

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 — РГГРУ). В настоящее время — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геоинформатики РГГРУ 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 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.

Задача получения цифровых моделей рельефа (ЦМР) на территории объектов добычи, транспорта и хранения нефти и газа в настоящее время является одной из наиболее актуальных для ОАО «Газпром» в части картографического обеспечения производственной деятельности. Это объясняется многими причинами. Готовятся к разработке новые месторождения, вводятся в эксплуатацию более глубокие продуктивные горизонты уже разрабатываемых месторождений, проектируются новые объекты наземного обустройства месторождений и нефтегазотранспортной инфра-

структуры. Для ряда месторождений выполняется мониторинг смещений земной поверхности, вызванных подработкой залежей углеводородов, интерферометрическим методом, для чего также необходим высокоточный опорный рельеф. Наконец, цифровые модели рельефа используются в научных исследованиях, для моделирования геодинамических напряжений, анализа линеаментов, структурного и геоморфологического дешифрирования и т. д.

Как известно, существует несколько методов получения ЦМР. Можно отметить широко применяемую спутниковую и авиаци-

онную стереосъемку (как оптическую, так и радиолокационную), а также воздушное лазерное сканирование, характеризующееся, с одной стороны, максимально высокой точностью, а с другой — достаточно высокой стоимостью. Кроме того, существует метод получения ЦМР по одиночному космическим изображениям или аэрофотоснимкам. Применяется оцифровка существующих топографических карт с последующим получением ЦМР в соответствующем программном обеспечении.

В данной статье авторы предлагают подробнее рассмотреть технологию получения ЦМР на

основе метода радиолокационной интерферометрии. Очевидными преимуществами получения модели современного рельефа на основе радиолокационных данных являются:

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

- относительно низкая стоимость и широкая полоса захвата по сравнению с аэросъемкой и воздушным лазерным сканированием;

- минимальные трудозатраты при обработке данных космической съемки по сравнению со стереоскопической обработкой (процесс получения рельефа в программном модуле SARscape ПК ENVI практически полностью автоматизирован);

- в случае использования данных радиолокатора PALSAR с космического аппарата (КА) ALOS с гарантированной субпиксельной точностью геопозиционирования возможно построение ЦМР без наземных контрольных точек, либо с их минимальным количеством;

- высокая точность и детальность получаемых результатов (в частности, по экспертной оценке авторов, для данных ALOS PALSAR результирующий рельеф близок рельефу топографической карты масштаба 1:25 000 при размере одной сцены порядка 70x70 км).

Кроме перечисленных преимуществ, отработка технологии получения ЦМР интерферометрическим методом представляет интерес в связи с планиру-

емым запуском группировки космических аппаратов ДЗЗ ОАО «Газком», среди которых будут КА с радиолокаторами.

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

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

Чем выше точность опорного рельефа по высоте, тем увереннее определяются смещения и отфильтровываются фазовые помехи. Для максимально корректного разделения фазы опорного рельефа и фазы смещений земной поверхности необходима цифровая модель местности (ЦММ), по состоянию наиболее близкая по времени данным, используемым для ин-

терферометрической обработки, поскольку в таком случае выделение высотной составляющей фазы будет более точным. В связи с этим ЦМР, построенная по результатам оцифровки топографических карт, не была бы с лучшим решением. С другой стороны, район Заполярного месторождения расположен севернее 60° северной широты, и, следовательно, ЦММ, полученная по результатам радарной топографической съемки SRTM (Shuttle radar topographic mission), для этого района недоступна (и, в целом, ее пространственное разрешение, равное 90 м, недостаточно при использовании в качестве опорного рельефа для отслеживания смещений). ЦМР GTOPO-30 (пространственное разрешение 1 км) также совершенно не подходит для решения поставленной задачи.

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

▼ Выбор исходных данных

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

На основе накопленного опыта интерферометрической

Диапазоны радиоволновой области электромагнитного спектра радиолокационных комплексов КА

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

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

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

Второй вариант — использование результатов радиолокационной съемки со спутника ALOS (бортовым радиолокатором с синтезированной апертурой PALSAR). Основным плюсом использования этих данных для получения информации о рельефе земной поверхности представляется длина зондирующей волны этого радиолокатора — 23 см, соответствующая L-диапазону. Соответственно, в большинстве случаев снимается проблема временной декорреляции интерферометрических пар радиолокационных снимков, вызванной влиянием растительности. В связи с этим интерферометрические пары изображений ALOS PALSAR характеризуются высокой когерентностью, даже несмотря на то, что

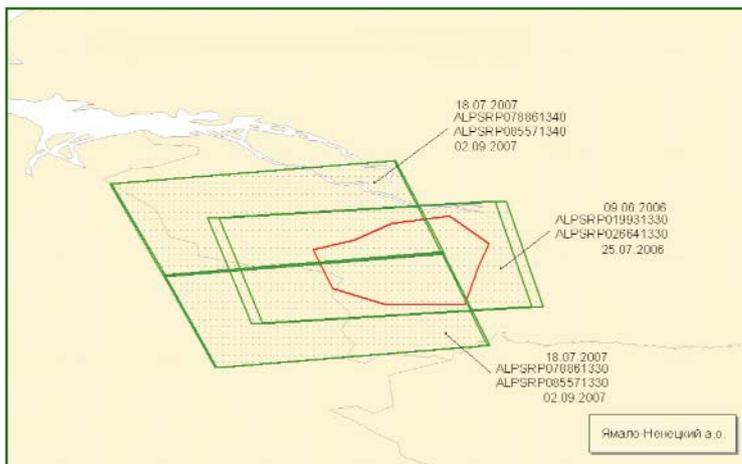


Рис. 1

Схема покрытия района Заполярного месторождения радиолокационными данными ALOS PALSAR

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

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

▼ Поиск архивных радиолокационных данных ALOS PALSAR

Подбор архивных данных с учетом характеристик, необходимых для обеспечения результатов работ, был выполнен официальным российским дистрибьютором данных с КА ALOS —

компанией «Совзонд». На исследуемый участок земной поверхности — район месторождения Заполярное (многоугольник красного цвета на рис. 1) — было найдено несколько комплектов радиолокационных данных, подходящих для интерферометрической обработки. Два перекрывающихся прохода от 18.07.2007 г. и от 02.09.2007 г. были сделаны в режиме FBD (двойная поляризация), а два перекрывающихся прохода от 09.06.2006 г. и от 25.07.2006 г. — в режиме FBS (одинарная поляризация).

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

В итоге для построения рельефа была выбрана интерферо-

метрическая пара изображений от 09.06.2006 г. и 25.07.2006 г., сделанных в режиме FBS (одинарная поляризация HH).

► **Получение рельефа интерферометрическим методом**

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

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

Временной базой называют промежуток времени, прошедший между временем получения изображений радиолокаторами **1** и **2** (рис. 2). Понятие временной базы напрямую связано с такой важной проблемой как временная декорреляция, возникающей за счет изменений рельефа, растительности, влажности и т. д., произошедших в

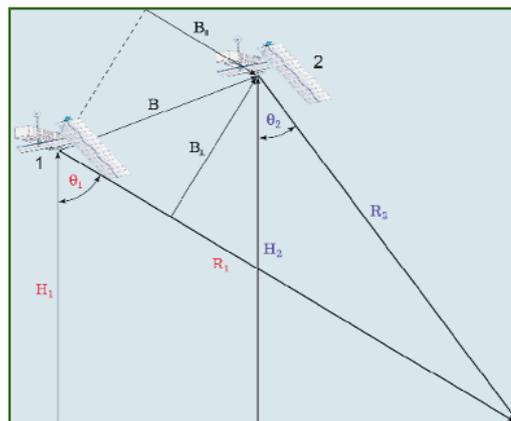
период между съемками первым и вторым радиолокаторами. В общем случае, эффект временной декорреляции становится менее заметен с увеличением длины зондирующей радиолокационной волны.

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

- $\Phi = \Phi_{\text{topo}} + \Phi_{\text{def}} + \Phi_{\text{atm}} + \Phi_n$, где Φ_{topo} — фазовый набег за счет обзора топографии под двумя разными углами;
- Φ_{def} — фазовый набег за счет смещения поверхности в период между съемками;
- Φ_{atm} — фазовый набег за счет различия длин оптических путей из-за преломления в среде распространения сигнала;
- Φ_n — вариации фазы в результате электромагнитного шума.

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

1. Совмещение основного и вспомогательного радиолокационных изображений интерферометрической пары (в автоматическом режиме либо с ручным вводом контрольных точек).
2. Генерация интерферограммы, являющейся результатом комплексного поэлементного перемножения основного изображения и изображения, комплексно сопряженного к вспомогательному.
3. Разделение компонентов фазы Φ_{topo} и Φ_{def} за счет синтеза фазы рельефа.
4. Фильтрация интерферограммы, позволяющая в определенной степени уменьшить фа-



H_1 и H_2 – высота радиолокатора;
 R_1 и R_2 – дальность (путь зондирующей волны);
 θ_1 и θ_2 – углы между дальностью и высотой;
 B_1 и B_2 – перпендикулярная и параллельная составляющие базовой линии B

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

зовый шум (помехи) за счет загробления выходной ЦМР.

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

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

7. Коррекция базовой линии.

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

Окончание следует

RESUME

A process is considered for building DEM on a scale of 1:25,000 using the interferometric technique for the ALOS PALSAR radar images with the SARscape software package. The initial data choice is grounded, intermediate results are described, the level of detail, as well as the heightening accuracy of the DEM creation are estimated. Certain theoretical aspects together with the application features of the ALOS PALSAR interferometric data processing are considered.