

А.Л. Охотин (Иркутский государственный технический университет)

В настоящее время — заведующий кафедрой маркшейдерского дела и геодезии Иркутского государственного технического университета. Кандидат технических наук.

В. Хан (Иркутский государственный технический университет)

В настоящее время — студент 5-го курса Иркутского государственного технического университета.

Б.А. Пресекин (ОАО «ППГХО»)

В настоящее время — главный маркшейдер ОАО «ППГХО».

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 деформаций стенок угольного разреза Уртуйский

Исходные данные радарных съемок на район работ

Угольный разрез Уртуйский, расположенный к северо-западу от г. Краснокаменска, был отснят 15 раз с радарных спутников группировки COSMO-SkyMed (e-GEOS, Италия) в режиме HImage (разрешение 3 м, площадь сцены 40x40 км). Съемки были сделаны бесплатно и предоставлены компанией e-GEOS в качестве исходных данных для участия в Международном конкурсе на лучший тематический проект по обработке и использованию радарных данных. Схема покрытия территории Уртуйского разреза данными COSMO-SkyMed приведена на рис. 1. Съемки были проведены в сентябре–ноябре 2011 г.

Цель проекта

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

Выполненные работы

Данные 15-проходной радарной съемки Уртуйского угольного разреза были интерферометрически обработаны по методике «Small Baselines Interferometry (SBas)» в программном комплексе SARscape (Exelis VIS, США) с применением трехмерной развертки фазы. Всего было обработано 105 пар снимков, показанных на диаграмме «время – базовая линия» на рис. 2.

Для каждой из пар в автоматизированном режиме были построены интерферограммы, дифференциальные интерферограммы, выполнены фильтрация интерферометрической фазы, расчет когерентности и развертка фазы (в том числе для ряда пар – трех-



Рис. 1. Схема покрытия территории угольного разреза Уртуйский (черный контур) данными радарных съемок COSMO-SkyMed (красные контуры)

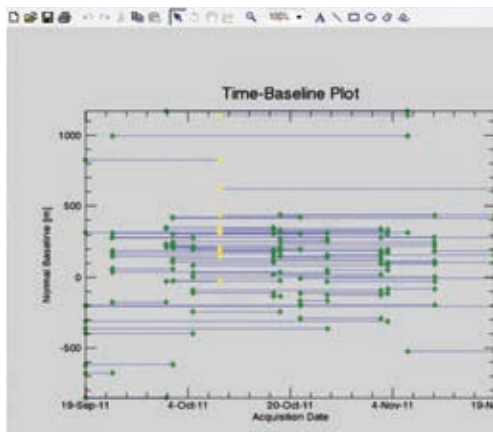


Рис. 2. 105 интерферометрических пар радарных снимков карьера Уртуйский, обработанных в рамках проекта

мерная развертка в координатах «азимут – наклонная дальность – время»).

На выходе были рассчитаны смещения земной поверхности на каждую дату съемки, результирующая карта смещений и файл точек – постоянных рассеивателей радиолокационного сигнала.

Оптический снимок и пространственно соответствующая ему карта смещений приведены на рис. 3 и 4. Основной выявленный очаг оседаний находится в юго-западной части карьера (хорошо заметное желто-красное пятно на рис. 4).

Основной очаг оседаний крупным планом и графики смещений для нескольких типовых точек в пределах этого очага показаны на рис. 5. Кроме того, на



Рис. 3. Оптический снимок карьера Уйтурский

рис. 4 заметны еще несколько локальных участков оседаний в разных частях карьера и один участок поднятий.

В целом по результатам выполненных в рамках проекта работ установлено наличие деформаций стенок карьера с максимальной интенсивностью до 6 см за два месяца. Результаты в настоящее время сверяются с данными наземных наблюдений на карьере. Побочным результатом обработки радарных данных по методу SBAs является цифровая модель местности, рассчитанная с шагом матрицы 10 м. ЦММ показана на рис. 6, сравнение ее уровня детализации с опорной ЦММ SRTM приведено на рис. 7. Данное сравнение показывает, во-первых, развитие карьера за период между 2000 и 2011 гг. и, во-вторых, разницу в детальности между этими двумя ЦММ за счет более высокого разрешения снимков COSMO-SkyMed по сравнению с радарными миссиями SRTM.

Выводы и анализ полученных результатов

- Интерферометрическая обработка была выполнена средствами модуля SARscape Interferogram Stacking по технологии SBAs.
- Когерентность фаз при выполнении 15 съемок за два месяца со спутников COSMO-SkyMed в X-диапазоне длин волн в условиях угольного карьера оказалась более чем достаточной для анализа смещений и для построения ЦММ.
- Построенная ЦММ с шагом матрицы 10 м в 9 раз превосходит по детальности ЦММ SRTM, а также показывает динамику развития карьера с 2000 по 2011 г.
- По результатам дифференциальной интерферометрической обработки закартированы смещения

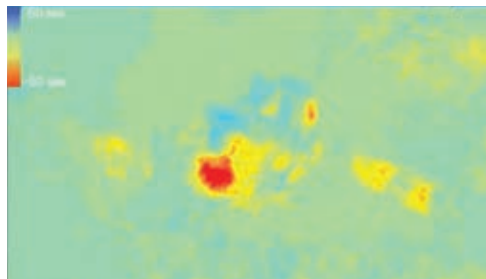


Рис. 4. Карта смещений и деформаций земной поверхности в районе карьера Уйтурский. Цветовая шкала смещений в левом верхнем углу

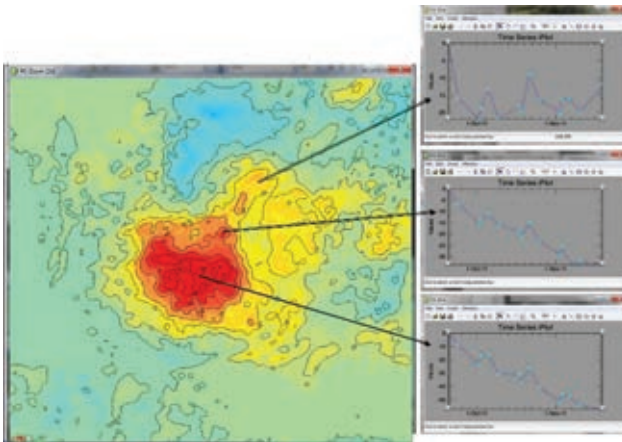


Рис. 5. Основной очаг оседаний с рис. 4 крупным планом и графики смещений для нескольких точек

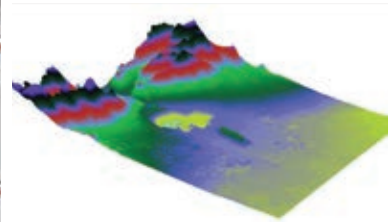


Рис. 6. Трехмерное отображение рассчитанной по данным COSMO-SkyMed ЦММ на территорию карьера Уртуйский и прилегающей территории

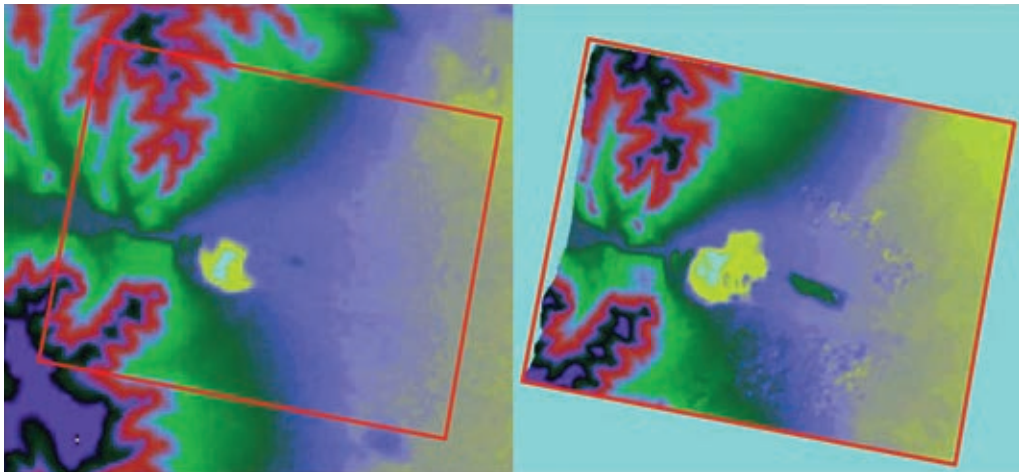


Рис. 7. Сравнение ЦММ SRTM (слева), построенной по данным радарных съемок 2000 г., с ЦММ, построенной по данным радарных съемок COSMO-SkyMed 2011 г. (справа)

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 до-

стигают 6 см за период в два месяца.

- Полученные результаты показали, что при частоте порядка 6–8 съемок в месяц даже на незастроенной территории удается поддерживать когерентность фаз радарных съемок за разные даты на необходимом для выполнения обработки уровне, что делает данную технологию применимой для выполнения реальных работ.