

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

© А.А.Фейзуллаев, 2011

**ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ
РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА****А.А.Фейзуллаев***Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А*

В статье дан обзор изученности проблемы развития деформационных процессов на длительно разрабатываемых месторождениях нефти и газа различных бассейнов мира и сопутствующих им экологических последствий. Более детально эти процессы рассмотрены применительно к старейшему нефтеносному району, Абшеронскому полуострову, где месторождения сильно истощены, а уровень падения пластовых давлений достигает 80% от первоначальных. Экологическими последствиями этого явления стали: развитие в районе месторождений Балаханы-Сабунчи-Рамана, Сураханы, Гарачухур, Биби-Эйбат интенсивного (до 47 мм/год) процесса проседания земли и их подтопление, возникновение индуцированной сейсмичности (землетрясение в Сураханах в 1937 г.).

С целью прогнозирования развития геодинамических процессов рекомендуется заблаговременное обустройство добывающих комплексов системой сейсмического и геодинамического контроля.

Введение

Как известно, при длительной разработке месторождений углеводородов из недр извлекаются большие объемы нефти, газа и сопутствующей пластовой воды. Это приводит к существенному падению давления в резервуарах (Poland and Davis, 1972; Mes, 1990; Donaldson et al., 2003; Xie et al., 2003 и др.), составляющего 50-80% ниже гидростатического давления (Ryder et al., 1995; Xie et al., 2003 и др.). Такие давления классифицируются как аномально-низкие пластовые давления (АНПД) (Кошляк, 2002; Huffman and Bowers, 2002 и др.).

Падение пластового давления в резервуарах приводит к увеличению эффективного давления, что в свою очередь вызывает деформационные процессы: снижение пористости, проницаемости пород и их дополнительное уплотнение (Van der Кнаар и Van der Vlis, 1967; Абасов и др., 1997; Vanhasselt, 1992; Moos and Chang, 1998; Иманов, 2012 и др.). Этот процесс находит свое отражение в изменении экологической ситуации на промысловых территориях: развитие проседаний

грунта (Mayuga and Allen, 1970; Holzer and Bluntzer, 1984; Vanhasselt, 1992; Bondor and de Rouffignac, 1995; Fielding et al., 1998; Martin and Serdengecti, 1984; Morton and Buster, 2002; Patel and Kulkarni, 2007 и др.), их подтопление (Pratt and Johnson, 1926; Serebryakov and Chilingar, 2000 и др.); проявление «индуцированной/наведенной» сейсмичности (Krishna Rao, 2003; Адушкин и Турунтаев, 2005; Турунтаев, 2005; Leng and Preston, 2005 и др.) и, в конечном итоге, нанесение ущерба инфраструктуре (поломке скважин, платформ, трубопроводов, мостов и т.д.) (Poland and Davis, 1972; National Research Council, 1991; Van der Kooij et al., 1995 и др.), восстановление которых требует значительных инвестиций (National Research Council, 1991; Xu, 2002 и др.).

В данной статье дан обзор изученности проблемы в мире и рассмотрены явления проседания и сопутствующие им экологические последствия на Абшеронском полуострове, где месторождения нефти и газа разрабатываются более века и в настоящее время сильно истощены.

Результаты исследований

Обзор явлений проседания земли и экологических последствий в различных нефтегазоносных бассейнах мира

Факт оседания дневной поверхности (а для морских нефтегазозаботок – морского дна) вследствие добычи нефти и газа является общеизвестным.

Выделяют две основные причины проседаний земной поверхности: естественные, связанные с геологическим процессом уплотнения осадков, и техногенные, вызванные деятельностью человека. Первые, хотя и имеют широкое распространение, характеризуются относительно низкими скоростями проседания земли в сравнении со вторыми. Так, например, исследование истории добычи и пластового давления на нескольких крупных месторождениях нефти и газа в Штате Луизиана (США) показало, что темпы проседания земли, связанные с человеческой деятельностью, составляют 9 мм/год или 23 мм/год (в зависимости от того, получены ли эти данные по результатам повторного нивелирования или записей уровня моря), в то время как геологические темпы проседания равны около 3 мм/год (Morton et al., 2001; Morton and Buster, 2002).

На юге Луизианы геодезическое повторное нивелирование выявило темп исторического погружения в 9,4 мм/год и в среднем 6,4 мм/год вдоль Bayou Petit Caillou в Terrebonne Parish (Morton et al., 2001; Morton and Buster, 2002). Эти измеренные значения проседания земли значительно превышают темпы геологического оседания, рассчитанные как <3 мм/год в течение последних 5000 лет в области Terrebonne (Roberts, 1994).

R.A.Morton и др. (2001) оценили темп проседания на месторождении Port Neches в Техасе в период максимальной добычи и установили, что расчетная скорость оседания 30 мм/год на три порядка выше, чем темпы геологического оседания на прибрежной равнине (Paine, 1993; Morton et al., 2001).

Средняя историческая скорость проседания в дельте Миссисипи – 12 мм/год (Shinkle and Dokka, 2004), что примерно на порядок выше, чем средне геологические темпы оседания Penland et al. (1988).

Выделяют три типа отбора человеком из недр флюидов, которые при благоприят-

ных геологических условиях вызывают заметные проседания земли: (1) добыча нефти, газа и сопутствующей воды, (2) отбор горячей воды или пара для геотермальной энергии и (3) отбор грунтовых вод. Каждый из трех типов отбора вызывает максимальное проседание примерно одного и того же порядка величины. Так, например, широко известное нефтепромысловое оседание земли на месторождении нефти Wilmington в Лос-Анджелесе, штат Калифорния, достигло 9 метров. Отбор горячей воды для геотермальной энергии в Wairakei, Новая Зеландия, привел к 6-7 метрам проседания земли, а отбор грунтовых вод в Мехико (Мексика) и в долине Сан-Хоакин в Калифорнии (США) спровоцировал 9 метров понижения земной поверхности (Maugu and Allen, 1970).

Над разрабатываемыми залежами углеводородов значительное проседание наблюдается при наличии всех или некоторых из следующих условий: 1) значительное снижение пластового давления в период добычи углеводородов (Poland and Davis, 1972; Mes, 1990; Donaldson et al., 2003; Patel and Kulkarni, 2007 и др.); 2) добыча углеводородов из большого вертикального интервала (Hejmanowski, 1993); 3) нефть или газ, или оба содержатся в слабо уплотненных или слабо сцементированных породах (Van der Knaap и Van der Vlis, 1967; Geertsma, 1973); 4) резервуары имеют относительно небольшую глубину залегания и значительную протяженность (Geertsma, 1973; Finol and Farouq Ali, 1975).

Проседания земной поверхности, связанные с интенсивной добычей углеводородов, отмечены во многих регионах мира. Впервые такое явление было выявлено в 1926 г. Pratt and Johnson (1926) на нефтяном месторождении Goose Creek недалеко от Хьюстона, штат Техас. Здесь добыча нефти из рыхлых песков и глин с глубины 350-1400 м (мощность продуктивного интервала более 300 м) в период 1917-1925 гг. привела к проседанию грунта в 1 м (Pratt and Johnson, 1926; Snider, 1927; Holzer, 1990).

Выполненные Н.Н.Мельниковым и др. (2009) сбор, систематизация и анализ опубликованных данных по более чем 130 разрабатываемым нефтегазовым месторождениям выявили явление оседания земли на промы-

словых территориях от десятков сантиметров до нескольких метров. На 15 месторождениях в различных регионах зафиксированы вертикальные оседания от 1,5 до 8,7 м.

В области Равенна, Италия, проседание земли, благодаря интенсивному извлечению грунтовой воды из неуплотненного четвертичного бассейна и газа из ряда дочетвертичных резервуаров за период 1950-1986, достигло 1,30 м (Gambolati et al., 1991).

На месторождениях нефти Belridge и Lost Hills в Калифорнии (США) темп проседания, который изменчив в пространстве и во времени, достигает 30-40 см ежегодно (Van der Koop, 2012).

В Хьюстоне-Галвестоне, район Техаса, где существует, по крайней мере, 110 месторождений нефти и газа, двадцать девять месторождений были пересечены линиями повторного нивелирования. Локальные проседания грунта установлены на шести месторождениях: Alco-Mag, Chocolate Bayou, Goose Creek, Hastings, Mykawa и South Houston (Holzer, 1990). Темпы проседания в области Хьюстона-Галвестона (до 120 мм/год) превысили естественные темпы проседания, оцененные до 13 мм/год. Полагается, что такие быстрые темпы проседания и погружение до 3 м были вызваны крупномасштабным изъятием флюидов, формирующим большую чашу проседания (Gabrysch and Copland, 1990).

Максимальное совокупное проседание земли с темпами до 0,26 м в области интенсивной добычи нефти, начатой с 1929 г. из неглубоких (300-1000 м), неуплотненных резервуаров в Costa Oriental (Восточное Побережье) озера Маракайбо в западной Венесуэле вызвали существенные проседания земли, охватившие более чем 2000 км². К апрелю 1990 г. максимальное совокупное проседание грунта составило 5,03 м, а к апрелю 2002 г. оно достигло целых 6 м (Murgia, 1991).

Проседание земной поверхности на месторождении Гронинген в северной части Нидерландов, где добыча природного газа началась в 1964 г. согласно оценке, сделанной в 1990 г., составило 33-43 см (Pöttgens, 1991).

Темпы отбора флюидов, спровоцировавших оседания поверхности земли на месторождении Cold Lake, Канада, составляют 36 см в год (Production Induced..., 2006).

На месторождениях в Гуджарате, Индия, темп падения давления в газовых скважинах колеблется от 0,2 до 0,4 МПа/год. Выявлена хорошая корреляция между добычей газа и проседаниями земли. Наибольшая чаша проседания наблюдается в районе, где расположено наибольшее количество скважин, добывающих газ. По данным GPS исследований средняя скорость проседания земли изменяется от 0,3 до 1,8 мм/месяц. Максимальное оседание наблюдалось в 12,9 см в зоне максимального падения пластового давления (Kulkarni, 2006; Patel and Kulkarni, 2007).

Установлено, что быстрое снижение добычи углеводородов приводит к сокращению темпов проседания. Поэтому, как правило, начальный интенсивный период разработки месторождения характеризуется более высокими темпами проседания, но затем они замедляются, или возможно даже останавливаются (Wetland Subsidence..., 2001).

Обычно проседания на разрабатываемых нефтегазовых месторождениях имеют локальный характер. Однако добыча УВ из одного и того же пласта множества месторождений может привести к региональной разгерметизации и региональному проседанию (Kreitler et al., 1988).

Проседание может быть сдержано восстановлением/поддержанием пластового давления. Однако процесс восстановления пластового давления может быть успешным, если только все блоки, ограниченные сбросами, работают как одно целое (Holzer, 1990). По мнению D. Moos and C. Chang (1998), мероприятия по поддержанию давления в резервуаре путем закачки в пласт воды и других методов, применяемых на многих месторождениях мира, позволяют восстановить давление не более чем на 10%. Это связано с тем, что неупругие деформации пород, сопровождающие падение пластового давления, более существенны, чем упругие, что приводит к необратимому процессу уплотнения пород резервуара (Bruno and Bovberg, 1992; Иманов, 2012). Поэтому, восстановление пластового давления даже до первоначального значения не приводит к восстановлению первоначальной емкости резервуара (Doornhof et al., 2006).

Широко распространенные процессы уплотнения резервуаров и проседания земной

поверхности относятся к категории опасных природных явлений, сопровождающихся серьезными экологическими и экономическими последствиями. К экологическим последствиям относятся явления подтопления зон проседания земли и повышение сейсмичности в пределах этих зон, которые в свою очередь сопровождаются экономическим ущербом.

Проседания даже до метра в течение от 10 до 20 лет может привести к значительным потерям земли и повреждению инфраструктуры и имущества (Morton et al., 2006; Leedy, 2007 и др.).

Процессы подтопления территорий в результате проседаний земли наиболее существенны в прибрежной зоне, где даже небольшое проявление проседания грунта может вызвать затопление. Такое явление впервые описано над месторождением нефти около Хьюстона, Техас (Pratt and Johnson, 1926). Проседание земли, достигшее в результате извлечения нефти из основного Уилмингтонского месторождения почти 9 м (Mayuga and Allen, 1970), привело к затоплению улиц и причалов в городе и порте Лонг-Бич, Калифорния, и вызвало повреждение мостов, железных дорог и других портовых сооружений (Poland and Davis, 1972). В Венесуэле проседание из-за истощения резервуара привело к серьезному наводнению по побережью озера Маракайбо. К группе риска относится и газовое месторождение Groningen в Нидерландах, где проседание только порядка десятков сантиметров, порождает существенные проблемы, так как большая часть Нидерландов ниже уровня моря и поэтому защищена плотинами (дамбами) (Murgia, 1991).

Проседание на месторождении Goose Creek в штате Техас, США, составившее приблизительно 1 метр было достаточным, чтобы изменить ландшафт от нагорья, покрытого растительностью, до открытой воды. Подобный пример проседания грунта, приведшего к замене заболоченного места открытой водой, произошел также на месторождении Port Neches, Техас, между 1956 и 1978 гг. (Wetland Subsidence..., 2002).

В результате извлечения из недр флюидов были заболочены большие нефтеносные области и в Западной Сибири (Serebryakov, Chilingar, 2000).

Установлено, что деятельность человека может также спровоцировать возникновение или усиление сейсмической активности на нефтегазодобывающих территориях. Причем эта активизация провоцируется как отбором, так и внедрением в эту систему дополнительной энергии/вещества. Такая сейсмичность получила название техногенной (или индуцированной) сейсмичности. Информация о техногенной сейсмичности, связанной с разработкой месторождений нефти и газа, стала появляться с начала 1920-х годов. Этой проблеме посвящен целый ряд работ (Смирнова, 1977; GCA GS Transactions, 1985; Mereu et al., 1986; Simpson, 1986; Wetmiller, 1986; Grasso, 1992; Исхаков и др., 1992; Николаев, 1995; Адушкин и др., 2000; Adushkin et al., 2000; Sze et al., 2005; Leng and Preston, 2005; Нестеренко и др., 2010 и др.).

Так, например, предполагается, что некоторые из более современных землетрясений в Техасе, а также несколько последних землетрясений в прибрежной равнине залива Галф Кост связаны с интенсивным отбором флюидов из нефтяных и газовых месторождений (GCA GS Transactions, 1985).

Примером одного из крупных индуцированных землетрясений является сейсмическое событие, произошедшее 10 декабря 1967 г. в регионе Коуна в западном Махараштра, Индия. Это техногенное землетрясение имело магнитуду 6,3 по шкале Рихтера (Krishna Rao, 2003).

Однако, как правило, магнитуда индуцированных землетрясений является маленькой по сравнению с естественными землетрясениями. Так, например, в Нидерландах самое мощное естественное землетрясение, зарегистрированное в 1992 г. в южном городе Roermond, имело магнитуду 5,8 по шкале Рихтера, в то время как магнитуды большинства землетрясений, вызванных извлечением из недр газа, изменялись в пределах 2-2,8 по шкале Рихтера, с самой сильной, зарегистрированной магнитудой в 3,5 (Donovan, 2012).

Вероятность возникновения техногенных землетрясений зависит не только от деятельности человека, но и от особенностей природных деформационных процессов. Их сочетание может привести к значительным смещениям земной поверхности и к возник-

новению нежелательных аварийных ситуаций, таких как разрывы трубопроводов, выход из строя эксплуатационных скважин, разрушение жилых и производственных строений, коммуникаций.

В районах, где отмечается низкий уровень естественной сейсмичности, энергия, высвобождаемая техногенными землетрясениями, как правило, невелика. Сотрясения, связанные с такими событиями, слабо ощущаются на поверхности (зачастую просто не ощущаются человеком).

В районах же с высоким уровнем естественных тектонических напряжений даже слабые воздействия человека могут привести к возникновению сильной триггерной сейсмичности. Не исключается связь между техногенным воздействием и появлением сильных, иногда катастрофических землетрясений в верхней и средней части земной коры (Адушкин и Турунтаев, 2005; Турунтаев, 2005), как в случае Газлийских землетрясений в Узбекистане (Акрамходжаев и др., 1984; Plotnikova et al., 1990).

Исследования показывают, что интервал времени между началом разработки месторождений и спровоцированной активизацией сейсмической активности для газовых месторождений меньше (2-16 лет), чем нефтяных (7-39 лет) (Кононова, 2011).

Современные методы позволяют проводить мониторинг деформационных процессов, протекающих в резервуаре месторождения и окружающих его породах. Эта информация важна как для прогноза опасного нарастания сейсмической активности, так и для оценки изменения в пространстве и во времени флюидодинамических характеристик коллекторов, реакции резервуара на воздействие с целью увеличения добычи, определения путей миграции флюидов и т.д. Сейсмические события, группирующиеся в пространстве, могут служить индикаторами зон активного современного трещинообразования и повышенной проницаемости (Турунтаев, 2005).

В последнее время наряду с активным сейсмическим просвечиванием все больше внимания уделяется так называемому пассивному сейсмическому мониторингу (Mereu et al., 1986; Phillips et al., 2002; Sze et al., 2005 и др.) с помощью чувствительной сети сейсмо-

метров. Слабые сейсмические события, как возбужденные, так и являющиеся следствием естественных деформационных процессов, несут важную информацию о пространственном расположении активно деформирующихся областей осадочного разреза, включающего месторождение углеводородов.

Данные о слабой сейсмичности и микросейсмичности могут быть использованы для выявления активных в настоящее время разломов, определения положения фронта вытеснения нефти водой или газом и оценки временных вариаций проницаемости и пористости коллектора (County et al., 1998; Турунтаев, 2005).

Как отмечалось выше, деформационные процессы, сопровождающие процесс разработки месторождений нефти и газа, наносят серьезный ущерб инфраструктуре: приводят к поломке скважин, трубопроводов, мостов и оседанию платформ, ремонт которых является очень дорогостоящим.

Так, например, на месторождениях нефти Belridge и Lost Hills в Калифорнии (США), где добыча нефти из слоя диатомового песчаника производится более десяти лет, породы непрерывно уплотняются из-за снижения давления в резервуаре. Это сопровождается проседанием земли со скоростью 30-40 см в год. Связанное с этим сжатие и локальное разрушение песчаника вызывает частые сломы колон нефтяных скважин. Стоимость замены их составляет миллионы долларов в год и может временно остановить добычу нефти (Van der Kooij et al., 1995).

По одной из современных оценок ежегодный ущерб, благодаря проседанию и предотвращению последствий, в пределах только США составляет более чем 100 миллионов долларов (National Research Council, 1991).

Снижение воздушного зазора платформ на месторождении Ekofisk (Северное море), как следствие ее просадки, потребовало выполнение в 1986 г. дорогостоящих подъемных операций на сумму около 455 млн. долларов США и работ по защите бетонным каркасом центрального нефтесборного резервуара (около 500 млн. долл. США) (Ху, 2002).

Ориентировочная стоимость работ и защитных мероприятий по предотвращению затопления в порте Лонг-Бич, Калифорния,

связанного с разработкой месторождения Уилмингтон, составила в ценах 70-80-х гг. прошлого столетия более 6 млн. долларов (Кашников, Ашихмин, 2007).

Хотя макропроявления техногенных/индуцированных землетрясений на объектах нефтегазоразработок относительно редки, однако их разрушающее влияние, а также вызываемый социально-экономический и экологический ущерб могут быть очень велики.

О проседаниях земли и экологических последствиях на нефтепромысловых территориях Абшеронского полуострова

Как известно, история нефтедобычи на Абшеронском полуострове берет свое начало еще с конца XIX века, когда отбор нефти из недр производился с помощью неглубоких, вырытых вручную колодцев. Позднее с внедрением технологии бурения скважин интенсивность отбора углеводородных флюидов из резервуаров непрерывно увеличивалась и к

концу XX века превысила миллиард тонн нефти (плюс извлечение большого объема попутного газа и сопутствующей пластовой воды). Это привело к резкому падению пластовых давлений.

Выполненный анализ показал, что в эксплуатируемых объектах продуктивной толщи (ПТ) Абшеронского полуострова начальные пластовые давления, примерно соответствовавшие гидростатическим, в процессе разработки упали от 52,3% (Гала) до 80,6% (Чахнагляр-Сулутепе) (средние по месторождениям значения). Причем в резервуарах *верхнего отдела ПТ* уровень спада начального давления больше (в среднем около 66,1%), чем в резервуарах *нижнего отдела ПТ* (около 58,9%) (таблица).

Более наглядно уровень современных давлений в сравнении с начальными представлен на графике изменения их с глубиной, построенного по данным около 15 месторождений Абшеронского полуострова (рис. 1).

Уровень падения пластового давления (в % относительно начальных давлений) на месторождениях нефти и газа Абшеронского полуострова

Падение давления, в % от первоначального пластового давления	Месторождения										
	Балаханы-Сабунчи-Раманы	Сураханы	Гарачухур	Биби-Эйбат	Биби-Эйбат-Дениз	Бинагады	Чахнагляр-Сулутепе	Бузовны-Машага	Гала	Локбатан-Пула-Гушхана	Шабан-даг
	Верхний отдел ПТ										
Кол-во данных	-	29	16	23	5	-	-	2	8	21	4
Пределы	-	23,7-94,3	25,7-94,1	35-91,2	79,2-92,3	-	-	62,4-65,8	42,9-77,3	53,5-77,8	37,5-75,6
Средняя	-	68,6	71,6	64,4	85,9	-	-	64,1	59,1	66,3	49,0
Нижний отдел ПТ											
Кол-во данных	50	25	12	6	6	13	12	8	12	4	2
Пределы	39,0-92,9	18,5-76,3	22,9-78,2	53,3-74,7	53,9-69,4	56-96,2	50-94,5	55,7-73,8	16,1-74,9	47,6-71,4	52,6-70,8
Средняя	74,6	52,8	57,0	63,8	62,1	79,1	80,6	68,0	47,8	61,8	61,7
В целом ПТ											
Кол-во данных	50	54	28	29	11	13	12	10	20	25	6
Пределы	39,0-92,9	18,5-94,3	22,9-94,1	35-91,2	53,9-92,3	56-96,2	50-94,5	55,7-73,8	16,1-77,3	47,6-77,8	37,5-75,6
Средняя	74,6	61,3	63,4	64,3	72,9	79,1	80,6	67,2	52,3	65,6	53,3

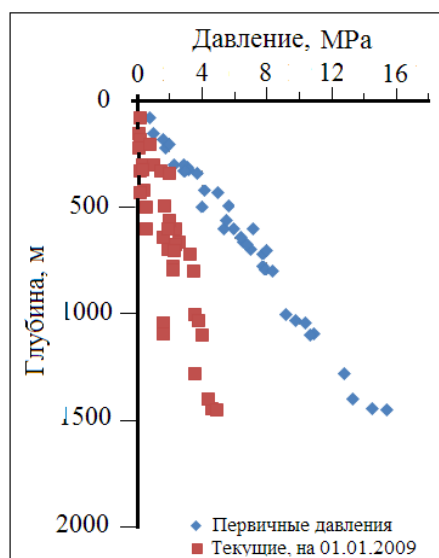


Рис. 1. Изменение с глубиной начальных и текущих (на 01.01.2009) пластовых давлений на месторождениях Абшеронского полуострова

Естественным следствием падения пластовых давлений на месторождениях Абшеронского полуострова должно быть развитие здесь соответствующих деформационных процессов, которые могут быть выявлены специальными исследованиями.

Мониторинг современных вертикальных движений земной коры на Абшеронском берет начало с 1912 г., когда здесь был заложен один из первых в мире геодинамических полигонов. Целью первых геодезических измерений было определение разности в высотном отношении уровней Каспийского и Черного морей.

При обработке данных повторных нивелировок было выявлено, что отдельные участки Абшеронского полуострова изменяются по высоте. Обращалось внимание на опускание центральной и восточной частей полуострова (Яценко, 1989). Еще в 1934 г. М.В.Глазенап (в Лилиенберг, Гусейнзаде, 1983) высказал предположение, что «поднятия и опускания участков суши в пределах нефтеносных районов Абшеронского полуострова отражают как бы протекающую подземную жизнь в верхних горизонтах ПТ».

Позднее было выявлено опускание территории Биби-Эйбатского нефтяного месторождения. Так, например, в районе одной из старейших скважин №2465 было зафиксиро-

вано опускание земной поверхности со скоростью -30 мм/год, а в районе скважины №2778 – 31 мм/год (Яценко, 1989). Процесс оседания грунта на Биби-Эйбате коррелировался с прогибаниями земли на старых нефтяных месторождениях: Балаханы, Сабунчи, Рамана и Сураханы (Лилиенберг, Мещерский, 1968; Гусейн-Заде, Яценко, 1974; Лилиенберг, Гусейн-Заде, 1983; Яценко, 1989).

Хотя анализ результатов повторных нивелировок на Абшеронском полуострове не привел к единому мнению о причинах их проявления, тем не менее, ряд исследователей причину проседаний земной поверхности связывал с интенсивным отбором из недр нефти, газа, воды и песка. Так, согласно наблюдениям Д.А. Лилиенберга и др. (1980), периодам относительных тектонических опусканий земной поверхности на месторождениях Бинагади, Сураханы и Биби-Эйбат соответствует резкий рост отбора из недр жидких и газовых флюидов, а периодам стабилизации движений или относительных поднятий – минимальные объемы добычи. Приведенный на рис. 2 график отражает заметную тенденцию увеличения среднегодовой скорости вертикальных движений земной коры с увеличением среднегодовой добычи нефти в скважинах месторождений Абшеронского полуострова, хотя в этой зависимости не отражен суммарный объем извлеченных из недр флюидов (включая газ и сопутствующую пластовую воду).

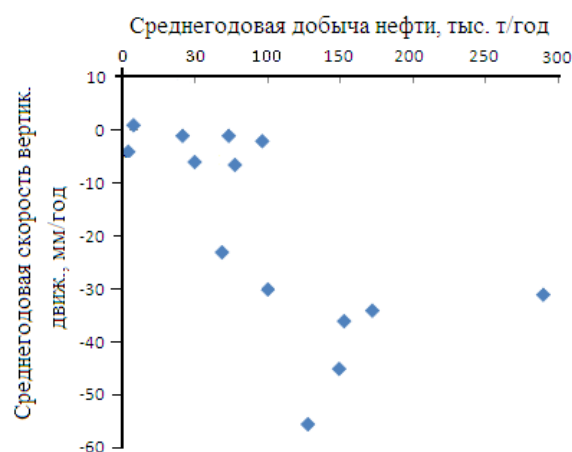


Рис. 2. График зависимости скорости современных вертикальных движений земной коры от среднегодовой добычи нефти в скважинах месторождений Абшеронского полуострова (по данным Яценко, 1989)

Важно также отметить, что наибольшее опускание земной поверхности (со скоростью от -12 до -30 мм/год) выявлено в районе с. Сураханы, а также в прилегающих селах Рамана, Гарачухур, Сабунчи. В ЮВ и северной частях Абшеронского полуострова опускание земной коры умеренное, со скоростью 1-2 мм/год (рис.3) (Ященко, 1989).

Аномальные опускания в присводовых частях антиклиналей на наиболее старых нефтепромыслах в Сабунчах, Сураханах, Раманах и Биби-Эйбате за 50 лет достигли 1-2,5 м (Буланже, Никонов, 1973; Лиlienберг и др., 1980), а за 80 лет центральная часть Абшеронского полуострова опустилась более чем на 3 м (Ященко, Ямбаев, 2006).

По данным У.Ш.Мехтиева (2009) оседание поверхности территории промыслов месторождения Балаханы-Сабунчи-Рамана составило более 3 м, а на месторождении Сураханы – около 2 м.

Как было отмечено выше на примере месторождений других бассейнов мира, закачка воды в пласт на месторождениях Абшерона не способствует восстановлению первоначальных условий (Лиlienберг и др., 1980; Ященко, 1989). Так, например, объем закачиваемых в пласт воды и воздуха на Бинагадинском месторождении оказался почти в два

раза больше, чем суммарный отбор из него нефти и природного газа. Однако, несмотря на это, территория Бинагадинского месторождения за отдельные отрезки времени продолжала испытывать неравномерное прогибание своей поверхности (Ященко, 1989).

Отмеченные выше процессы проседания грунта на Абшеронском полуострове, как и на длительно разрабатываемых нефтегазовых месторождениях других бассейнов мира, сопровождались негативными экологическими последствиями.

По данным гидродинамического мониторинга на Абшеронском полуострове выявлены зоны интенсивного поднятия уровня грунтовых вод, которые коррелируются с районами проседания грунта (Israfilov və b., 2008). Так, например, в центральной части Абшеронского полуострова с 1955 по 2006 гг. площадь зоны с глубиной уровня грунтовых вод >10 м уменьшилась на 21,4%, а площадь зоны с глубиной грунтовых вод 3-5 м увеличилась на 10,3% (Israfilov, 2012). Это является наглядным показателем негативного воздействия длительной разработки здесь нефтегазовых месторождений на гидрогеологические и экологические условия, которое проявляется подтоплением и заболачиванием территорий и ухудшением мелиоративных качеств земель.

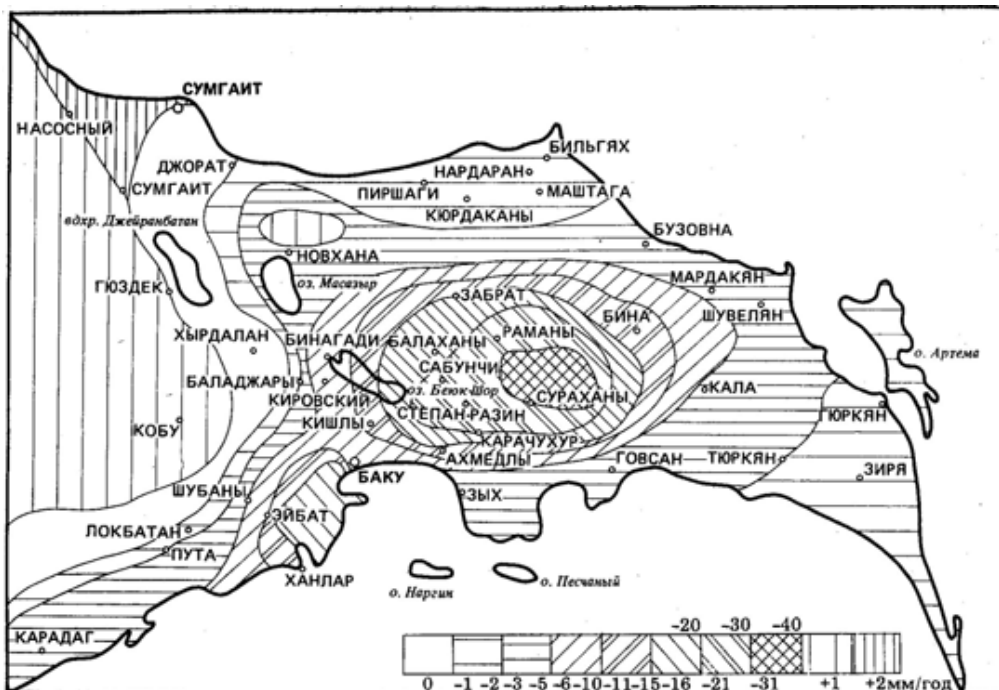


Рис. 3. Схема скоростей современных вертикальных движений земной коры на Абшеронском полуострове по результатам повторного нивелирования (Ященко, 1989)

По мнению Д.А. Лилиенберга и др. (1980), аномальные темпы проседания в районе сел. Сураханы (около 47 мм/год) послужили причиной землетрясения силой VI баллов, которое произошло в 1937 г. в Сураханах с эпицентром в Фатмаи-Зыхской шовной зоне.

Добыча нефти и газа на интенсивно разрабатываемых промысловых участках Абшеронского полуострова сопровождалась частыми случаями искривления буровых скважин, разрывов нефтегазовых и водяных трубопроводов, внезапных выбросов воды и песка и т.п. (Лилиенберг и др., 1980; Яценко, 1989), являющихся следствием протекающих здесь антропогенных деформационных процессов в сочетании с естественными геодинамическими условиями.

Так, например, на Балаханы-Сабунчи-Раманинском месторождении в более чем 20 скважинах были зафиксированы случаи слома (например, в скв. №1794, 2304 и др.) и обрыва (например, в скв. №2409, 2575, 2610 и др.) колон, а также их искривление (например, в скв. №1499, 12204 и др.) (Яценко, 1989).

Заключение

Сбор, обобщение и анализ литературных источников, показал, что интенсивная разработка нефтегазовых месторождений вызывает нарушение природного равновесия и широкое развитие деформационных процессов: уплотнение пород резервуара в результате падения пластового давления и, как результат, проседание и смещение грунта.

Показано, что указанные выше процессы характерны и для Абшеронского полуострова, являющегося одним из старейших нефтеносных районов мира. Длительная разработка здесь нефтегазовых месторождений привела к существенному (до 80% от первоначального) падению пластовых давлений в резервуарах. Экологическими последствиями этого явления стали: развитие в районе месторождений Балаханы-Сабунчи-Рамана, Сураханы, Гарачухур, Биби-Эйбат интенсивного (до 47 мм/год) процесса проседания земли и их подтопление, возникновение индуцированной сейсмичности (землетрясение в Сураханах в 1937 г.). Эти нежелательные экологические последствия длительной разработки нефтегазовых месторождений в совокупности наносят большой экономический ущерб существующей инфраструктуре.

Поскольку техногенная тектоническая активизация недр обусловлена человеческой деятельностью, то и регулирование этого процесса (в отличие от естественного) вполне возможно и необходимо. Для этого в целях минимизации экологического и экономического ущерба целесообразно заблаговременно обустраивать добывающие комплексы системой сейсмического и геодинамического контроля для прогнозирования развития геодинамических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

- АБАСОВ, М.Т., ДЖЕВАНШИР, Р.Д., ИМАНОВ, А.А., ДЖАЛАЛОВ, Г.И. 1997. О влиянии пластового давления на изменение фильтрационно-емкостных свойств терригенных пород-коллекторов в процессе разработки месторождений нефти и газа. *Геология нефти и газа*, 5, 34-39.
- АДУШКИН, В.В., РОДИОНОВ, В.Н., ТУРУНТАЕВ, С.Б. 2000. Сейсмичность месторождений углеводородов. *Нефтяное обозрение*. Изд. Schlumberger, 5(1), 4-15.
- АДУШКИН, В.В., ТУРУНТАЕВ, С.Б. 2005. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). ИНЭК, институт динамики геосфер РАН. Москва. 252с.
- АКРАМХОДЖАЕВ, А.М., СИТДИКОВ, Б.Б., БЕГМЕТОВ, Э.Ю. 1984. О возбужденном характере Газлийских землетрясений в Узбекистане. *Узбекский геол. журнал*, 4, 17-19.
- БУЛАНЖЕ, Ю.Д., НИКОНОВ, А.А. 1973. Современные движения земной коры. *Вестник АН СССР*, 9, 72-81.
- ГУСЕЙН-ЗАДЕ, О.Д., ЯЦЕНКО, В.Р. 1974. К исследованию результатов повторных геодезических нивелировок на территории Биби-Эйбатского нефтяного месторождения. *Докл. АН АзССР*, 8, 42-47
- ИМАНОВ, А.А. 2012. Физико-механические свойства осадочных пород Южно-Каспийского бассейна в глубинных условиях: углеводородные ресурсы больших глубин. Nafta-Press. Баку. 203с.
- ИСХАКОВ, И.А., СЕРГЕЕВ, Н.С., БУЛГАКОВ, В.Ю. 1992. Изучение взаимосвязей сейсмичности с процессом разработки нефтяных месторождений. Отчет ОМП 50/91. Бугульма.
- КАШНИКОВ, Ю.А., АШИХМИН, С.Г. 2007. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья. Недра. Москва. 467с.
- КОНОНОВА, М. 2011. Землетрясения. Характеристика. Примеры. <http://gendocs.ru/v32816>
- КОШЛЯК, В.А. 2002. Гранитоидные коллекторы нефти и газа. Тау. Уфа. 256с.
- ЛИЛИЕНБЕРГ, Д.А., ГУСЕЙН-ЗАДЕ, О.Д. 1983. Блоковая дифференциация современных тектонических движений и интенсивность добычи нефти и газа на Абшеронском геодинамическом полигоне. В сб.: *Современные движения и деформации земной коры на геодинамических полигонах*. Наука, Москва, 117-128.
- ЛИЛИЕНБЕРГ, Д.А., МЕЩЕРСКИЙ, И.Н. 1968. Современные тектонические движения Абшеронского полуострова. В сб.: *Современные движения земной ко-*

- ры, 4, 111-144.
- ЛИЛИЕНБЕРГ, Д.А., ГУСЕЙН-ЗАДЕ, О.Д., КУЛИЕВ, Ф.Т., ШИРИНОВ, Н.Ш., ЯЩЕНКО, В.Р. 1980. Комплексные исследования современных тектонических движений на геодинамических полигонах Азербайджана. В кн.: *Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз*. Наука, Москва, 165-174.
- МЕЛЬНИКОВ, Н.Н., КАЛАШНИК, А.И., КАЛАШНИК, Н.А. 2009. Техногенные геодинамические процессы при освоении нефтегазовых месторождений шельфа Баренцева моря. *Вестник МГТУ*, 12(4), 601-608.
- МЕХТИЕВ, У.Ш. 2009. Формирование водонапорных систем быстропрогружающихся бассейнов и их нефтегазоносность (на примере плиоценового комплекса Южно-Каспийской впадины). Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. ИГАН. Баку. 309с.
- НЕСТЕРЕНКО, Ю.М., КОСОЛАПОВ, О.В., НЕСТЕРЕНКО, М.Ю. 2010. Сейсмическая активность районов разрабатываемых месторождений углеводородов в Южном Предуралье. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 12(1-5), 1240-1244.
- НИКОЛАЕВ, А.В. 1995. О возможном влиянии разработки нефти на параметры Нефтегорского землетрясения. В сб. *ФССНМЧС России*.
- СМИРНОВА, М.Н. 1977. Возбужденные землетрясения в связи с разработкой нефтяных месторождений (на примере Старогрозненского землетрясения). В кн.: *Влияние инженерной деятельности на сейсмический режим*. Наука, Москва, 128-141.
- ТУРУНТАЕВ, С.Б. 2005. Кинетика техногенной сейсмичности. Диссертация на соискание уч. степени д. ф.-м. н. Институт динамики геосфер РАН. Москва. 330с.
- ЯЩЕНКО, В.Р. 1989. Геодезические исследования вертикальных движений земной коры. Недра. Москва. 192с.
- ЯЩЕНКО, В.Р., ЯМБАЕВ, Х.К. 2006. Геодезия и извечные тайны движения земной коры. *Геопрофи*, 4, 61-66.
- ISRAFILOV, Y.H., MƏMMƏDOV, V.A., HƏNİFƏZADƏ, R.Ə., MIRZƏYEVƏ, M.M., PAŞAYEVA, Ş.İ., MƏMMƏDOV, İ.R., MƏMMƏDOVA, İ.H., ABADOVA, C.B. 2008. Abşeron yarımadasında təbii su sistemlərinin müasir vəziyyətinin qiymətləndirilməsi və konseptual modelinin işlənilməsi. *Geologiya İnstitutunun fondu*. Bakı. 88 с.
- ADUSHKIN, V.V., RODIONOV, V.N., TURUNTAEV, S.B., YUDIN, A.E. 2000. Seismicity in the Oil Field. *Oilfield Review*. Schlumberger, 12(2), 2-17.
- BONDOR, P.L., DE ROUFFIGNAC, E. 1995. Land subsidence and well failure in the Belridge diatomite oil field, Kern county, California. Part II. Applications, in Land Subsidence. IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK, 69-78.
- BRUNO, M.S., BOVBERG, C.A. 1992. Reservoir compaction and surface subsidence above the Lost Hills Field, California. *Rock Mechanics*, 263.
- COUNTY, C., RUTLEDGE, J.T., PHILLIPS, W.S., SCHUESSLER, B.K. 1998. Reservoir characterization using oil-production-induced microseismicity, *Tectonophysics*, 289, 129-152.
- DONALDSON, S.J., VAN DE WEIJER, T.A.H., CHESTERS, A.P., WHITE, C.C. 2003. A Novel approach to access trapped reserves below highly depleted reservoirs. *SPE/IADC Drilling Conference*, 19-21 February, Amsterdam, Netherlands.
- DONOVAN, J. 2012. Shell causes earthquakes in the Netherlands. *Shell News*, Aug 30th.
- DOORNHOF, D., KRISTIENSEN, T.G., NAGEL, N.B., PATTILLO, P.D., SAYERS, C. 2006. Compaction and subsidence. *Oilfield Review*, 18(3), 50-68.
- HEJMANOWSKI, R. 1993. Zur Vorausberechnung förderbedingter Bodensenkungen über Erdöl- und Erdgaslagerstätten (Prediction of land subsidence induced by oil and gas exploitation). PhD Thesis Clausthal Technical Univ. Clausthal-Zellerfeld. Germany.
- HOLZER, T.L., AND BLUNTZER, R.L. 1984. Land subsidence near oil and gas-fields, Houston, Texas. *Ground Water*, 22 (4), 450-459.
- HOLZER, T.L. 1990. Land subsidence caused by withdrawal of oil and gas in the Gulf Coastal Plain-The Houston, Texas, Case History. *AAPG Bulletin*, 74(9).
- HUFFMAN, A.R., BOWERS, G.L. 2002. Pressure regimes in sedimentary basins and their prediction. *An outgrowth of the international forum sponsored by the Houston Chapter of the American Association of Drilling Engineers*. Houston, TX, September 2-4.
- FIELDING, E.J., BLOM, R.G. AND GOLDSTEIN, R.M. 1998. Rapid subsidence over oil fields measured by SAR interferometry. *Geophysical Research Letters*, 25 (17), 3215-3218.
- FINOL, A., FAROUQ ALI, S.M. 1975. Numerical simulation of oil production with simultaneous ground subsidence. *Soc. Pet. Eng. J.*, 15(5), 411-424.
- GABRYSCH, R.K., COPLIN, L.S. 1990. Land-surface subsidence in Houston-Galveston region, Texas. *Texas Water Development Board Report*, Austin, TX, 188.
- GAMBOLATI, G., RICCI, G., BERTONI, W., BRIGHENTI, G., VUILLERMIN, E. 1991. Mathematical simulation of the subsidence of Ravenna. *Water resources research*, 27, 11, 2899.
- GULF COAST ASSOCIATION OF GEOLOGICAL SOCIETIES (GCAGS) TRANSACTIONS. 1985. 35.
- GEERTSMA, J. 1973. Land subsidence above compacting oil and gas reservoirs. *Journal of Petroleum Technology*, 25(6), 734-744.
- GRASSO, J.-R. 1992. Mechanics of seismic instabilities induced by the recovery of hydrocarbons. *Pure and applied geophysics*, 139(3/4), 507-534.
- ISRAFILOV, R. 2012. The influence of technogenic impacts on the hydrogeological conditions in the city of Baku. Материалы V Международной Конференции, 7-12 Октября, Баку. 516-522.
- KREITLER, C.W., AKHTER, M.S., DONNELLY, A.C.A., WOOD, W.T. 1988. Hydrogeology of formations used for deep-well injection, Texas Gulf Coast: Austin, Tex. University of Texas at Austin Bureau of Economic Geology. 204p. (Report prepared for the U.S. Environmental Protection Agency under Cooperative Agreement No. CR812786-01-0.)
- KRISHNA RAO, G. 2003. Land subsidence in Krishna – Godavary Deltas due to oil and gas exploitation. India current affairs. <http://indiacurrentaffairs.org/land-subsidence-in-krishna>

- KULKARNI, M.N. 2006. GPS studies on land subsidence in oil and gas fields of Gujarat. *National conference on geoinformatics*, V.P.M's Polytechnic, Bombay, 81.
- LEEDY, H. 2007. Production induced seafloor subsidence in offshore oil and gas fields as a possible contributor to onshore reactivation and land subsidence. MMS Environmental Studies Program: Ongoing Studies (GM-92-42-115).
- LENG, R.A., PRESTON, T.R. 2005. Implications for livestock production of the decline in world oil reserves. *Proceedings of Regional Seminar Workshop on sustainable livestock based agriculture in the Lower Mekong Basin*, Cantho, 23-25 May.
- MARTIN, J.C., SERDENGECTI, S. 1984. Subsidence over oil and gas fields. In: *Reviews in engineering geology*, VI, 23-34.
- MAYUGA, M.N., ALLEN, D.R. 1970. Subsidence in the Wilmington Oil Field, Long Beach, California, U.S.A., in Land Subsidence. Int. Assoc. Sci. Hydrol., UNESCO, 66-791.
- MEREU, R.F., BRUNET, J., MORRISSEY, K., PRICE, B., YAPP, A. 1986. A study of the microearthquakes of the Gobies oil field area of southwestern Ontario. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 76(5), 1215-1223.
- MES, M.J. 1990. Ekofisk reservoir pressure drops and seabed subsidence. In: *Proceedings of 22nd Offshore Tech Conf.*, 373-387.
- MORTON, R.A., PURCELL, N.A., PETERSON, R.L. 2001. Field evidence of subsidence and faulting induced by hydrocarbon production in coastal southeast Texas. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, 51, 239-248.
- MORTON, R.A., BUSTER, N.A. 2002. Subsurface controls on historical subsidence rates and associated wetland loss in south-central Louisiana. *Gulf Coast Association of Geological Societies*, 52, 767-778.
- MORTON, R.A., BERNIER, J.C., BARRAS, J.A. 2006. Evidence of regional subsidence and associated interior wetland loss induced by hydrocarbon production, Gulf Coast region, USA. *Environ. Geol.*, 50, 261-274.
- MOOS, D., CHANG, C. 1998. Relationships between porosity, pressure, and velocities in unconsolidated sands. In: *Overpressures in Petroleum Exploration workshop*, Pau France, April.
- MURRIA, J. 1991. Subsidence due to oil production in Western Venezuela: Engineering Problems and Solutions. Land Subsidence. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Land Subsidence*, May.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1991. Mitigating losses from land subsidence in the United States. National Academy Press. Washington, D.C. 58p.
- PAINE, J.G. 1993. Subsidence of the Texas coast: inferences from historical and late Pleistocene sea levels. *Tectonophysics*, 222, 445-458.
- PATEL, P., KULKARNI M.N. 2007. Application of GPS for monitoring land subsidence. *Journal of Earth Sciences*, 1(3), 35-46.
- PENLAND, S., RAMSEY, K.E., MCBRIDE, R.A., MESTAYER, J.T., WESTPHAL, K.A. 1988. Relative sea-level rise and delta-plain development in the Terrebonne Parish region. *Louisiana Geological Survey Coastal Geology Tech Rept.*, 4.
- PHILLIPS, W.S., RUTLEDGE, J.T., HOUSE, L.S. AND FEHLER, M.C. 2002. Induced microearthquake patterns in hydrocarbon and geothermal reservoirs: Six case studies, preprint *Pure and Applied Geophysics*, 159, 345-369.
- PLOTNIKOVA, L.M., FLYONOVA, M.G., MACHMUDOVA, V.I. 1990. Induced seismicity in the Gazly gas field region, *Gerlands Beitrage zur Geophysik*, 99(5), 389-399.
- POLAND, J.F., DAVIS, G.H. 1972. Land subsidence due to withdrawal of fluids. In: *Man and his physical environment, Readings in environmental geology*. Burgess Publ. Co. 77-90.
- PÔTTGENS, J.J.E. 1991. Land subsidence due to gas extraction in the northern part of The Netherlands. Land Subsidence. *Proceedings of the Fourth International Symposium on land subsidence*, May 1991, IAHS Publ. no. 200, 99-108.
- PRATT, W.E., JOHNSON, D.W. 1926. Local subsidence of the Goose Creek oil field, *J. Geol.*, 34 (7), 577-590.
- PRODUCTION INDUCED SEAFLOOR SUBSIDENCE IN OFFSHORE OIL AND GAS FIELDS AS A POSSIBLE CONTRIBUTOR TO ONSHORE REACTIVATION AND LAND SUBSIDENCE (GM-92-42-115). 2006. MMS Environmental Studies Program: Ongoing Studies: Gulf of Mexico.
- RYDER, R.T., AGGEN, K.L., HETTINGER, R.D., LAW, B.E., MILLER, J.J., NUCCIO, V.F., PERRY, W.J., PRENSKY, S.E., SANFILIPPO, J.R. and WANDREY, C.J. 1995. Possible Continuous-Type (unconventional) gas accumulation in Lower Silurian "Clinton" sands, Medina Group, and the Tuscarora sandstone in the Appalachian Basin: A Progress Report of 1995 project activities. Open-File Report, 96-42.
- ROBERTS, H.H., BAILEY, A., KUECHER, G.J. 1994. Subsidence in the Mississippi River Delta – Important influences of valley filling by cyclic deposition, primary consolidation phenomena, and early diagenesis. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, 44, 619-629.
- SEREBRYAKOV, V.A., CHILINGAR, G.V. 2000. Prediction of subsidence: relationship between lowering of formation pressure and subsidence due to fluid withdrawal. *Energy sources, Part A: recovery, utilization, and environmental effects*, 22, 5, 409-416.
- SHINKLE, K., DOKKA, R.K. 2004. Rates of vertical displacement at benchmarks in the lower Mississippi Valley and the northern Gulf Coast. *NOAA Technical Report*, 50, 135.
- SIMPSON, D.W. 1986. Triggered Earthquakes. *Annu. Rev. Earth and Planet. Sciences*, Paolo Alto, Calif., 14, 21-42.
- SNIDER, L.C. 1927. A suggested explanation for the surface subsidence in the Goose Creek oil and gas field, Texas. *Bull., AAPG*, 11, 729.
- SZE, E.K.M., TOKSOZ, M.N., BURNS D.R., MUELLER G.F. 2005. Characterization of induced seismicity in petroleum reservoir: A case study. *EAGE 67th Conference & Exhibition*. Madrid, Spain, 13-16 June.
- VAN DER KNAAP, W., VAN DER VLIS, A.C. 1967. On the cause of subsidence in oil-producing areas, *Proc., 7th World Pet. Cong.*, Mexico City, 3, 85.
- VAN DER KOOIJ, M., VAN HALSEMA, D., GROENEWOUDE, W., AMBROSIUS, B.A.C., METS, G.J., OVERGAAUW, B., VISSER, P.N.A.M. 1995. Satellite radar measurements for land subsidence detection. *Pro-*

- ceedings of land subsidence*, Barends and Schroder, Balkema, Rotterdam, ISBN 9054105895.
- VAN DER KOOIJ M. 2012. Land subsidence measurements at the Belridge oil fields from ERS InSAR Data. esa. earthnet online, 22 August.
- VANHASSELT, J.P. 1992. Reservoir compaction and surface subsidence resulting from oil and gas-production: a review of theoretical and experimental research approaches. *Geologie En Mijnbouw*, 71 (2), 107-118.
- WETLAND SUBSIDENCE, FAULT REACTIVATION AND HYDROCARBON PRODUCTION IN THE U.S. GULF COAST REGION. 2001. U.S. Department of the Interior. *U.S. Geological Survey USGS Fact Sheet FS-091-01*. September.
- WETMILLER, R.J. 1986. Earthquake near Rocky Mountain House, Alberta and their relationship to gas production facilities. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2(23), 172-181.
- XIE, X., JIAO, J.J., TANG, Z., ZHENG, C. 2003. Evolution of abnormally low pressure and its implications for the hydrocarbon system in the southeast uplift zone of Songliao basin, China. *AAPG Bulletin*, 87, 1, 99-119.
- XU, H. 2002. Production induced reservoir compaction and surface subsidence, with applications to 4D seismic. A dissertation submitted to the department of geophysics and the committee on graduate studies of Stanford University in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. 64p.