

**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 – научный сотрудник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности.

**Ю.Б. Баранов (ВНИИГАЗ, РГГРУ)**

В 1978 г. окончил Московский геологоразведочный институт (Российский государственный геологоразведочный университет – РГГРУ) по специальности «поиск и разведка месторождений полезных ископаемых». В настоящее время – профессор кафедры геоинформатики РГГРУ, начальник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности ООО «ВНИИГАЗ». Доктор геолого-минералогических наук.

**Е.В. Киселевский («Газпром»)**

В 1976 г. окончил Московский горный институт по специальности «маркшейдерское дело». В настоящее время – начальник отдела маркшейдерско-геодезического и информационно-обеспечения недропользования ОАО «Газпром».

**В.В. Билянский («Газпром добыча Уренгой»)**

В 1986 г. окончил геодезический факультет Львовского политехнического института (Национальный университет «Львовская политехника») по специальности «астрономогеодезия». В настоящее время – главный маркшейдер ООО «Газпром добыча Уренгой».

**С.П. Вергелес («Газпром добыча Ямбург»)**

В 1986 г. окончил геодезический факультет Львовского политехнического института (Национальный университет «Львовская политехника») по специальности «прикладная геодезия». В настоящее время – заместитель начальника маркшейдерско-геодезической службы ООО «Газпром добыча Ямбург».

**С.Э. Никифоров (Ростехнадзор, МГГУ)**

В 2000 г. окончил Московский государственный горный университет (МГГУ) по специальности «маркшейдерское дело». В настоящее время – консультант Управления государственного горного и металлургического надзора, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии МГГУ. Кандидат технических наук.

**В.Г. Грязнов («НПП Геокосмос-ГИС»)**

В 1983 г. окончил Московский государственный университет. В настоящее время – руководитель проектов ООО «НПП Геокосмос-ГИС». Кандидат физико-математических наук.

**М.А. Болсуновский (Компания «Совзонд»)**

В 1990 г. окончил Киевское высшее инженерное радиотехническое училище. С 2004 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время – заместитель генерального директора.

## Опыт комплексного мониторинга смещений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов с помощью геодезических и космических методов

Поскольку и природные, и техногенные смещения земной поверхности в районе разрабатываемых месторождений представляют собой потенциально опасный процесс, предусмотрен мониторинг за состоянием горных отводов, как правило, геодезическими методами, которые требуют значительных затрат и не всегда могут выполняться в оперативном мониторинговом режиме. Промежуток между повторными геодезическими наблюдениями может достигать 20 лет (подробнее см. Геоматика. – 2008. – № 1. – С. 51-55).

Необходимо одновременно с геодезическими наблюдениями вести в мониторинговом режиме космическую радиолокационную интерферометрическую

съемку территорий месторождений углеводородов, позволяющую регулярно получать поле смещений земной поверхности с высокой точностью и осуществлять взаимный контроль и уточнение величин смещений. Внедрение подобной системы мониторинга начато на месторождениях нефти и газа ОАО «Газпром».

ООО «ВНИИГАЗ» с 2006 г. начал применять технологию космической радиолокационной дифференциальной интерферометрии в качестве высокоточного площадного метода наблюдений за смещениями земной поверхности. Она представляет собой эффективное средство прямого определения смещений земной поверхности и деформаций сооружений. Причем существ-

вует возможность применять эту технологию как отдельно от вышеперечисленных методов определения деформаций поверхности, так и в комплексе с ними (что представляется наиболее рациональным). Принципиальное преимущество дифференциальной радиолокационной интерферометрии перед другими методами мониторинга вертикальных и плановых деформаций заключается в прямом измерении смещений рельефа, произошедших за период между двумя (тремя, четырьмя и более) съемками.

Получаемый в результате интерферометрической обработки файл сдвижения, как правило, показывает интегральную картину деформаций. Обычно она складывается из различных природных и техногенных составляющих. Точечная калибровка полученных на карте смещений земной поверхности может осуществляться по данным спутниковых геодезических наблюдений.

Космический радиолокационный мониторинг просадок, вызванных разработкой нефтегазовых месторождений, успешно осуществляется за рубежом с середины 1990-х гг. В силу различных причин, в России метод радиолокационного интерферометрического мониторинга смещений земной поверхности не получил широкого распространения. Однако его преимущества очевидны. Это, прежде всего, возможность осуществлять мониторинг деформаций любых территорий (в том числе, значительных по площади и протяженности) с высокой точностью при невысокой стоимости работ (на порядок ниже аналогичных по точности дистанционных методов, например, лазерного сканирования). Объем работ по наземному обеспечению мониторинга представляется выполнимым маркшейдерскими службами добывающих предприятий (при необходимости с привлечением соисполнителей). Получаемая на выходе карта смещений поверхности, помимо ответа на вопрос о наличии и величине просадок, несет в себе информацию о природной и техногенной геодинамике и может использоваться для оценки экологической и геодинамической безопасности разработки месторождения, прогноза рисков, мониторинга деформаций промышленных сооружений и трубопроводов и т. д.

Кроме того, для прогнозирования ожидаемых техногенных оседаний, вызванных разработкой месторождений, применяются модельные расчеты. Несмотря на то, что они характеризуются значительными допущениями (в частности, необходимо оценивать значения объемного модуля упругости породного скелета от пласта-

коллектора до земной поверхности), информация об ожидаемых техногенных просадках, вызванных разработкой, без сомнения, является крайне интересной и полезной.

Наземные инструментальные геодезические измерения на реперах позволяют получить значения смещений в точках и по профилю, но построить достоверную непрерывную карту просадок (сдвижений) земной поверхности на всю площадь месторождения по этим данным не представляется возможным, поскольку между узловыми точками и профилями необходимо будет выполнить обычную интерполяцию. Таким образом, по мнению авторов, как геодезический метод, так и космический радиолокационный мониторинг за деформационными процессами имеют свои преимущества и недостатки, из чего следует, что для взаимного уточнения и взаимоконтроля эти методы должны применяться в комплексе.

Приведем несколько примеров такого комплексного мониторинга смещений земной поверхности космическими, геодезическими и расчетными методами. Объектом исследований являлись Заполярное, Уренгойское и Астраханское газоконденсатонефтяные месторождения.

Для анализа смещений на Заполярном месторождении была привлечена интерферометрическая пара радиолокационных снимков за июль 2004 г. и август 2005 г., сделанных со спутника ENVISAT (Европейское космическое агентство). По результатам специализированной дифференциальной интерферометрической обработки этих снимков была построена карта вертикальных смещений земной поверхности в единицах разности фаз, которая приведена на рис. 1. С этой картой совмещены полученные ранее данные по районированию геокриологических процессов, изолинии оседаний прогнозной мульды сдвижения горных пород и инфраструктура Заполярного месторождения.

На рис. 2 приводится профиль смещений земной поверхности по линии АБ на карте смещений. Отметим, что тренд, проведенный по профилю смещений АБ, хорошо коррелируется с расчетной мульдой прогнозируемых техногенных оседаний земной поверхности, вызванных разработкой месторождения. Она характеризуется концентрическими изолиниями просадок с возрастанием их величины от контура сеноманской залежи месторождения к ее центру (изолинии черного цвета на рис. 1).

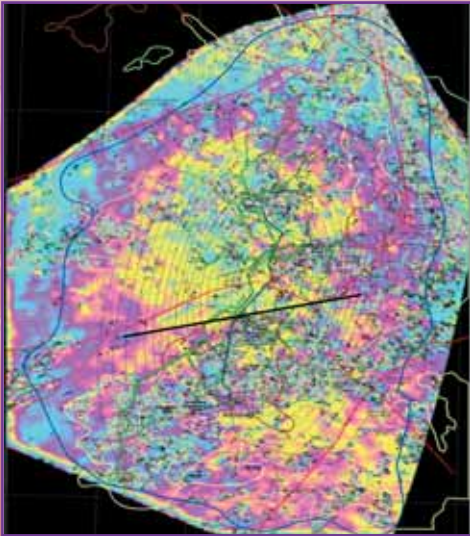


Рис. 1.  
Дифференциальная интерферограмма, показывающая смещения земной поверхности на Заполярном месторождении за период с 2004 по 2005 гг.

Далее перейдем от смещений земной поверхности в единицах разности фаз к метрической системе. Поскольку интерферометрический фринг (переход от сине-



Рис. 2.  
Профиль смещений земной поверхности по линии АБ, построенный по данным радарной интерферометрии

го цвета к следующему синему на интерферометрическом изображении на рис. 1) равен 2,5 см (половине длины волны радарного интерферометра), то сглаженные значения оседаний земной поверхности составляют за год 1-1,5 см (иллюстрация на примере профиля АБ, рис. 2). Этот результат практически полностью совпадает с результатами, полученными по наблюдениям на пунктах GPS Заполярного месторождения. Области геокриологических процессов, ранее выделенные на основе дешифрирования оптических космических снимков, практически полностью совпадают с областями мозаичного отображения интерференции на территории месторождения (на профиле – резко изменяющиеся значения).

Аналогичные работы по космическому радиолокационному мониторингу смещений земной поверхности были выполнены на Уренгойском месторождении. В данном случае были обработаны снимки RADARSAT-1 за лето 2007 г. и лето 2008 г. В результате получена картограмма смещений земной поверхности за период в один год, представленная на рис. 3. Линиями черного цвета отмечены контуры нефтегазовых залежей месторождения, а линией зеленого цвета – лицензионный участок. На рис. 3 один спектр цветов (интерференционный цикл) от желтого цвета до следующего желтого цвета соответствует оседаниям земной поверхности в 2,75 см. На рисунке четко виден один интерференционный цикл. А на юге месторождения хорошо заметно начало следующего интерференционного цикла, где оседания достигают величины 4 см за год.

Еще одним объектом исследований стало Астраханское месторождение. Здесь для анализа смещений в региональном масштабе были привлечены разновремен-

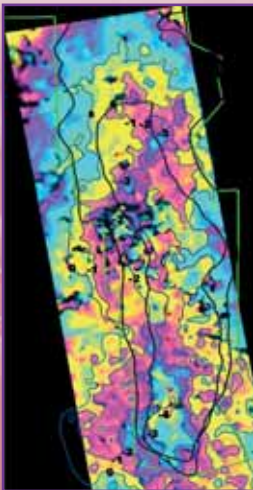


Рис. 3.  
Дифференциальная интерферограмма и изолинии смещений земной поверхности в см за 2007-2008 гг. (линии синего цвета) на Уренгойском месторождении

ные радиолокационные снимки, сделанные спутником ENVISAT в широкополосном режиме (размер кадра 400x400 км). Для анализа смещений на месторождении использовались снимки обычного режима ENVISAT, результат которого представлен на рис.4. На фоне цветного изображения интерферограммы линией коричневого цвета показаны границы Астраханской области, линиями черного цвета – элементы топливно-энергетического комплекса (лицензионные участки, перспективные структуры, границы месторождений). Пятнистый рисунок интерферограммы на северо-востоке соответствует активной соляно-купольной тектонике.

Хорошо заметны ярко выраженные региональные смещения земной поверхности, зарегистрированные по различным парам снимков с 2003 г. по 2007 г. Они характеризуются примерно одинаковыми величинами, но знакопеременным направлением. Возможным объяснением зарегистрированных смещений может быть явление, известное как «дыхание земли». С другой стороны, непосредственно в районе Астраханского месторождения за трехлетний период наблюдений (с 2003 по 2006 гг.) уверенно фиксируется монотонное оседание поверхности с интенсивностью примерно 1 см в год (врезка справа на рис. 4). Полученные результаты говорят о наличии в районе Астраханского месторождения как природной, так и техногенной составляющей смещений земной поверхности.

На рис. 5 приводятся результаты уточнения зарегистрированных интерферограмм за счет использования данных лазерного сканирования на этапе выделения топографической компоненты фазы. Овалом синего цвета обозначена зафиксированная зона просадок земной поверхности в районе Астраханского месторождения.

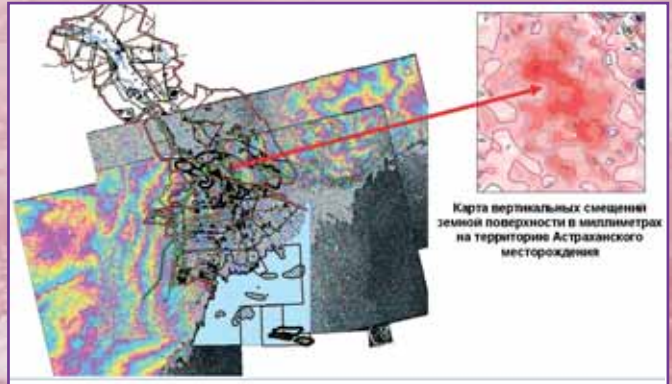


Рис. 4. Смещения земной поверхности на Астраханском месторождении и, в целом, в регионе северо-западного Прикаспия, зарегистрированные методом космической радиолокационной интерферометрии

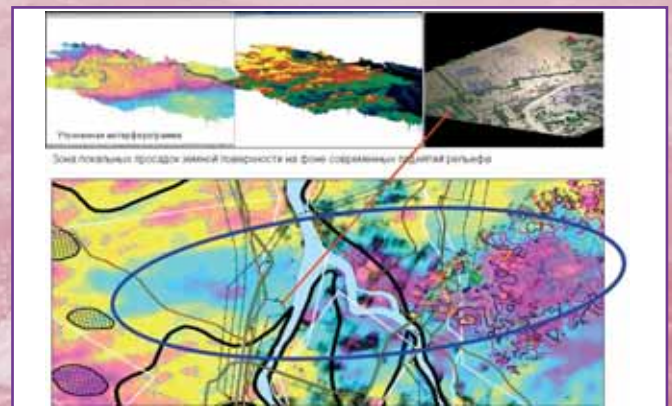


Рис. 5. Уточнение результатов интерферометрии за счет данных лазерного сканирования (внизу – исходная интерферограмма)

Вышеописанные результаты показали высокую эффективность комплексирования космических и геодезических методов для задач мониторинга природных и техногенных смещений земной поверхности. Эти результаты учтены при подготовке ООО «ВНИИГАЗ» отраслевого стандарта «Методика проведения космического мониторинга состояния территорий горных отводов для обеспечения промышленной безопасности при добыче и хранении нефти и газа».