

УДК 528.482.5

А.А.КРИВЕНКО, старший преподаватель
Ю.А.КАШНИКОВ, д-р техн. наук, профессор, geotech@pstu.ac.ru
Пермский государственный технический университет

А.А.KRIVENKO, senior lecturer
Yu.A.KASHNIKOV, Dr. in eng. sc., professor, geotech@pstu.ac.ru
Permian State Technical University

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДАМИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАДАРНЫХ ДАННЫХ

В последнее время весьма популярным методом для выявления и анализа проседаний земной поверхности становится дифференциальная радарная интерферометрия (DInSAR). Исследователи отмечают, что данный метод хорошо подходит для решения задач по определению небольших относительных смещений земной поверхности с применением радиоволн с короткой длиной волны (сантиметрового порядка).

Ключевые слова: смещения земной поверхности, радарная инерфорометрия (DInSAR), газоконденсатное месторождение, обработка данных, специализированный программный продукт GAMMA.

MONITORING OF DEFORMATION PROCESSES OF THE EARTH SURFACE WITH METHODS OF DIFFERENTIAL INTERFEROMETRIC TREATMENT OF RADAR DATA

The Differential Interferometry SAR (DInSAR) has recently become one of the most popular methods to reveal and analyze the subsidence of the ground. This method is considered by researchers to be well suited to solve a problem of small relative ground shifts survey applying the short (centimeter) radio waves.

Key words: movements of earth surface, radar interferometry, gas-condensate field, data processing, specialized software GAMMA.

Результаты исследований в области применения радарной интерферометрии для выявления проседаний земной поверхности на территории Астраханского газоконденсатного месторождения (АГКМ) показали достаточно высокую эффективность применения данного метода. Так, интерферометрический анализ радарной съемки показал наличие большого участка оседаний в центральной разрабатываемой части (20×20 км) месторождения, где максимальные оседания достигают 7 мм в год. Однако данный метод оказался практически неприменим для площадного мониторинга оседаний при

разработке Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ОНГКМ) из-за сельскохозяйственной деятельности на большей части месторождения. Тем не менее было выявлено поднятие в центре г.Оренбурга, где за 2 года (с 2004 по 2006 г.) вертикальное смещение составило +12-14 мм, а в западной части ОНГКМ зафиксированы оседания земной поверхности – 6-10 мм за тот же период. Для таких проблемных территорий как ОНГКМ лучше применять технику радарной интерферометрии, основанной на анализе точечных целей (интерферометрия устойчивого отражателя (PSI)). Однако общий вывод из

результатов работ для двух месторождений заключается в том, что возможность использования метода радарного космического зондирования для территории газоконденсатных месторождений может быть оценена только после сопоставления результатов определения оседаний с помощью данного метода и традиционных инструментальных измерений.

В последнее время весьма популярным методом для выявления и анализа проседаний земной поверхности становится радарное дистанционное зондирование земной поверхности, а именно, дифференциальная радарная интерферометрия (DInSAR) [5]. Исследователи отмечают, что дифференциальная радарная интерферометрия хорошо подходит для решения задач по определению небольших относительных смещений земной поверхности с применением радиоволн с короткой длиной волны (сантиметрового порядка). Фундаментальный параметр, который измеряется этим методом, – фаза радарного сигнала. Важное условие для успешного интерферометрического анализа – высокая когерентность между радарными сигналами. К сожалению, качественному интерферометрическому анализу радарных данных препятствует растительный покров, который может разрушать детерминированные разности фаз разновременных радарных изображений. Более длинные промежутки времени между двумя наблюдениями также ухудшают качество интерпретации измеренных фазовых разниц. Другой источник ослабления когерентности сигнала или декорреляции – это геометрическая разница в угле падения между двумя наблюдениями. Кроме того, высокие значения оседаний, которые типичны, например, при разработке месторождений твердых полезных ископаемых, могут также ослабить когерентность радарных данных [4].

Исследования в области применения радарной интерферометрии для выявления проседаний земной поверхности были проведены на территории Астраханского газоконденсатного месторождения и Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Отметим, что на территории АГКМ

специалистами Пермского государственного технического университета развернут полномасштабный геодинамический полигон и имеются подробные результаты определения оседаний нивелированием II класса и с помощью спутниковых технологий, что дает возможность сопоставления традиционных методов и результатов интерферометрической съемки [1].

Измерение вертикальных смещений, обусловленных разработкой АГКМ, проводилось с применением радарных съемочных систем [3]. Для интерферометрического анализа было использовано 14 радарных сцен ENVISAT, пригодных для обработки. Все снимки охватывают период с октября 2003 по декабрь 2008 г.

Интерферометрическая обработка данных состояла из нескольких этапов [2] и проводилась в специализированном программном продукте GAMMA (фирма «GAMMA REMOTE SENSING AG», Швейцария), которым располагает Пермский государственный технический университет. Несмотря на то, что часть снимков была подвержена влиянию атмосферы, а растительность вызвала серьезную декорреляцию, интерферометрический анализ показал наличие большого участка оседаний в центральной разрабатываемой части (20×20 км) месторождения, где максимальные оседания достигают 5 мм в год. На рис.1 отображена карта вертикальных смещений, полученная по результатам интерферометрического анализа дифференциальных интерферограмм за 4-летний период (с октября 2003 по ноябрь 2007 г.). Обращает на себя внимание наличие небольших оседаний в северной части месторождения, где нет скважин. Вполне возможно, что в эти годы из этой части АГКМ шел отбор газа.

Далее был выполнен сравнительный анализ полученных данных с результатами инструментальных наблюдений на геодинамическом полигоне, в частности с нивелированием II класса. Расположение профильных линий нивелирования II класса также представлено на рис.1. Для анализа был построен совмещенный график оседаний земной поверхности по профильной линии от

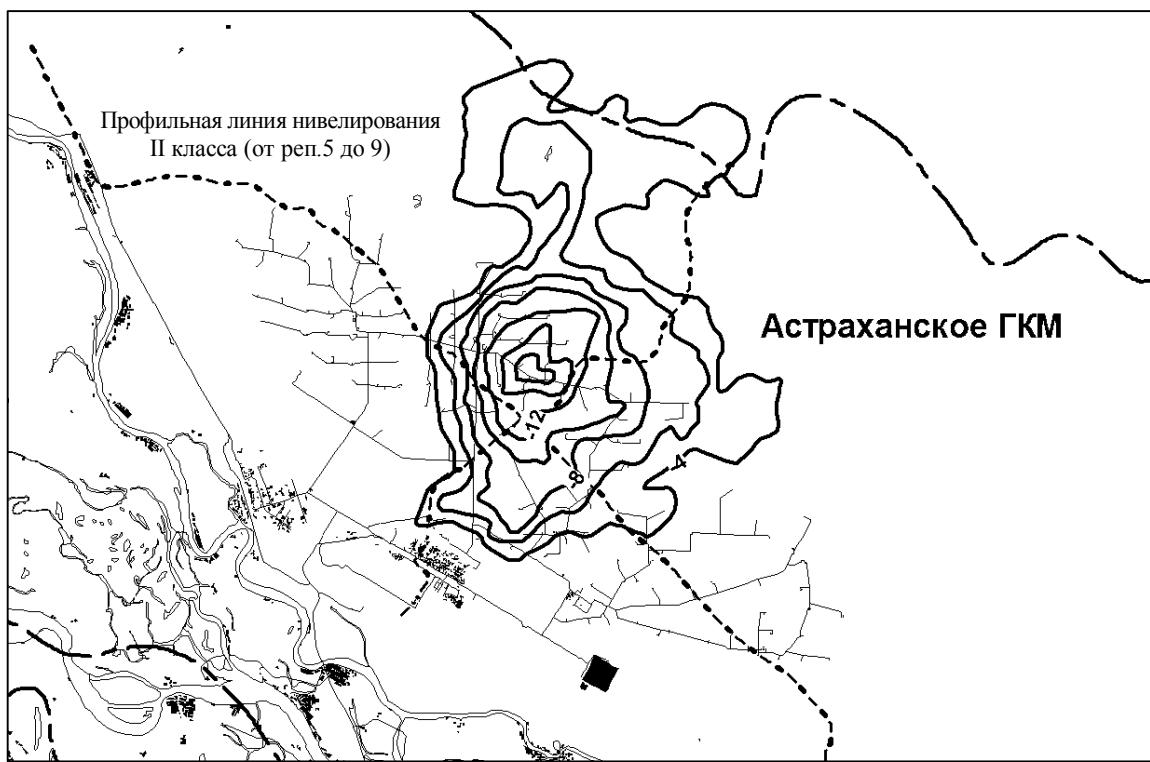


Рис.1. Карта вертикальных смещений на территории АГКМ (с октября 2003 по ноябрь 2007 г.)

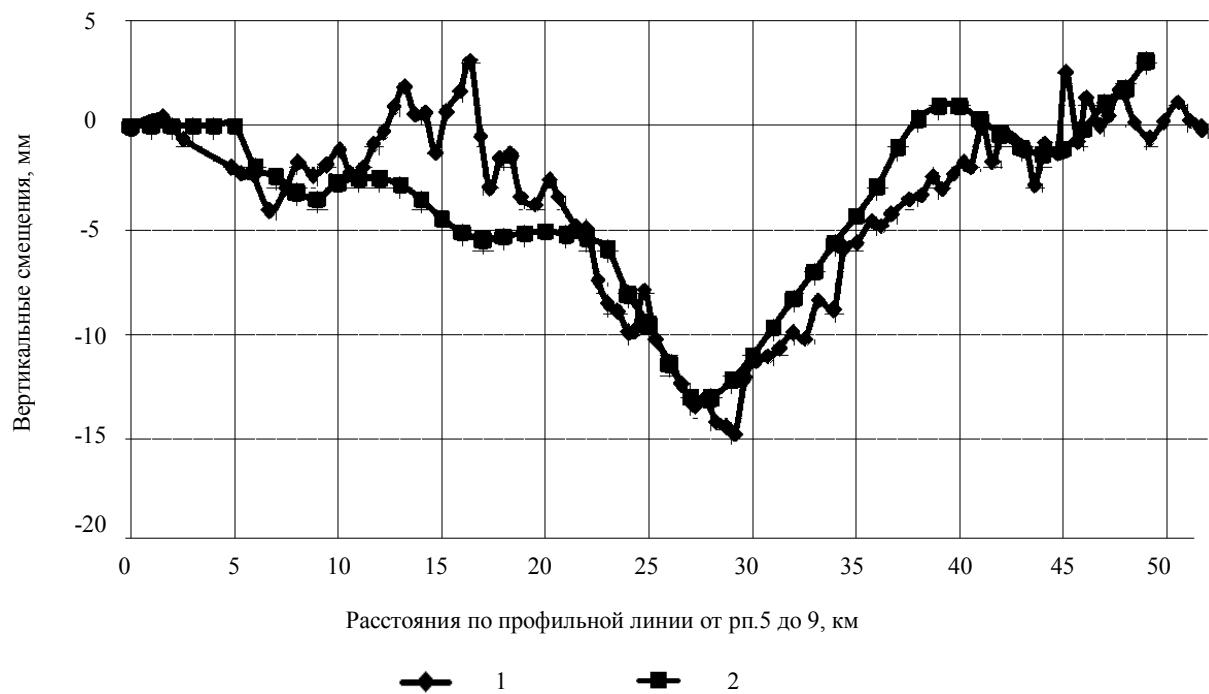


Рис. 2. Совмещенный график вертикальных смещений (2004-2007 гг.) на территории АГКМ по профильной линии от реп.5 до 9

1 – по данным нивелирования; 2 – по данным радарной интерферометрии

реп.5 до 9 (рис.2). Рассчитанное среднее отклонение разниц смещений, полученных двумя способами, составило 1,5 мм.

Согласно полученным результатам, данный метод определения вертикальных смещений (DInSAR) дал положительные результаты на территории АГКМ в части выявления мест, подверженных деформациям.

Существенно иная ситуация при использовании данной съемки наблюдается для Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения. В октябре 2008 г. была выполнена дифференциальная интерферометрическая обработка 13 архивных радарных сцен ENVISAT на территории лицензионного участка ОНГКМ. Радарная съемка охватывает период с июля 2004 по сентябрь 2006 г.

Полученные дифференциальные интерферограммы были подвержены серьезной декорреляции из-за сельскохозяйственной обработки земель на большей части месторождения (вспахивание, изменение растительного покрова), а также присутствия в широтном направлении русла р.Урал (сезонные разливы). Все эти явления весьма негативно повлияли на качественную интерпретацию интерферограмм для определения смещений земной поверхности. Тем не менее на некоторых участках (городские земли и нераспаханные участки) были определены смещения земной поверхности. Так было выявлено поднятие в центре г.Оренбурга, где за 2 года (2004-2006 гг.) вертикальное смещение составило +12-14 мм, а в западной части ОНГКМ зафиксированы оседания земной поверхности – 6-10 мм за тот же период.

Для таких проблемных территорий как ОНГКМ лучше применять технику радарной интерферометрии, основанной на анализе точечных целей (интерферометрия устойчивого отражателя (PSI).

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что возможность использования метода радарного космического зондирования вместо традиционных геодезических методов для подрабатываемых терри-

торий может быть оценена только после сравнительного анализа результатов определения оседаний с помощью данного метода и традиционных инструментальных измерений. Только после сопоставления результатов точных традиционных геодезических и интерферометрических измерений можно будет сделать выводы о надежности интерферометрических измерений. В настоящее время этот метод находится в стадии научно-исследовательской разработки и не может заменить традиционные высоконадежные маркшейдерско-геодезические методы мониторинга. Несмотря на высокую практическую перспективность, метод дифференциальной интерферометрии требует весьма серьезных аналитических и практических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каиников Ю.А. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья / Ю.А.Каиников, С.Г.Ашихмин. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007.
2. Cumming I.G., Wong F.H. Digital processing of synthetic aperture radar data. Norwood, MA: Artech House, Inc., 2005.
3. Curlander J.C., McDonough R.N. Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1991.
4. ESA TM-19. InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. Noordwijk: ESTEC, 2007.
5. Rees W.G. Physical Principles of Remote Sensing. Cambridge University Press, 2001.

REFERENCES

1. Kashnikov Yu.A., Ashikmin S.G. Rock Mechanics in Mining of Deposits of Hydrocarbon Raw Materials. Moscow.: Nedra. Business center, 2007.
2. Cumming I.G., Wong F.H. Digital processing of synthetic aperture radar data. Norwood, MA: Artech House, Inc., 2005.
3. Curlander J.C., McDonough R.N. Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1991.
4. ESA TM-19. InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. Noordwijk: ESTEC, 2007.
5. Rees W.G. Physical Principles of Remote Sensing. Cambridge University Press, 2001.