

**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».

**Е.В. Киселевский («Газпром»)**

В 1976 г. окончил Московский горный институт. В настоящее время – начальник отдела маркшейдерско-геодезического и информационного обеспечения недропользования ОАО «Газпром».

**Ю.И. Кантемиров (ВНИИГАЗ)**

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работает в ООО «ВНИИГАЗ», в настоящее время – младший научный сотрудник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности.

**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.

## Мониторинг смещений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов с помощью комплекса космических и геодезических методов

В настоящее время есть две точки зрения на вопрос наличия техногенных деформаций земной поверхности при разработке месторождений углеводородного сырья. Первая – при разработке газовых месторождений возникают обширные по площади просадки земной поверхности. Вторая – добываемые нефть и газ в порых пород-коллекторов замещаются несжимаемой жидкостью водой, и поэтому никаких существенных техногенных оседаний земной поверхности вообще нет.

С другой стороны, район севера Западно-Сибирской мегапровинции характеризуется наличием многочисленных природных процессов, вызывающих положительные и отрицательные смещения земной поверхности. Здесь следует, в первую очередь, отметить геокриологические процессы (мерзлотное сезонное пучение грунтов, солифлюкционные и криогенные оползни,

термокарстовые процессы и т. д.), а также геодинамические процессы и лунный цикл приливов и отливов.

Поскольку и природные, и техногенные смещения земной поверхности в районе промышленной, транспортной и жилой инфраструктуры представляют собой потенциально опасный процесс – сегодня предусматривается организация системы наблюдений за состоянием горных отводов в виде сети реперов, установленных в пределах контура всего месторождения, с примыканием к опорным пунктам, вынесенным за область влияния деформационных процессов и с использованием традиционных методов повторных инструментальных измерений (как правило – нивелирования II класса). Даная технология, как показал опыт ООО «Газпром добыча Уренгой», потребовала создания геодинамического полигона с протяженностью ходов нивелирования около 1400 км.

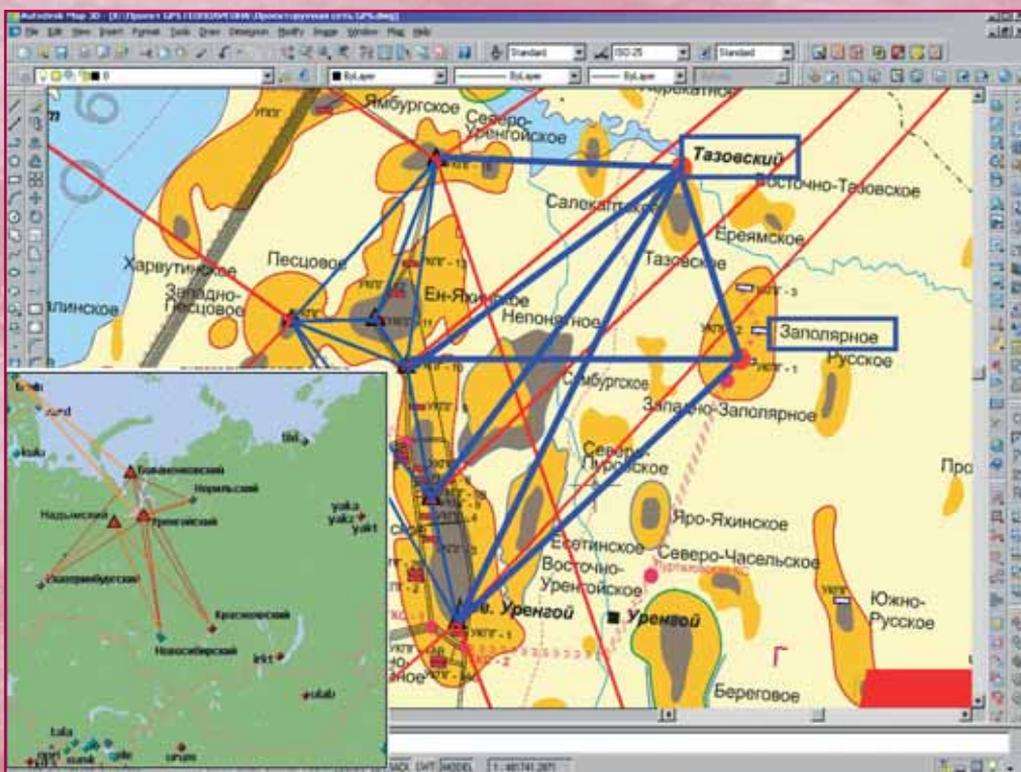


Рис. 1.  
Схема размещения сети пунктов GPS на месторождениях ЯНО

Такой подход характеризуется значительными финансовыми затратами уже на стадии установки реперов, поскольку расстояние между ними жестко задано, заменить их полностью за счет использования устьев скважин невозможно. Расстояние между реперами регламентировано в пределах 300-500 м, а в зонах предполагаемых тектонических нарушений – 100 м. Кроме того, репера в условиях Крайнего Севера нередко требуется устанавливать на глубину до 15 м.

Традиционные геодезические измерения (высокоточное геометрическое нивелирование) крайне дорого и требует значительных временных затрат, в связи с чем интервалы времени между повторными измерениями составляют несколько лет.

За рубежом для решения задач контроля деформаций земной поверхности и массива горных пород,

перекрывающего нефтегазоносные пласты разрабатываемых месторождений, начали применять новые технологии. Они основаны на сети постоянно действующих и равномерно расположенных на территории месторождений станций глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) – GPS и ГЛОНАСС и интегрированных в сеть постоянно действующих станций IGS (Международной службы ГНСС). Эта технология позволяет получать все три координаты станций ГНСС, расположенных на территории месторождения, в режиме реального времени с точностью порядка 5 мм.

ООО «ВНИИГАЗ» считает необходимым одновременно с точечными наблюдениями ГНСС вести в мониторинговом режиме космическую радиолокационную интерферометрическую съемку территорий месторождений углеводородов, позволяющую регулярно получать

поле смещений земной поверхности с высокой точностью. Параллельно – раз в несколько лет – наблюдения за деформационными процессами проводятся традиционными геодезическими методами. Сопоставительный анализ результатов этих трех независимых методов наблюдений за смещениями земной поверхности (повторное нивелирование, наблюдения ГНСС и космическая дифференциальная радиолокационная интерферометрия) позволяют осуществлять взаимоконтроль и уточнение фиксируемых смещений.

Внедрение подобной системы мониторинга начато на месторождениях нефти и газа севера Западно-Сибирской мегапровинции.

В первую очередь, для получения объективных и достоверных результатов по определению деформаций земной поверхности создана система наблюдений на основе сети постоянно действующих пунктов GPS на месторождениях ОАО «Газпром» в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) (рис. 1). Исходный пункт сети расположен в здании «Газпром добыча Уренгой». На этом пункте в непрерывном режиме, начиная с 2004 г., определяются его текущие пространственные координаты относительно пунктов сети IGS, а от него периодически определяются пространственные координаты пунктов, установленные на зданиях и сооружениях, расположенных на территории разрабатываемых месторождений дочерних предприятий.

По результатам спутниковых измерений на пунктах сети были получены значения вертикальных смещений, которые приведены на рис. 2.

По данным, приведенным на рис. 2, можно сделать два основных вывода.

1. Общая тенденция по всем приведенным пунктам GPS свидетельствует о наличии смещений земной поверхности в контурах месторождений ЯНАО относительно внешних пунктов сети.

2. Величины «оседаний» на двух пунктах GPS Заполярного месторождения за один год составили

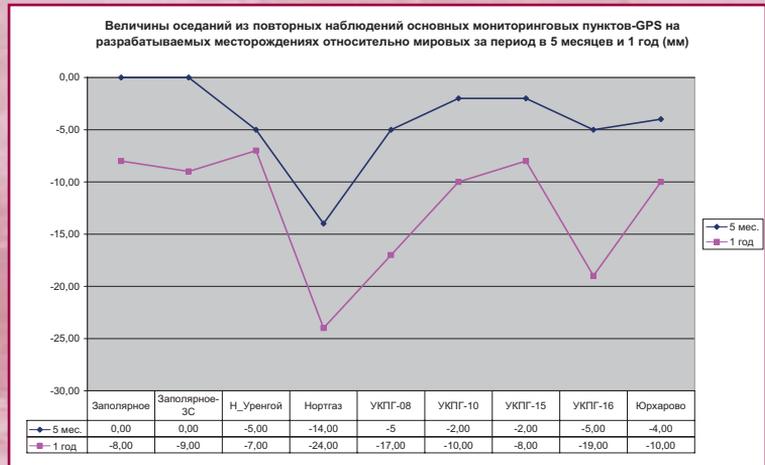


Рис. 2.

Величины смещений на разрабатываемых месторождениях, полученные по результатам спутниковых измерений

порядка 1 см, а в целом за этот же период по другим пунктам не превышают 2,4 см, при точности определения координат не хуже 2 мм.

В качестве высокоточного площадного метода наблюдений за смещениями земной поверхности в 2006 г. в ООО «ВНИИГАЗ» начали применять технологию космической радиолокационной дифференциальной интерферометрии. Она представляет собой эффективное средство прямого определения смещений земной поверхности и деформаций сооружений. Причем существует возможность применять эту технологию как отдельно от вышеперечисленных других 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 деформаций рельефа, произошедших за период между двумя (тремя, четырьмя и более) съемками.

Получаемый в результате интерферометрической обработки файл смещений, как правило, показывает интегральную картину деформаций. Обычно она складывается из различных природных и техногенных составляющих. Точечная калибровка полученных значений

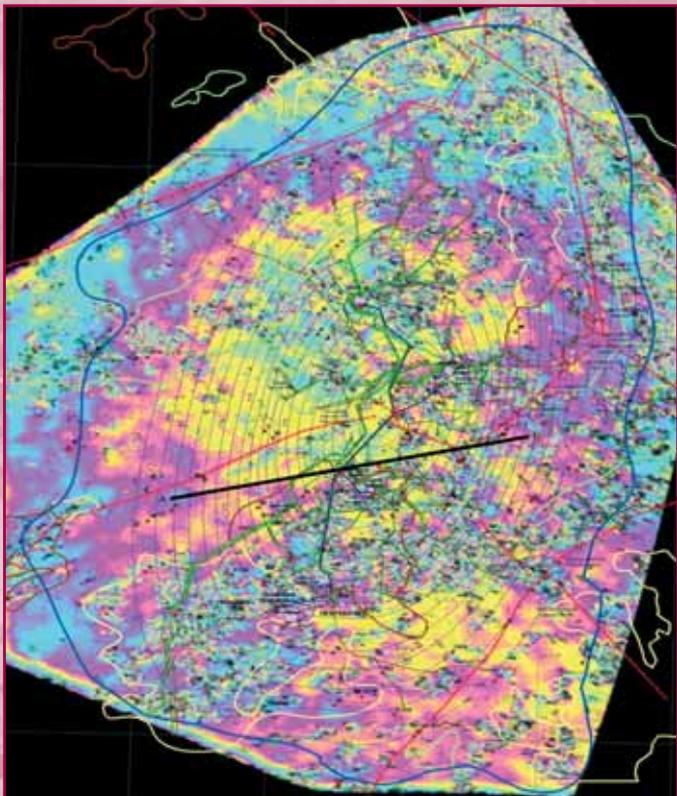


Рис. 3.  
Дифференциальная интерферограмма, показывающая смещения земной поверхности на Заполярном месторождении за период с 2004 по 2005 гг.

на карте смещений земной поверхности может осуществляться по данным спутниковых наблюдений ГНСС.

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 смещений, 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 деформаций земной поверхности на всю площадь месторождения по этим данным не представляется возможным, поскольку между узловыми точками и профилями необходимо будет выполнить обычную интерполяцию. Кроме того, эти наблюдения, как уже говорилось выше, не всегда могут выполняться в оперативном мониторинговом режиме, и промежуток между повторными наблюдениями может достигать 20 лет.

Таким образом, по мнению авторов, каждый из вышеописанных методов наблюдений за деформационными процессами имеет свои преимущества и недостатки, из чего следует, что для взаимного уточнения и взаимоконтроля все эти методы должны применяться в комплексе.



Рис. 4.

Профиль вертикальных смещений земной поверхности за один год по линии АБ, построенный по данным радиолокационной интерферометрии

В заключение приведем пример такого комплексного мониторинга смещений земной поверхности космическими, геодезическими и расчетными методами. Объектом исследований являлось Заполярное газоконденсатонефтяное месторождение.

Для анализа смещений по площади была привлечена интерферометрическая пара радиолокационных снимков за июль 2004 и август 2005 гг., 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. 3. С этой картой совмещены ранее полученные данные по районированию геокриологических процессов, изолинии оседаний прогнозной мульды сдвига горных пород и инфраструктура Заполярного месторождения.

На рис. 4 приведен 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 (черные изолинии на рис. 3).

Далее перейдем от смещений земной поверхности в единицах разности фаз к метрической системе. Поскольку интерферометрический фринг (переход от синего цвета к следующему синему на интерферометрическом изображении на рис. 3) равен 2,5 см (половине длины волны радиолокационного интерферометра), то сглаженные значения оседаний земной поверхности составляют за год 1-1,5 см (иллюстрация на примере профиля АБ, рис. 4). Этот результат практически полностью совпадает с результатами, полученными по наблюдениям на пунктах GPS Заполярного месторождения. Области геокриологических процессов, ранее выделенные на основе дешифрирования космических снимков, практически полностью совпадают с областями мозаичного отображения интерференции на территории месторождения (на профиле — резко изменяющиеся значения).

Полученные 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».