УДК 551.24: 622.1

Ю.О.КУЗЬМИН, *д-р физ.-мат. наук*, *профессор*, *yura@kuzm.msk.ru*
ИФЗ РАН, *Москва*

Yu.O.KUZMIN, *Dr. phys.-mat. sc.*, *professor*, *yura@kuzm.msk.ru*
EFI RAS, *Moscow*

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

На примере ряда месторождений показано, что пространственная приуроченность аварийных ситуаций на скважинах и трубопроводных системах к зонам разломов находит свое естественное толкование в рамках представлений о наличии суперинтенсивных деформаций в этих зонах. В этой связи разработана комплексная система диагностики участков земной поверхности с неустойчивыми деформационными характеристиками, которая основана на последовательной реализации трех взаимоувязанных процедур: детального, метрологически обеспеченного мониторинга процессов (организация геодинамического полигона), комплексной, многовариантной интерпретации наблюдений и селекции различных сценариев возможного негативного развития событий, определение уровня геодинамического риска, прогнозирование экологических и социально-экономических последствий и выработка стратегии превентивных мероприятий.

***Ключевые слова*:** современная геодинамика, разлом, риск.

SCIENTIFIC-METHODICAL FOUNDATION FOR GEODYNAMIC SAFETY OF OIL AND GAS OBJECTS

It was shown on example of a number of deposits that space contemporaneity of emergency situations at wells and pipeline systems to fault zones finds its natural explanation within the concepts of existence of SD processes in such zones. In such situation it is essential to conduct very thoughtful system of diagnostics of crust fields with fluctuation deformation characteristics. For that purpose follow-up realization of three interconnected procedures must be conducted: detailed and measurement-assured monitoring (geodynamic test-area), complex several-variant interpretation of results of the monitoring and selection of different scenarios of possible negative contour, determination of the level of geodynamic risk, forecasting the environmental, social and economic consequences, and formulating strategies for preventive arrangements.

***Key words*:** recent geodynamics, fault, risk.

Среди различных видов последствий длительного освоения месторождений углеводородов (загрязнение нефтепродуктами гидросферы и почв, загрязнение атмосферы продуктами сгорания попутного газа и др.) внимание специалистов стали привлекать геодинамические последствия освоения месторождений углеводородов, такие как аномальные деформации земной поверхности и проявление сейсмичности в районах нефтегазодобычи. Характерно, что эти последствия сопровождаются значительным экономическим ущербом.

Зарегистрированы случаи проявления землетрясений, в том числе сильных, в районах освоения месторождений углеводородов в США, Канаде, Франции, России, Туркменистане, Узбекистане и других регионах.

Установлена связь процессов подготовки этих событий с процессами разработки месторождений нефти и газа.

Выполненный анализ деформационных последствий длительного освоения месторождений углеводородов показал следующее. Инструментально зарегистрированы обширные просадки земной поверхности территорий разрабатываемых месторождений, которые достигают весьма значительных величин: нефтяное месторождение «Willmington» (США) – 8,8 м; нефтяное месторождение «Lagunillas» (Венесуэла) – 4,1 м; нефтяное месторождение «Ekofisk» (Норвегия) – 2,6 м; нефтяное месторождение «Сураханы» (Азербайджан) – 3 м; Северо-Ставропольское газовое месторождение – 0,92 м и т.д.

Наиболее опасные формы этих последствий – сильные деформации наземных сооружений, разрыв коммуникаций, слом обсадных колонн эксплуатационных скважин, порывы промысловых трубопроводных систем [1-3].

Интенсивное (более 1 м), обширное проседание земной поверхности территории всего разрабатываемого месторождения нефти или газа возникает крайне редко, как правило, только при сочетании следующих условий: значительная площадь разрабатываемого месторождения (порядка 100 км^2 и более); значительная мощность продуктивных отложений (как правило, более 100 м); относительно небольшая глубина разрабатываемых интервалов геологического разреза (до 2000 м); высокая пористость пород резервуара (порядка 25-30 % и более); аномально высокое пластовое давление и его относительно быстрое снижение в процессе освоения; превалирование литостатических напряжений над тектоническими в пределах месторождения.

Эти явления объяснимы, если учесть, что подавляющее большинство нефтегазовых месторождений – это локальные поднятия, образованные складками продольного или поперечного изгиба. В эти структуры «вморожены» структурообразующие тектонические усилия, стремящиеся приподнять земную толщу, расположенную над продуктивным горизонтом. Естественно, что обширные просадки территории всего месторождения возможны только в том случае, когда литостатическое давление и сжатие продуктивного пласта, обусловленное добычей, преодолеют напряжения, сформировавшие ловушку.

Именно поэтому, в отличие от месторождений твердых полезных ископаемых, где основной формой негативных деформаций являются обширные просадки земной поверхности территории всего месторождения, на месторождениях жидких углеводородов наиболее опасные деформационные процессы – интенсивные локальные аномалии вертикальных и горизонтальных движений в зонах разломов, возбужденные процессами разработки.

Эти аномальные подвижки высокоамплитудны (50-70 мм/год), короткопериодичны (0,1-1 год), пространственно локализованы (0,1-1 км), обладают пульсационной и знакопеременной направленностью. Среднегодовые скорости относительных деформаций для них чрезвычайно высоки: $5(10^{-5}\text{-}10^{-4})$ в год. Поэтому их называют суперинтенсивными деформациями (СД) земной поверхности, а разломы, в пределах которых они выявляются, определены как «опасные» [1-3], так как в них достигается аномально высокий уровень деформаций, соизмеримых с порогом разрушения, за время, сопоставимое с периодом эксплуатации объектов.

Активизация разломных зон (СД-процессы) – широко распространенное явление. К настоящему времени не удалось обнаружить ни одного месторождения нефти и газа, в пределах которых были проведены мониторинговые измерения деформаций, на которых отсутствовали бы суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах разломов.

Известны многочисленные примеры негативных последствий активизации СД-процессов на месторождениях углеводородов:

• нефтяное месторождение «Усть-Балык» (Западная Сибирь) – смятие и слом обсад-

ных колонн добывающих скважин, порывы промысловых трубопроводных систем;

• нефтяное месторождение «Тенгиз» (Казахстан) – серьезные осложнения при строительстве глубоких скважин;

• Ромашкинское нефтяное месторождение (Татарстан) – смятие и слом обсадных колонн скважин в зонах разломов;

• нефтяное месторождение «Саматлор» (Западная Сибирь) – аварийность скважин в зонах аномальной деформационной активности разломов.

Становится очевидным, что современная аномальная геодинамика разломов является наиболее существенным фактором геодинамической опасности объектов нефтегазового комплекса. Этот фактор опасности нашел отражение в ряде нормативных документов.

В СП 11-104-97 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства» регламентирован уровень геодинамической активности в районах развития опасных природных и техноприродных процессов (п.10), а также в районах современных разрывных тектонических смещений (пп.10-64, 10-65, 10-67). При этом указано, что мониторинг следует проводить даже на территории построенных объектов, если он ранее не выполнялся, а в процессе эксплуатации возникли предположения о влиянии тектонических факторов на устойчивость и надежность сооружений.

В «Критериях оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» (Роскомэкология, 1992) в разделе «Изменения геологической среды» предписано территориям, на которых уровень относительных деформаций 10^{-4} может быть достигнут за 15-30 лет, считать зонами чрезвычайной экологической ситуации.

Все это свидетельствует о необходимости тщательного учета современной аномальной геодинамики недр путем организации геодинамического мониторинга при помощи специально созданных геодинамических полигонов.

К настоящему времени в научной, учебной и справочной литературе укоренились следующие геодинамические определения [1, 2, 4].

Геодинамика – научная дисциплина, изучающая движения, происходящие в земной коре, мантии и ядре, и причины этих движений.

Современная геодинамика – раздел общей геодинамики, изучающий движения земных недр и причины, их вызывающие, когда время действий последних соизмеримо с длительностью самого процесса наблюдений.

Геодинамический мониторинг – система постоянных и (или) непрерывных наблюдений, анализа и прогноза современного геодинамического состояния геологической среды, проводимая в рамках заданного регламента в пределах рассматриваемой природно-технической системы.

Геодинамический полигон – основная форма организации геодинамического мониторинга линейно ограниченных объектов, представляющая собой совокупность повторных, иерархически построенных систем профильных или обсерваторских наблюдений за современным геодинамическим состоянием природно-технических систем.

Создание и функционирование геодинамических полигонов на месторождениях нефти и газа осуществляется для обеспечения промышленной безопасности и охраны недр и регламентируется следующими нормативными документами Ростехнадзора: РД 07-309-99 («Положение о порядке выдачи разрешений на застройку площадей залегания полезных ископаемых», п.43); РД 07-408-01 («Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр», п.16); РД 07-603-03 («Инструкции по производству маркшейдерских работ», пп.262-267).

Обобщая опыт работ на многочисленных полигонах, организованных как в на-

шей стране, так и за рубежом, а также используя существующие нормативные требования, можно сформулировать следующие оптимальные требования к регламенту наблюдений (густота пунктов, точность измерений и интервал между повторными наблюдениями) и составу методов [1-3].

Деформационные наблюдения. ***Вертикальная составляющая.*** Наблюдения выполняются с помощью высокоточного повторного нивелирования или совместно с GPS-наблюдений при соблюдении следующих условий:

• профильные линии должны пересекать территорию месторождения как вкрест, так и вдоль простирания и проложены с максимальным использованием пунктов ГГС;

• конфигурация измерительных профилей должна обеспечивать пересечение разломных зон, объектов инфраструктуры и наиболее крупных населенных пунктов, расположенных в пределах месторождения;

• расстояние между нивелирными пунктами в пределах месторождения должно быть порядка 0,3-0,5 км, в зонах разломов – 0,1 км, а за его пределами – 1 км;

• интервал между повторными наблюдениями должен составлять 2 раза в год в начальной стадии мониторинга (первые 1-2 года), а затем, в зависимости от темпов развития аномальных деформационных процессов, 1 раз в год.

При этом следует иметь в виду, что при более длительных интервалах между повторными наблюдениями (например, 1 раз в 2-3 года и более) полностью утрачивается возможность исключения сезонных (метеорологических) факторов-помех, которые могут принципиально исказить результат наблюдений.

Горизонтальная составляющая. В последние годы горизонтальную компоненту деформаций регистрируют с помощью высокоточных GPS-измерений. Регламент этих наблюдений идентичен регламенту регистрации вертикальной составляющей деформационного процесса. Главное условие – необходимость совмещения наблюдательных систем (спутниковых и наземных).

Гравиметрические наблюдения. При высокоточных, повторных гравиметрических наблюдениях на геодинамических полигонах целесообразно использовать зарубежные гравиметры. Например, гравиметры CG-5 AutoGraf, в которых предусмотрен автоматический расчет поправки за приливы к каждому измерению в реальном масштабе времени, и поэтому нет необходимости прибегать к технологии измерений типа «двойная петля». Гравиметры снабжены технологией автоматического выравнивания прибора и коррекцией за рельеф местности в реальном времени. Эффективная система термостатирования позволяет обеспечивать высокую точность измерений (порядка 1 мкГал) в широком диапазоне температур.

В РД 07-603-03 обозначены также повторные наблюдения за вариациями геомагнитного поля. Однако опыт работы на ряде геодинамических полигонов, организованных на месторождениях нефти и газа, показал, что наличие значительного количества «перемещающихся» в пространстве и времени металлических объектов приводит к формированию «ложных» аномалий и делает этот метод непригодным.

К сожалению, в перечисленных нормативных документах Ростехнадзора и иных ведомств ничего не сказано о геохимических и сейсмологических наблюдениях. В то же время регистрация аномальных изменений гелия однозначно указывает на наличие разломных зон, а сейсмологические наблюдения просто необходимы в тех случаях, когда объекты нефтегазового комплекса расположены в сейсмоактивных регионах (например, объекты проектов «Сахалин-1» и «Сахалин-2»).

Особым образом обстоит ситуация с проведение геодинамического мониторинга шельфовых месторождений. В этом случае, наряду с локальной геофизической сетью (как наземной, так и донной) и использованием спутниковых измерений, необходима

установка береговых высокочувствительных наклономерно-деформографических систем для контроля деформационных процессов, индуцированных разработкой месторождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузьмин Ю.О.* Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М.: Агентство экономических новостей. 1999. 220 с.

2. *Кузьмин Ю.О.* Геодинамический риск объектов нефтегазового комплекса // Российская газовая энциклопедия. М.: Изд-во БРЭ. 2004. С.121-124.

3. *Кузьмин Ю.О.* Геодинамические аспекты эколого-промышленнной безопасности объектов нефтегазового комплекса // «Россия. Третье тысячелетие» (Орган администрации президента РФ). Вып.14 «Безопасность России». 2007. С.110-111.

4. Маркшейдерия: Учебник для вузов / М.Е.Певзнер, В.Н.Попов, В.А.Букринский и др. / МГГУ. М., 2003. 419 с.

REFERENCES

1. *Kuzmin Yu.O.* Recent geodynamics and evaluation of geodynamic risk at use of subsoil resources. Moscow: Economic News Agency. 1999. 220 p.

2. *Kuzmin Yu.O.* Geodynamic risk of oil and gas objects // Russian Gas Encyclopedia. Moscow: Great Russian Encyclopedia. 2004. P.121-124.

3. *Kuzmin Yu.O.* Geodynamic aspects of ecologo-industrial safety of objects of oil-gas complex // Russia. Third Millenium (Administration of President of Russian Federation). Issue 14, Safety of Russia. 2007. P.110-111.

4. Mine Surveying. Text-book for Higher Institutions / Pevzner M.E., Popov V.N., Bukrinsky V.A. et al. Moscow: MSMU. 2003. 419 p.