увеличивается и составляет в рассматриваемом случае 20 км. Поясним эту зависимость следующей формулой:

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

где $B_{n,cr}$ — критическая базовая линия;

λ — длина зондирующей волны радиолокатора;

R_r — пространственное разрешение в направлении наклонной дальности;

R — дальность (путь зондирующей волны);

θ — угол между дальностью и высотой.

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

На рис. 5 представлена построенная карта когерентности

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

Далее была развернута фаза, и выполнена коррекция базовой линии. Для коррекции использовались значения десяти наземных контрольных точек. Из них значения восьми точек были взяты с топографической карты масштаба 1:100 000, а значения двух точек определены по результатам наземных GPS-измерений. После коррекции базовой линии, была построена результирующая ЦМР, фрагмент которой представлен на рис. 6. При обработке в качестве опорного рельефа использовалась ЦМР, созданная по результатам оцифровки горизонталей и высотных отметок топографической карты масштаба

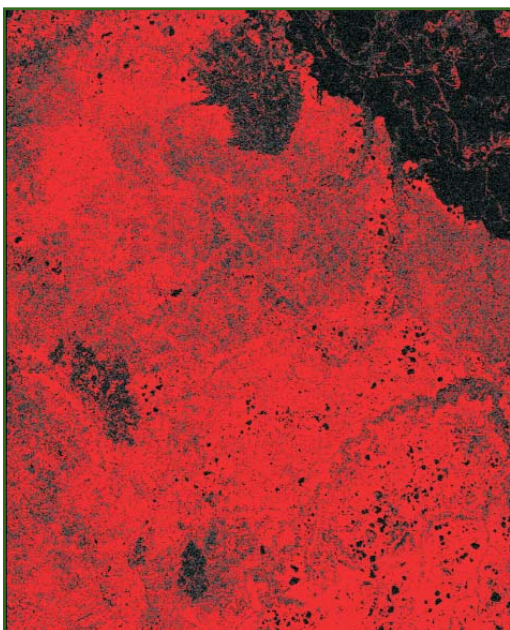


Рис. 5

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

1:100 000 (рис. 7). Визуально видно, что детальность ЦМР, полученной по данным ALOS PALSAR FBS (рис. 6), значительно превосходит ЦМР, полученную по данным топографической карты масштаба 1:100 000 (рис. 7). По оценке авторов, результирующая ЦМР, построенная по радиолокационным снимкам ALOS PALSAR FBS, по информативности соответствует топографической карте масштаба 1:25 000.

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

В результате обработки на весь участок исследований (Заполярное месторождение) был получен рельеф, по точности соответствующий топографиче-

ским картам масштаба 1:25 000. В дальнейшем он был использован в качестве опорного для мониторинга смещений земной поверхности дифференциальным интерферометрическим методом, а также для моделирования современного напряженного состояния горных пород, изучения геодинамики и мерзлотных процессов.

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

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

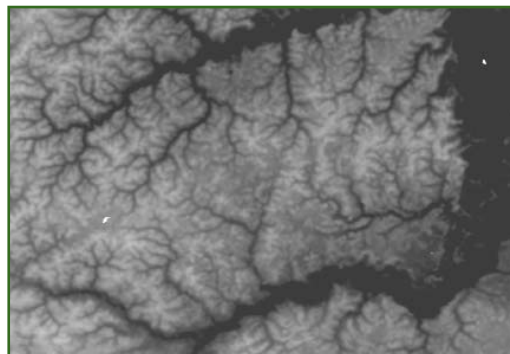


Рис. 6

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

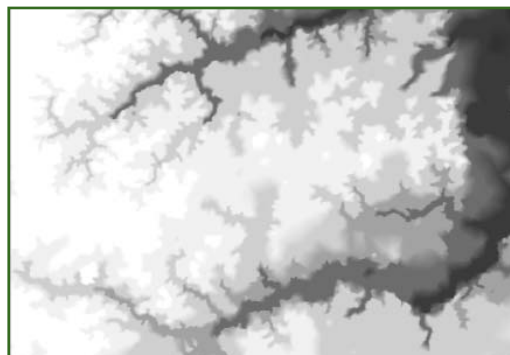


Рис. 7

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

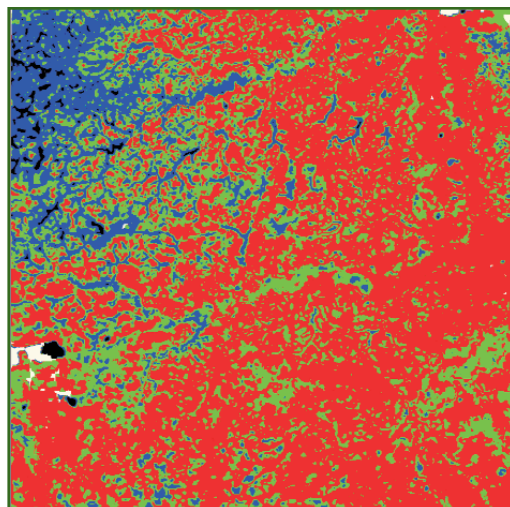


Рис. 8

Классифицированная карта погрешности по высоте результирующей ЦМР



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

крайнем случае, для синтеза топографической фазы можно даже использовать среднюю по снимку высоту.

Полученный рельеф может применяться как для дальнейших научных исследований, так

и в проектировании застройки территорий (на этапе обоснования инвестиций), при обновлении планово-высотной основы топографических карт масштаба до 1:25 000 включительно. Необходим лишь правиль-

ный выбор исходных радиолокационных снимков, специализированное программное обеспечение, опытные квалифицированные операторы и незначительное количество геодезической информации в виде пространственных координат хорошо дешифрируемых точек местности.

RESUME

Application of the interferometric technique for the ALOS PALSAR data processing is considered as well as the ENVI SARscape software module usage. The oil field Zapolyarnoe is given as an example. The research results make it possible to conclude that the interferometric technique can be used for creating precise DEMs meeting the requirements for maps on scales of 1:25,000 and 1:50,000 for large areas at low costs and the negligible amount of the topographic data available.



Компания «Совзонд» является официальным дистрибутором мировых лидеров в области дистанционного зондирования – компаний DigitalGlobe, GeoEye, SpotImage, Restec, Геологической Службы США, предлагая российским заказчикам цифровые изображения, получаемые со спутников WORLDVIEW, QUICKBIRD, IKONOS, FORMOSAT, SPOT, ALOS, LANDSAT и др., а также услуги по их тематической обработке и выполнению проектов в соответствии с требованиями заказчиков.

Компания «Совзонд» является эксклюзивным дистрибутором корпорации ITT VIS на территории России и стран СНГ по распространению ПК ENVI, языка программирования IDL, модуля для создания ЦМР с использованием стереоизображений DEM, модуля атмосферной коррекции FLAASH, а также дополнительных модулей для обработки материалов радиолокационных съёмки SARscape Basic и SARscape Interferometry.

Компания «Совзонд» является дистрибутором компании Bentley Systems по распространению программных решений MicroStation на территории России.

Компания «Совзонд» — точный взгляд на мир!

Тел.: +7 (495) 888-75-11, 514-83-39
E-mail: sovzond@sovzond.ru
Web-site: www.sovzond.ru