

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ УСЛОВИЙ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

С.В. Абламейко, М.А. Журавков, О.Л. Коновалов, В.В. Краснопрошин
Белорусский государственный университет, Минск

Представляется модифицированная технология мониторинга деформации земной поверхности на основе использования искусственных фазово-устойчивых отражателей и подспутниковой GPS-съемки. Приводятся необходимые параметры SAR-съемки и геометрические характеристики отражателей.

Введение

Современное состояние мировой экономики характеризуется интенсивной добычей полезных ископаемых. Проявлением этого процесса на территории Республики Беларусь являются ежегодное увеличение объемов и ввод в эксплуатацию новых участков добычи калийных солей. Причем вновь вводимые объекты характеризуются более сложными горно-геологическими условиями. Возрастающая техногенная нагрузка на территорию добычи приводит к возникновению многих проблем. В результате деформации земной поверхности происходит заболачивание значительных площадей, изменяется уровень грунтовых вод, разрушаются здания и сооружения, возрастает опасность сейсмических событий.

Для оценки рисков, связанных с повышением интенсивности процесса добычи, необходим постоянный мониторинг состояния подрабатываемого породного массива, который включает весь комплекс наблюдений: разведочное бурение, геодезическую съемку, гидрологические наблюдения, наблюдения за оседаниями и т. д. Однако это высокочатратный по стоимости и длительный по времени процесс.

1. Дистанционный мониторинг деформации земной поверхности

В последнее время широкое внедрение получил дистанционный мониторинг деформации земной поверхности на основе спутниковой интерферометрии [3]. Это экономичный, оперативный, масштабный и точный метод, который хорошо дополняет традиционные методы. Однако точность оценки характеристик деформаций существенным образом зависит от типа подстилающей поверхности. Спутниковая интерферометрия хорошо работает для поверхностей, которые имеют устойчивые во времени и инвариантные к углу сканирования отражающие фазовые центры (пустыни, горы, города, промышленные зоны и т. п.). Территории горных отводов, характерных для ОАО «Беларуськалий», как правило, представляют собой сельскохозяйственные или лесные угодья. Поэтому стандартная технология не обеспечивает требуемой точности оценки характеристик процессов деформации. Предлагается модифицированная технология организации и проведения мониторинга на основе использования искусственных фазово-устойчивых отражателей и подспутниковой GPS-съемки. В связи с тем, что задача дистанционного мониторинга на основе спутниковой интерферометрии для территории Республики Беларусь решается впервые, практическую ценность имеет опыт организации всех этапов технологии.

Главными составляющими стандартной технологии дистанционного мониторинга деформации земной поверхности являются: космическая SAR-съемка, алгоритмы и программное обеспечение для обработки SAR-снимков (с целью выделения характеристик деформации), средства визуализации и картирования результатов. Рассмотрим более детально все составляющие технологии.

Основой предлагаемой технологии является наличие на снимке контрастной точки с устойчивым фазовым центром, поэтому наиболее подходящие моды с высоким разрешением. В настоящий момент такое разрешение предоставляет платформа RADARSAT в модах Ultra-Fine и Fine. Однако в связи с тем, что стоимость сцены в моде Ultra-Fine в два раза превышает стоимость сцены в моде Fine, экономически обоснованным является выбор последней моды.

В настоящее время на рынке программного обеспечения представлено большое количество продуктов для обработки SAR-снимков как коммерческих, так и пакетов с открытым кодом. Коммерческие пакеты рассчитаны на стандартную технологию, поэтому наиболее интересными в использовании являются пакеты с открытым кодом. Из открытых пакетов наиболее популярными являются DORIS и ROIPAC. Так как DORIS официально сертифицирован ESA, то он выбран в качестве базового пакета. С целью возможности модификации пакет был переведен под ОС Windows.

Обработка интерферометрической пары включает следующие стандартные шаги: совмещение изображений; построение интерферограммы; фильтрацию интерферограммы; развертку фазы; пересчет абсолютных значений фазы в высоту; геокодирование. В рамках технологии предлагается модифицировать алгоритм совмещения изображений и алгоритм фильтрации интерферограммы. Модификация основана на построении специальных масок фильтрации для эффективного выделения на SAR-изображении точек, соответствующих искусственным отражателям. В процесс фильтрации интерферограмм введена дополнительная процедура вычисления фазовой погрешности на основе точных WGS-координат искусственных отражателей. Соответственно повышается точность всего процесса оценки деформации земной поверхности.

Визуализация и картирование полученных результатов при использовании пакетов типа DORIS и ROIPAC представляют определенную проблему для конечного потребителя, так как решение этих задач базируется на вызове внешних приложений. Для решения данной проблемы на базе ГИС платформы SAGA (с открытым кодом) разработана графическая оболочка для визуализации и картирования результатов полученных характеристик процесса деформации.

2. Проведение натуральных экспериментов

Для создания на SAR-снимке контрастной точки с устойчивым фазовым центром предлагается использовать уголковые отражатели. Выбрана конструкция с пятиугольной боковой гранью, близкой к оптимальной по соотношению площадь/ЭПР [1]. Оценка погрешности отклонения углов между гранями производилась на основе метода геометрической оптики. Для направлений, близких к оси отражателя, погрешность не превышала 2 град. На основе зависимости относительной ЭПР в максимуме индикатрисы рассеивания от погрешности углов [2] можно оценить ЭПР реального отражателя как 350 м кв. Показано, что при выбранном варианте разрешения съемки 6,8 на 7,7 м (мода Fine платформы RADARSAT-2) мощность отклика уголкового отражателя будет приблизительно на один порядок превышать мощность отклика поверхности с высоким коэффициентом поглощения радиосигнала (пашня). Это позволяет сформировать на SAR-изображении контрастную точку с устойчивым фазовым центром.

В рамках разработки технологии проведены теоретические исследования, которые обосновывают эффективность предлагаемого подхода. Однако практическое использование требует проведение соответствующих натуральных экспериментов. В настоящее время совместно со специалистами маркшейдерского отдела ОАО «Беларуськалий» проведен выбор площадки для организации и проведения съемки. Критериями выбора площадки являлось наличие: интенсивного оседания в период проведения съемки; областей с низкой отражающей способностью для контрастного размещения угловых отражателей; областей с фазово-устойчивыми характеристиками (полотно дороги, постройки); наблюдательных профильных линий. Разработан план размещения отражателей и сформирован заказ на проведение съемки выбранной площадки в режиме Fine платформой RADARSAT. Съемка запланирована на июль 2011 г.

Список литературы

1. Sarabandi, K. Optimal Corner Reflectors for Calibration of Imaging Radars / K. Sarabandi, Tsen Chich Chiu // IEEE Trans. Antennas and Propagation. – 1966. – Vol. 44, № 10.
2. Кобак, В.О. Радиолокационные отражатели / В.О. Кобак. – М. : Советское радио, 1975. – 247 с.
3. Singhroy, V. Characterizing and Monitoring Rockslides from SAR Techniques / V. Singhroy, K. Molch // Advances in Space Research. – 2004. – Vol. 30, № 3. – P. 290–95.