

# КОНТРОЛЬ ТЕХНОГЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОДУКТИВНОЙ ТОЛЩИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УВ

УДК 622.276.04

**И.И. Твердохлебов**, к.г.-м.н., доцент, Кубанский государственный университет (Краснодар, РФ)

**Статья посвящена вопросам мониторинга техногенного состояния продуктивной толщи морских нефтегазовых месторождений. Используя результаты гидрогеохимического и гидродинамического контроля, получают сведения о загрязнении, истощении и усадке коллектора и его возможности в контролируемый момент противостоять существующим литологическим нагрузкам перекрывающих пород.**

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** МОНИТОРИНГ, ТЕХНОГЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ, ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ.

Статистика освоения нефтегазовых месторождений [1–6] подтверждает возникновение динамических деформаций резервуара в результате отбора флюидов и падения пластового давления в продуктивной толще, что может привести к катастрофическим ситуациям в недрах и на поверхности Земли.

В большинстве случаев техногенный фактор обусловлен существующей технологией разработки месторождений УВ. Скопления флюидов формируют залежь в течение сотен тысяч лет, обеспечив в процессе образования равновесное состояние с окружающей средой. При освоении месторождений за короткий период (25–30 лет) флюид интенсивно извлекается на дневную поверхность, оставляя коллектор в истощенном состоянии, с низким пластовым давлением и сниженным сопротивлением горному давлению вышележащих пород. В результате резервуар может уплотниться, и эта осадка вызовет изменение напряженного состояния вышележащего массива.

По материалам исследований [7–10], изменение напряженного состояния вышележащего массива привело к оседанию земной поверхности на величину от 1,5 до 8,7 м. Максимальное смещение было зафиксировано в Техасе и составило 12 м при скорости оседания горных пород 75 см/год.

Проседание грунта и землетрясения наблюдаются и в старых нефтедобывающих районах. На Старогрозненском месторождении в результате интенсивной добычи флюидов в 1971 г. отмечались незначительные подвижки, что вызвало землетрясение магнитудой 7 баллов. По материалам исследования, эпицентр землетрясения находился в 16 км от г. Грозного. Пострадали жилые и административные здания поселка нефтяников на месторождении и в городе [9].

Особенно опасны проседания поверхности дна для шельфовых месторождений. Значительная просадка донной поверхности над нефтеносным полем Уилмингтон в Калифорнии вызвала необходи-

мость нарастить на 9 м береговые дамбы порта Лонг-Бич [6].

В результате проседания морского дна в норвежской части Северного моря, где располагается месторождение Экофиск, основание стационарной буровой платформы опустилось более чем на 4 м. Замеры показали, что скорость опускания морского дна составила 0,40 м/год. Для безопасности морских оснований пришлось поднимать их с помощью домкратов на 6 м.

Поскольку природные деформационные процессы еще не полностью ясны, но необходимо составить прогноз вероятных факторов техногенного риска, возникающего при освоении шельфовых месторождений, представим следующий механизм увеличения нагрузки вышележащих отложений. Ежегодно к существующей нагрузке перекрывающих пород из-за приноса терригенного материала на дне водоема оседают и накапливаются миллионы тонн различных осадков, увеличивая давление на литосферу этого района. По данным А.П. Лисицына, за год в Мировой океан поступает 22,6 млрд т терригенного материала. Причем до 93 % этого материала накапливается в приконтинентальных



NOTA  
VENE

ТЕРРИГЕННЫЙ (ГЕМИПЕЛАГИЧЕСКИЙ) МАТЕРИАЛ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ПРОДУКТЫ ИСТИРАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД (ЧАСТИЦЫ РАЗМЕРОМ МЕНЕЕ 0,01 ММ), СНЕСЕННЫЕ В МОРЕ И ОТЛОЖЕННЫЕ НА МАТЕРИКОВОМ СКЛОНЕ НА ГЛУБИНАХ ОТ 200 ДО 1000 М.

**I.I. Tverdokhlebov**, Ph.D. in Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Kuban State University (Krasnodar, RF)

### Monitoring the technogenic condition of the productive stratum when developing hydrocarbon offshore fields

The article discusses the matters of monitoring the technogenic condition of the productive stratum of oil offshore fields. By using the results of hydrogeochemical and hydrodynamic monitoring, one obtains information about the contamination, depletion and shrinkage of the collector and its ability to resist current lithological pressures of overlying strata at the time of monitoring.

**KEYWORDS:** MONITORING, TECHNOGENIC CONDITION, DEFORMATION PROCESSES, HYDROGEOCHEMICAL AND HYDRODYNAMIC MONITORING.

(шельфовых) областях. Отметим также, что в приконтинентальных областях наряду с терригенным материалом формируются мощные карбонатные и кремнистые толщи биогенного происхождения, дополнительно увеличивая нагрузку [11]. Значительные массы терригенного материала накапливаются в дельтах крупных рек, формируя мощные осадочные тела, так называемые авандельты. Их подводные части, далеко выдвинутые в моря и океаны, образованы выносами рек Ганга, Брахмапутры, Янцзы, Хуанхэ и Миссисипи. Максимальная протяженность осадочной линзы, созданной реками Гангом и Брахмапутрой, превышает 2000 км, а толщина достигает 16 км. Известно, какую роль играют выносы реки Миссисипи для отложений Мексиканского залива [11].

Дополнительную нагрузку на морское дно создают и гидротехнические объекты, размещаемые в акваториях для разработки шельфовых месторождений. В первую очередь это касается гравитационных платформ и отсыпных островов, масса которых может составлять от 600 тыс. до 2,5 млн т.

Таким образом, снижение пластового давления в коллекторе в результате отбора флюида и постоянное увеличение накапливаемой массы осадочных пород на дне водоема ведут к росту нагрузки на литосферу шельфовых месторождений, создают возможность техногенного уплотнения продуктивной толщи. Следствием

этого процесса могут быть усадка резервуара с последующими явлениями проседания поверхности, разрывы обсадных колонн скважин и разрушение промышленного оборудования.

Современные геодинамические процессы, проходящие в районах сейсмической активности, также являются опасными по масштабам воздействия на окружающую среду и вероятности проявления техногенных землетрясений.

В целях предупреждения и предотвращения техногенных землетрясений на крупных объектах разработки формируются полигоны по контролю динамического состояния литосферы. Для этого на территории месторождения размещается специализированный полигон, оснащенный реперами и датчиками, «следящими» за гипсометрическим положени-

ем наблюдаемого объекта. Такие же полигоны для контроля динамического состояния донных поверхностей акваторий стали размещать и в районах шельфовых месторождений. Разработаны методы прогноза состояния продуктивной толщи, основанные на принципах расчета [3, 7, 10].

Следует заметить, что приведенные методы либо фиксируют событийное наступление процесса, либо прогнозируют его вероятность. Наиболее приемлемой формой был бы контроль стадийной последовательности развития процесса. Например, в ходе наблюдения за изменением состава попутных вод, контактирующих с подземной средой, можно определить состояние коллектора и его возможности в контролируемый момент противостоять существующим литологическим





нагрузкам перекрывающих пород. Иными словами, необходим индикатор, позволяющий судить о вероятности потери устойчивости коллектора. Таким индикатором могут быть пластовые воды месторождений. О влиянии упругих деформаций на геохимический состав флюидов на всех этапах развития землетрясения говорится в [2]. Такой подход позволит отслеживать и выбирать момент для принятия превентивных мер, при котором стадия развития процесса деформации горного массива еще не достигла критических пределов.

Разработка способов управления состоянием массивов горных пород в связи с решением экологических проблем отдельных территорий является одной из приоритетных задач экологической геологии [12]. Известно, что гидросфера как наиболее подвижная среда в недрах вмещающих пород в силу особенности взаимодействия с горными породами и флюидными системами несет в себе значительный объем информации, по которой можно судить о составе и состоянии окружающей среды, в том числе и техногенном.

Определяя состав, тип и количество попутной воды, выносимой с добываемым сырьем, зная гидрохимическое и гидродинами-

ческое фоновое состояние пластовых вод залежи, вмещающих и перекрывающих пород, можно контролировать процессы, происходящие в коллекторе и окружающей среде. Используя комплекс методов контроля гидродинамического, гидрогеохимического и мехпримесей, можно решать такие задачи экологического мониторинга, как загрязнение, истощение и усадка резервуара, что позволяет следить за состоянием и изменениями в залежи во времени, а также определить момент, когда в коллекторе начинают формироваться опасные пустоты, которые могут спровоцировать его усадку.

Изменения в коллекторе происходят с начала разработки залежи. В результате отбора сырья в продуктивной толще снижается пластовое давление, нарушается равновесие, существовавшее между резервуаром и вмещающими породами. Вследствие этого к депрессионным зонам начинают подтягиваться пластовые воды, нередко «чуждых» для эксплуатационного объекта, мигрировавшие из прилегающих горизонтов. Часто составы «чуждых» вод отличаются от состава внутренних вод коллектора, что при их смешивании приводит к образованию вод иного типа. Так, например, при наличии в «чуж-

дых» водах высоких концентраций токсичных и/или агрессивных элементов ( $H_2S$ ) или рапы происходит «загрязнение» вод коллектора, и появляется опасность их воздействия на технологическое оборудование и окружающую природную среду. С другой стороны, изменение состава внутренних «загрязненных» вод облегчает задачу гидрохимического и гидродинамического контроля по определению их местоположения в резервуаре, выделению зоны распространения и объемов поступления. Это способствует возможности отслеживать зоны, занятые «загрязненными» водами, зоны, насыщенные УВ-сырьем, а также слабонасыщенное пространство, образовавшееся после отбора флюида. После этого можно производить расчет надежности слабонасыщенных зон коллектора, противостоять горному давлению перекрывающих пород.

Истощение залежи отмечается при разработке месторождения на истощение, т. е. отбор сырья происходит без компенсированного подтока флюида (подошвенных вод). Это явление наблюдается при недостаточной гидродинамической связи с подстилающими водами или их отсутствием. По этой причине количество «подтягиваемых» пластовых вод не в состоянии компенсировать извлекаемые объемы, что способствует формированию зон слабонасыщенного пространства. Коллектор истощается, снижается противодействие, увеличивается фактор горного давления перекрывающих пород. Такая ситуация при определенных обстоятельствах может вызвать усадку продуктивной толщи, изменение напряжений в вышелегающем массиве горных пород.

Усадка залежи способна спровоцировать чрезвычайные и даже катастрофические события, такие как проседание донной поверхности, образование оползней и активизация разломов,

возникновение землетрясений [8]. Контролируя с начала разработки количество механических примесей в составе извлекаемой продукции по каждой скважине, снижение пластового давления, объемы и состав попутных вод, можно определить зоны опасного состояния коллектора, не устойчивые к процессам усадки. Увеличение количества механических примесей в первую очередь будет отмечаться в зонах разуплотнения горных пород как наиболее ослабленных тектоническими процессами. К таким зо-

ЭКОФИСК (EKOFIISK) — ГАЗОНЕФТЯНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ В НОРВЕЖСКОМ СЕКТОРЕ СЕВЕРНОГО МОРЯ. ВХОДИТ В ЦЕНТРАЛЬНОЕВРОПЕЙСКИЙ НЕФТЕГАЗОНОСНЫЙ БАССЕЙН. ОТКРЫТО В 1969 Г., РАЗРАБАТЫВАЕТСЯ С 1971 Г., С 1977 Г. ВЕДЕТСЯ ДОБЫЧА ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА.



нам можно отнести зоны развития кавернообразования, разбитые трещинами и т. п.

Таким образом, комплекс методов контроля гидродинамического, гидрогеохимического попутных вод и мехпримесей, выносимых с добываемым сырьем, способствует своевременному выявлению техноген-

ных изменений, происходящих в продуктивной толще, и позволяет рассчитать соответствующие методы разработки, сохраняющие устойчивость пласта.

Подробное изложение контроля попутных вод и их идентификации с использованием гидродинамического и гидрогеохимического методов дается в монографии [13]. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гриценко А.И., Зотов Г.А. Научно-прикладные геодинамические проблемы разработки месторождений природного газа // Проблемы геодинамической безопасности. СПб.: ВНИИМ, 1997. С. 186–193.
2. Петренко В.И., Зиновьев В.В., Зленко В.Я. и др. Геолого-геохимические процессы в газоконденсатных месторождениях и ПХГ. М.: Недра-Бизнесцентр, 2003. 511 с.
3. Ремизов В.В., Деметьев Л.Ф., Кирсанов Н.Н. Геолого-технологические принципы освоения нефтегазоконденсатных месторождений Тюменского Севера. М.: Недра, 1996. 362 с.
4. Тупысев М.К. Техногенные деформационные процессы при разработке газовых месторождений. М.: ИРЦ Газпром, 1997. 28 с.
5. Hamlington J.M., Miller A.V., Prins M.D. Subsidence-induced Shear Failures above Oil and Gas Reservoirs. Rock Mechanics 273, 1992.
6. Kovach, R. L. Source Mechanisms for Wilmington Oil Field, California, subsidence earthquakes, Bull. Seismol. Soc. Am. 64, 699–711.
7. Козлов С. А. Оценка устойчивости геологической среды на морских месторождениях углеводородов в Арктике // Нефтегазовое дело. 2005. № 1. С. 29.
8. Мельников Н.Н., Калашник А.И., Калашник Н.А. Техногенные геодинамические процессы при освоении нефтегазовых месторождений шельфа Баренцева моря // Вестник МГТУ. 2009. № 4. Т. 12. С. 601–608.
9. Твердохлебов И.И., Твердохлебова Ю.И. Анализ седиментационных процессов в Северном Каспии // Мат-лы IV Междунар. конф. «Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечения безопасности экосистем Каспийского шельфа». Астрахань: Изд-во АГТУ, 2013.
10. Maury V.M., Grasso J.R., Wittlingef G. Monitoring of Subsidence and Induced Seismicity in the Lacq Gas Field (France): The Consequences on Gas Production and Field Operation. 32 Engineering Geology 123, 1992.
11. Бурлин Ю.К., Конохов А.И., Карнюшина Е.Е. Литогенез нефтегазоносных толщ: Учебник. Астрахань: Изд-во Астраханского гос. ун-та, 2003. 181 с.
12. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология: Учебник. М.: Геоинформмарк, 2002. 415 с.
13. Твердохлебов И.И. Методологии гидрогеохимического контроля разработки и освоения месторождений углеводородного сырья со сложным. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2012. 212

#### REFERENCES

1. Gritsenko A.I., Zotov G.A. Scientific and Applied Geodynamic Problems of Natural Gas Field Development. Problemy geodinamicheskoy bezopasnosti = Geodynamic Safety Problems, Saint Petersburg: All-Russian Research Institute of Mining Geomechanics and Survey, 1997, P. 186–193. (In Russian)
2. Petrenko V.I., Zinoyevyev V.V., Zlenko V.Ya., et al. Geological and Geochemical Processes in Gas Condensate Fields and UGSF. Moscow, Nedra – Business Center, 2003, 511 p. (In Russian)
3. Remizov V.V., Demyetev L.F., Kirsanov N.N. Geological and Technological Principles of Oil and Gas Condensate Field Development in the North Tyumen Region. Moscow, Nedra, 1996, 362 p. (In Russian)
4. Tupysev M.K. Technogenic Deformation Processes when Developing Gas Fields. Moscow, Gazprom Information and Advertising Center, 1997, 28 p. (In Russian)
5. Hamlington J.M., Miller A.V., Prins M.D. Subsidence-induced Shear Failures above Oil and Gas Reservoirs. Rock Mechanics 273, 1992.
6. Kovach R. Source Mechanisms for Wilmington Oil Field, California, subsidence earthquakes, Bull. Seismol. Soc. Am. 64, 699–711.
7. Kozlov S.A. Assessing the Sustainability of the Geo-Environment at Hydrocarbon Offshore Fields in the Arctic. Neftegazovoe delo = Oil and Gas Industry, 2005, No. 1, P. 29. (In Russian)
8. Melnikov N.N., Kalashnik A.I., Kalashnik N.A. Technogenic Geodynamic Processes when Developing Oil and Gas Fields Offshore the Barents Sea. Vestnik MGTU = Bulletin of Moscow State Technical University, 2009, No. 4, Vol. 12, P. 601–608. (In Russian)
9. Tverdokhlebov I.I., Tverdokhlebova Yu.I. Analysis of Sedimentary Processes in the North Caspian. Materials of the 4th International Conference “Up-to-Date Technologies of Developing Hydrocarbon Crude Fields and Ensuring the Safety of Ecosystems of the Caspian Shelf”. Astrakhan, Publishing House of Astrakhan State Technical University, 2013. (In Russian)
10. Maury V.M., Grasso J.R., Wittlingef G. Monitoring of Subsidence and Induced Seismicity in the Lacq Gas Field (France): The Consequences on Gas Production and Field Operation. 32 Engineering Geology 123, 1992.
11. Burlin K.Yu., Konyukhov A.I., Karnyushina E.E. Oil and Gas Stratum Lithogenesis: A Textbook. Astrakhan, Publishing House of Astrakhan State University, 2003, 181 p. (In Russian)
12. Trofimov V.T., Ziling D.G. Ecological Geology: A Textbook. Moscow, Geoinformmark, 2002, 415 p. (In Russian)
13. Tverdokhlebov I.I. Methodologies of Hydrogeochemical Control over the Development and Exploration of Hydrocarbon Crude Fields with a Complex. Astrakhan: Publishing House of Astrakhan State Technical University, 2012, 212 p. (In Russian)