

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/16_2022

УДК 622.276(262.81)

Фейзуллаев А.А.Институт геологии и геофизики Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан, fakper@gmail.com**Годжаев А.Г.**

Управление эксплуатации газовых хранилищ ПО Азнефть SOCAR, Баку, Азербайджан

Мамедова И.М.

НИПИ «Нефтегаз», Государственная нефтяная компания Азербайджана, Баку, Азербайджан

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ПЛАСТА

Приведены результаты анализа изменения во времени параметров разработки ряда месторождений Апшеронского нефтегазоносного района (Южно-Каспийский бассейн). С учетом мирового опыта обосновывается, что существенное падение (ниже гидростатического) пластовых давлений в результате длительной разработки залежей сопровождается ухудшением фильтрационно-емкостных свойств пород. Показано, что техногенно-индуцированные деформации пород резервуара в большей мере отражаются на их проницаемости, способствуя снижению продуктивности скважин. Степень истощения различных эксплуатационных объектов месторождений Апшеронского нефтегазоносного района не неодинакова, что рекомендуется учитывать при определении стратегии их доработки.

Ключевые слова: нефтегазовые месторождения, длительная разработка, пластовое давление, деформация пород, фильтрационно-емкостные свойства пород, продуктивность скважин, Апшеронский нефтегазоносный район, Южно-Каспийский бассейн.

Введение

Продуктивность нефтедобывающих скважин является одним из основных факторов, определяющих технико-экономические показатели разработки нефтяных залежей. Наряду с естественными геолого-физическими характеристиками продуктивных пластов на показатели продуктивности скважин оказывают существенное влияние техногенные явления, сопровождающие процесс разработки месторождения.

Падения пластовых давлений в процессе разработки месторождения нефти и газа и сопровождающие их деформационные процессы в резервуаре приводят в конечном итоге к уменьшению продуктивности пласта.

Численным моделированием доказано, что уменьшение пластового давления снижает продуктивность скважин, темпы отборов нефти и увеличивает сроки разработки залежей, которые определяются начальными фильтрационными характеристиками коллектора. Относительное увеличение сроков разработки более существенно для высокопроницаемых объектов.

Так, выполненные в СургутНИПИнефть исследования по оценке коэффициентов

нефтеизвлечения для низкопроницаемых коллекторов показали, что доля остаточной нефти за счет неупругой деформации пород может достигать 20-30% [Черемисин и др., 2001]. Недоучет этого фактора при проектировании может привести к существенным погрешностям при оценке технико-экономических показателей разработки нефтяных залежей.

Чрезмерное снижение пластовых давлений на ряде участков Ромашкинского месторождения объединения Татнефть значительно ухудшило условия освоения эксплуатационных и нагнетательных скважин и способствовало снижению коэффициентов продуктивности скважин, их дебитов и приемистости [Сахибгареев, Славин, 1991].

Расчеты, основанные на модели, разработанной M.N.J. Al-Awad (2001 г.), показали, что на продуктивность исследованных отложений значительно влияет уменьшение проницаемости, вызванное падением порового давления

Установлено, что максимальное уменьшение продуктивности песчаника при падении пластового давления с учетом деформационно-измененной проницаемости достигает 33% в сравнении с продуктивностью с неизменной проницаемостью. Интересно, что для известняка эта разница составляет лишь 8%.

В работе В.М. Добрынина и др. (1973 г.) наблюдаемое падение дебитов продуктивных горизонтов Самотлорского месторождения также связывается с явлением уменьшения фильтрационных характеристик пород в результате падения пластового давления.

Выполненный С.Н. Поповым (2007 г.) анализ результатов интерпретации акустического широкополосного каротажа скважин на Астраханском газоконденсатном месторождении и Ачимовской залежи Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения показал, что при снижении пластового давления в пределах 30-45 МПа происходит смыкание трещин пород-коллекторов, приводящее к уменьшению проницаемости и к значительным снижениям дебитов скважин. Одной из выявленных особенностей является резкое падение продуктивности скважин в самом начале их эксплуатации. Так, на Астраханском газоконденсатном месторождении суточный дебит высокодебитных скважин снизился в 2-2,5 раза всего за 1,5-2 года. Аналогичный эффект наблюдался в изменении дебитов скважин Шершневого, Сибирского и других месторождений севера Пермского края [Попов, 2007].

Р.Н. Дияшевым и др. (1999 г.) на Ташлярской площади также установлено значительное уменьшение пластового давления и коэффициентов продуктивности в начальный период разработки (с 1950 по 1954 гг.) [Фильтрация жидкости..., 1999]. При снижении давления примерно на 30% в среднем продуктивность упала наполовину.

Р.Х. Муслимовым (2000 г.) установлено, что основной причиной снижения

продуктивности скважин на месторождении Кюрсангя, Азербайджан является деформация пород-коллекторов в результате снижения пластового давления.

В связи с актуальностью данной проблемы ниже на примере месторождений Апшеронского нефтегазоносного района Южно-Каспийского бассейна (ЮКБ) приведены результаты количественной и качественной оценки изменения давлений и продуктивности пластов в процессе их длительной разработки.

Краткая характеристика исследуемых месторождений

Исследование рассматриваемой проблемы проведено на примере месторождений ЮКБ: Балаханы-Сабунчи-Рамана, Бузовна-Маштага и Гарадаг Апшеронского п-ова, а также Нефть Дашлары на Апшеронском архипелаге.

Месторождение Балаханы-Сабунчи-Рамана

Это месторождение, расположенное в центральной части Апшеронского п-ова, является одним из старейших в мире. Месторождение включает три эксплуатационные площади Балаханы, Сабунчи и Рамана, которые введены в эксплуатацию соответственно в 1873, 1875 и 1890 гг.

В тектоническом отношении это месторождение представляет собой брахиантиклинальную складку «открытого» типа, расположенную в пределах антиклинальной линии Фатмаи-Зых-Бахар, которая имеет асимметричное строение при длине 12 км, и ширине 3 км. Вся складка разбита рядом продольных и поперечных нарушений с различными амплитудами смещения, которые делят нефтеносную площадь более чем на 25 тектонических блоков и играют большую роль в распределении залежей нефти как по разрезу, так и по площади.

Нефтеносность месторождения приурочена к отложениям нижнего плиоцена – продуктивной толще (ПТ), мощность которой изменяется от 1274 до 1680 м и более. Всего на месторождении установлено 28 нефтеносных объектов (мощностью от 4 до 52 м и нефтенасыщенностью 73-81%), из которых 10 приурочены к горизонтам нижнего отдела ПТ, а 18 – верхнего отдела ПТ. Глубина залегания продуктивных объектов варьирует от 80 до 1600 м.

Проницаемость пород резервуаров по данным кернового анализа различна и колеблется от $40 \cdot 10^{-3}$ до $374 \cdot 10^{-3}$ мкм²; плотность нефти в поверхностных условиях изменяется от 865 до 925 кг/см³, температура в зависимости от глубины варьирует в пределах 18-60⁰С.

Месторождение Сураханы

Это месторождение, расположенное в центральной части Апшеронского п-ова, в 14 км к северо-востоку от г. Баку, приурочено к асимметричной брахиантиклинальной складке

северо-запад-юго-восточного простирания. Складка осложнена многочисленными тектоническими нарушениями различного направления, что обусловило неравномерное распределение нефти как по площади, так и по разрезу ПТ.

Разрез ПТ общей мощностью более 2000 м представлен преимущественно чередованием мелкозернистых кварцевых песков и глин. В разрезе ПТ выделяется 40 горизонтов и 54 нефтегазоносных эксплуатационных объекта мощностью от 2 до 25 м, из которых на верхний отдел ПТ приходится 29 объектов, а на нижний отдел – 25, кроме того, нефтегазоносны также абшеронские и акчагыльские отложения. Газовые залежи отсутствуют.

Глубина залегания продуктивных горизонтов изменяется в пределах 180-2850 м. Нефтенасыщенность пород составляет 61-85%, проницаемость их варьирует от $50 \cdot 10^{-3}$ до $517 \cdot 10^{-3}$ мкм²; плотность нефти колеблется от 770 до 912 кг/см³. Температура пластов в зависимости от глубины изменяется от 17 до 76⁰С.

Разработка месторождения Сураханы начата в 1904 г. с вовлечением в эксплуатацию горизонтов сураханской свиты, затем с 1910 г. – горизонтов сабунчинской свиты, с 1924 г. – балаханской свиты и с 1932 г. – свит (горизонтов) нижнего отдела.

Месторождение Бузовна-Маштага

Это месторождение расположено в 24 км к северо-востоку от г. Баку и включает две эксплуатационные площади – Бузовны и Маштага, разрабатываемые с 1940 г.

На месторождении Бузовна-Маштага промышленные залежи нефти приурочены к свитам НКГ, НКП, КС и ПС. Незначительные скопления нефти установлены в песчаных отложениях балаханской свиты (IV, V, VI, VII и X горизонты). В районе присбросовой части на южном крыле Бузовнинской складки выявлена газоносность II горизонта балаханской свиты.

Месторождение Нефт-Дашлары

Это месторождение открыто в 1949 г. глубокой разведочной скв. 1, которая вскрыла в нормальной последовательности все свиты нижнего отдела ПТ (НКГ, НКП, КС, ПК, КаС). 5 ноября 1949 г. с глубины 1000 м из КаС получен фонтанный приток нефти с дебитом до 100 т/сут. С 1949 г. на месторождении пробурено около 2 тыс. скважин; среднесуточный уровень добычи – 1800-2000 т нефти.

Основные скопления нефти и газа на месторождении приурочены к калинской, подкирмакинской и кирмакинской свитам нижнего отдела ПТ. Месторождение характеризуется неравномерностью нефтенасыщения разреза ПТ по площади.

Промышленная разработка месторождения Нефт Дашлары началась в 1951 г. За прошедшие годы на этом месторождении добыто более 160 млн. т нефти и 13 млрд. м³

попутного нефтяного газа. В настоящее время дебит эксплуатационной скважины составляет в среднем до 5 т/сут.

Месторождение Гарадаг

Это месторождение является первым, наиболее характерным газоконденсатным месторождением бывшего СССР. Разработка газоконденсатной залежи VII-VIIa горизонтов ПТ в режиме истощения началась с 1955 г. Нефтяная оторочка залежи вскрыта и введена в промышленную разработку на 3,5 лет позже. Дебит скважины-первооткрывательницы 204 (интервал 4006-4047 м) через 10 мм штуцер составил 100 т/сут с газовым фактором 200 м³/т. Максимальный уровень добычи нефти и газа достигнут в 1958 г.

К концу 1980-х гг. залежи в VII-VIIa горизонтах истощены. За период с 1955 по 1978 гг. из VII-VIIa горизонтов отобрано более 20,5 млрд. м³ газа.

Результаты и их обсуждение

В результате обработки большого объема промысловых данных (замеры пластовых давлений и продуктивности скважин), а также определений емкостно-фильтрационных свойств пород ПТ, с использованием стандартных компьютерных программ, получены нижеследующие результаты.

Месторождение Балаханы-Сабунчи-Рамана

Начальные пластовые давления ($P_{пл}$) примерно соответствуют гидростатическим и варьируют по объектам от 0,8 МПа (I гор.) до 15,0 МПа (ПК свита). Длительная разработка месторождения, сопровождающаяся непрерывным отбором из пласта флюидов, привела к существенному падению пластового давления относительно начального, что наглядно видно на рис. 1а. Отмечается снижение начального пластового давления по эксплуатационным объектам от 40 до 95%.

Темп падения пластовых давлений (рис. 1б) в верхнем отделе ПТ колеблется в пределах 0,005-0,04 МПа/год, а в нижнем – 0,05-0,15 МПа/год, при этом наибольший темп падения $P_{пл}$ приурочен к КС_{низы} и ПК свитам ПТ.

Падение пластового давления сопровождается уменьшением среднесуточной продукции скважины (нефть+вода) (рис. 2).

Относительные значения суммарных отборов продукции распределяются по стратиграфическому разрезу неравномерно: горизонт III (10%), IV+IVab (23%), IVcde (8,2%), V (14,2%), ПК (12,6%). В соответствии с этими величинами находятся и относительные значения падения пластовых давлений

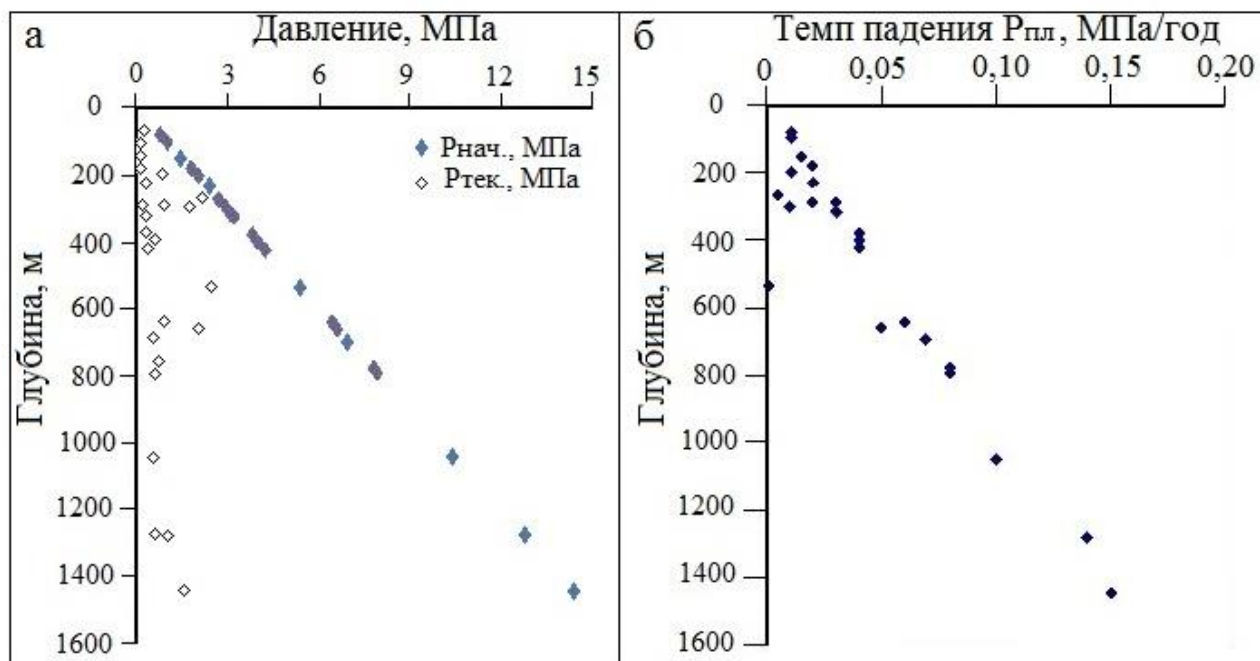


Рис. 1. Графики распределение начальных и текущих пластовых давлений (а) и темпа падения их (б) с глубиной на месторождении Балаханы-Сабунчи-Рамана

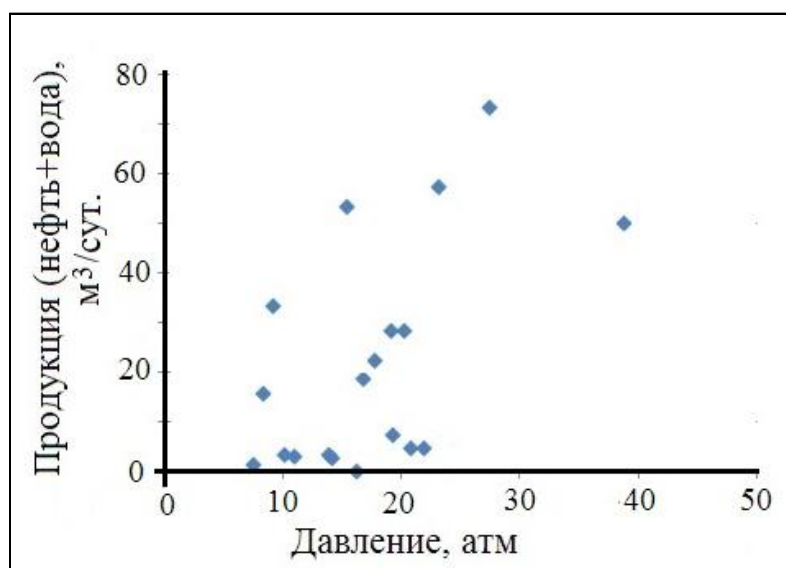


Рис. 2. График зависимости между среднесуточным объемом извлекаемого из пласта флюида (нефть+вода) и пластовым давлением на месторождении Балаханы-Сабунчи-Рамана

За период разработки VI горизонта ПТ (с 1935 по 2001 гг.) пластовое давление упало в 10 раз. Продуктивность горизонта за этот же период снизилась почти в 4 раза в сравнении с пиковой величиной. Следует отметить, что закачка воды с целью поддержания давления увеличила добычу нефти лишь до 9% от пиковой величины, в большей степени увеличив добычу воды. Это хорошо согласуется с мнением D. Moos, C. Chang (1998 г.), которые утверждают, что мероприятия по поддержанию давления в резервуаре путем закачки в пласт воды и других методов, применяемых на многих месторождениях мира, позволяют

восстановить давление (и, как следствие, соответственно увеличить продуктивность) не более чем на 10%.

Еще контрастнее процесс падения пластового давления и добычи углеводородов отмечается в ПК_{верхи} свите ПТ, которая вступила в разработку в более поздний период (1916 г.). За весь период разработки (чуть более 90 лет) из залежи отобрано около 13% нефти от суммарной добычи в целом по месторождению, что вызвало снижение начального пластового давления в среднем с 12,8 до 1,0 МПа. Это в совокупности показывает, что этот эксплуатационный объект характеризуется аномально-низкими пластовыми давлениями и находится на завершающей стадии разработки.

Месторождение Сураханы

На рис. 3 приведены распределения начальных и текущих пластовых давлений с глубиной. Начальные пластовые давления варьируют в пределах 2,5-27,5 МПа, а текущие – соответственно 0,2-18,4 МПа. Из рисунка видно, что текущие пластовые давления по нижнему отделу значительно отличаются от начальных, особенно по горизонтам КС и ПК.

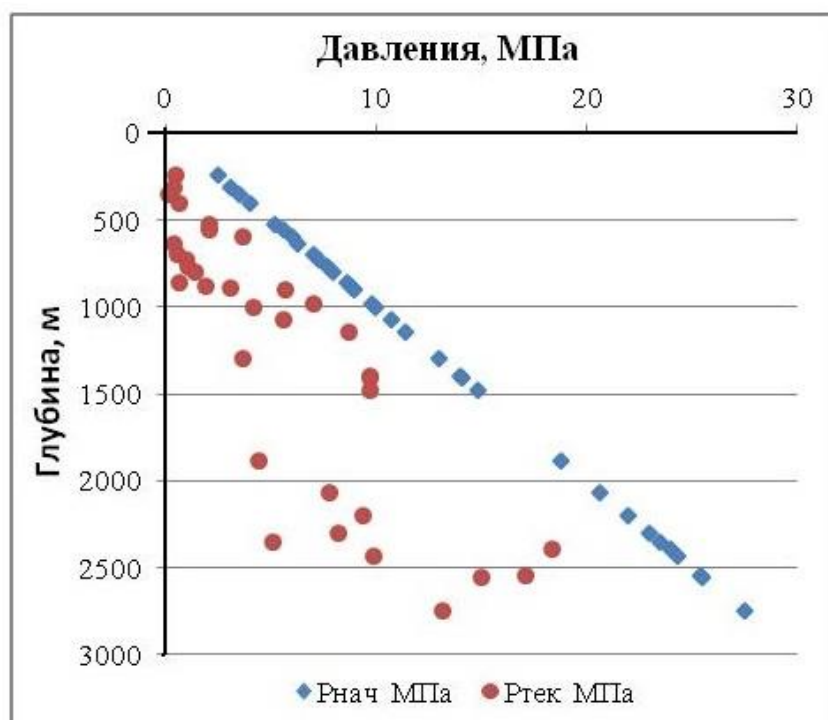


Рис. 3. График распределения начальных и текущих пластовых давлений с глубиной на месторождении Сураханы

Темп падения пластовых давлений в верхнем отделе ПТ колеблется в пределах 0,02-0,09 МПа/год, а в нижнем – 0,05-0,20 МПа/год, при этом наибольший темп падения приурочен к горизонтам КС и ПК (0,16-0,20).

Начальные среднесуточные дебиты на одну скважину изменялись в пределах 0,2-

5,4 т/сут. С 1980 г. по настоящее время средний дебит на одну скважину в целом по месторождению составлял 0,8-1,2 т/сут и не зависел от количества действующих и ввода новых скважин. Это объяснялось фактором истощения разрабатываемых залежей.

На горизонты верхнего отдела ПТ приходится 74% от всей отобранной нефти по месторождению. Максимальное количество нефти извлечено за основной период разработки месторождения (1926-1956 гг.) – 81 млн. т (70,4%), а максимальная годовая добыча нефти приходится на 1931 г. – 4189,3 тыс. т. До 1942 г. сохранялись относительно высокие отборы нефти, а далее наблюдалось уменьшение добычи, которая в 1976 г. составила 397 тыс. т, а в 2012 г. – 196 тыс. т.

Так же, как и на месторождении Балаханы-Сабунчи-Рамана, все эксплуатационные объекты месторождения Сураханы характеризуются аномально-низкими пластовыми давлениями и находятся на завершающей стадии разработки.

Месторождение Бузовна-Маштага

Зависимость между среднесуточным объемом извлекаемого из эксплуатационного объекта флюида (нефть+вода) и пластовым давлением на месторождении Бузовна-Маштага приведена на рис. 4а.

Месторождение Нефт-Даилары

Процесс многолетней разработки месторождения сопровождался падением давления в резервуарах до 20% от первоначального, что отразилось и на продуктивности пластов. На рис. 4б наблюдается четко выраженная тенденция уменьшения величины извлекаемого суммарного объема флюидов (нефть+вода) с уменьшением пластового давления.

Месторождение Гарадаг

Начальное пластовое давление в газоконденсатной залежи VII горизонта ПТ месторождения Гарадаг, как в первом, так и во втором блоках составляло 377,5 атм (38,2 МПа). В процессе разработки залежи к 1976 г. пластовое давление в I блоке снизилось до 43,6 атм (4,4 МПа), а во II блоке - 38,7 атм (3,9 МПа). Пример динамики изменения во времени пластовых давлений в I блоке показан на рис. 5а.

По результатам выполненных многими исследователями оценок [Кашников, 2008; Chan, 2004; Kharroubi et al., 2004; Liu et al., 2004] падение пластового давления в длительно разрабатываемых нефтегазовых месторождениях приводит к более значительному снижению проницаемости в сравнении с пористостью. Уменьшение проницаемости может достигать до 60% в сравнении с пористостью (до 15%), что по данным M.N.J. Al-Awad (2001 г.) может привести к уменьшению продуктивности песчаника до 33%.

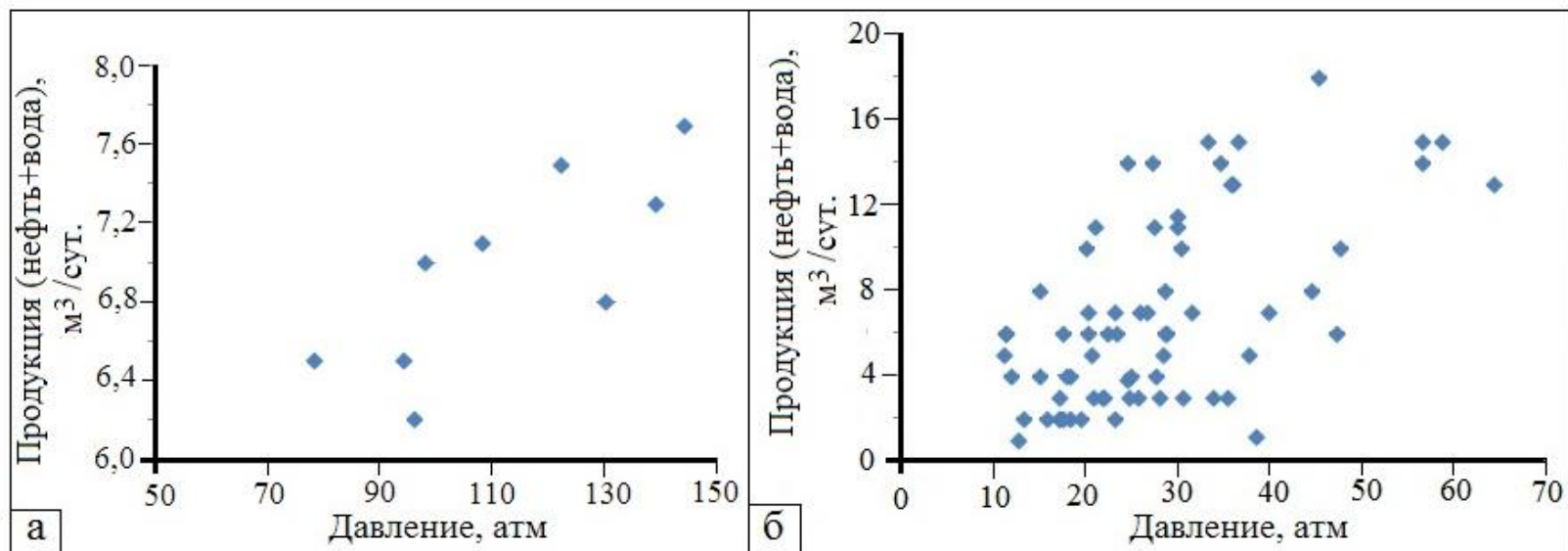


Рис. 4. Графики зависимости между среднесуточным объемом извлекаемого из пласта флюида (нефть+вода) и пластовым давлением на месторождении Бузовна-Маштага (а) и Нефт Дашлары (б)

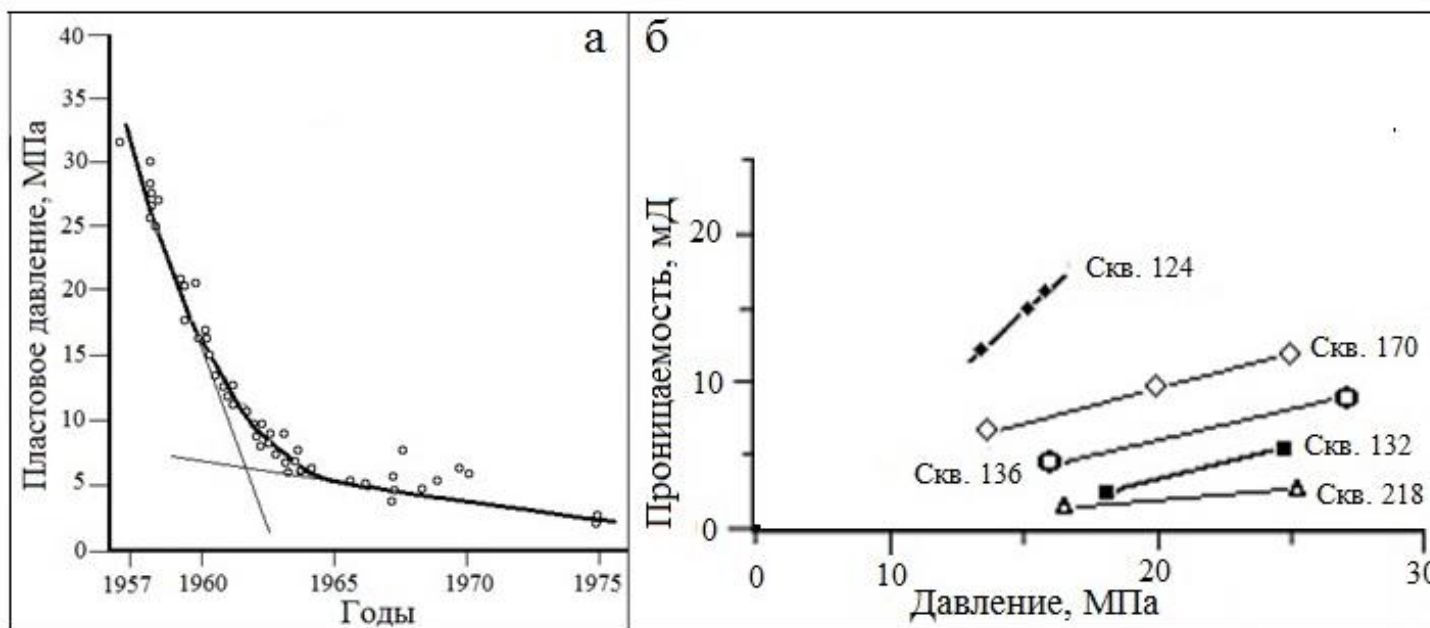


Рис. 5. Графики динамики изменения во времени пластовых давлений (а) и проницаемости пород в связанная с разработкой газоконденсатной залежи в VII горизонте ПТ месторождения Гарадаг

На рис. 5б показаны результаты оценки изменения проницаемости пород в связи с падением пластового давления в VII горизонте ПТ месторождения Гарадаг, основанные на данных повторных геофизических исследований скважин. Как видно из этих графических построений во всех случаях за относительно короткий период (от 8 мес до 2,5 года) отмечается снижение проницаемости в пределах от 1,2 до 4,9 мД при падении давления от 2,4 до 11,7 МПа.

Согласно данным табл. 1, при примерно равной продолжительности наблюдения в трех скважинах (170, 218, 132) относительная величина уменьшения проницаемости составляет, соответственно, 41%, 44% и 56%, что хорошо согласуется с результатами других исследователей [Кашников, 2008; Chan, 2004; Liu et al., 2004]. Кроме того, можно отметить большее относительной величины снижение проницаемости в высокопористых породах.

Таблица 1

**Изменение проницаемости пород в VII горизонте ПТ месторождения Гарадаг
в связи с падением давления**

Скважина	Пористость, %	Динамика параметров		
		Время между замерами, мес.	Величина падения давления, МПа	Относительная величина снижения прониц., %
132	18,5	15	3	56
136	18,0	25	11	47
218	17,4	14	1	44
170	16,7	13	5	41

Заключение

Рассмотрение изменения во времени параметров разработки ряда месторождений Абшеронского нефтегазоносного района ЮКБ, с учетом анализа результатов литературных данных, позволяет сделать следующие основные выводы:

- синхронность в тенденции падения пластовых давлений и снижения продуктивности пласта имеет закономерный характер и определяется нижеследующими факторами:

а) начальными термодинамическими параметрами резервуара, емкостно-фильтрационными свойствами пород, физико-химическими свойствами и фазовым состоянием насыщающих их флюидов;

б) снижением в процессе разработки энергетического потенциала резервуара, проявляющимся развитием аномально-низких пластовых давлений (значительно ниже гидростатического);

в) техногенно-индуцированными деформационными изменениями пород резервуара и

связанным с ними ухудшением их емкостных и, особенно, фильтрационных свойств, которые вместе с изменением физико-химических свойств и относительной (фазовой) проницаемости флюидов [Фейзуллаев и др., 2014] приводит к снижению продуктивности скважин и темпа отбора углеводородов.

- степень истощенности различных эксплуатационных объектов в разрезе ПТ месторождений Апшеронского нефтегазоносного района, в целом находящихся на завершающей стадии разработки, неодинакова, что необходимо учитывать при определении стратегии доразработки месторождений.

Литература

Добрынин В.М., Мулин В.Б., Куликов Б.Н. Необратимое снижение проницаемости полимиктовых песчаников Самотлорского месторождения // Нефтяное хозяйство. - 1973. - №10. - С. 34-37.

Кашиников О.Ю. Исследование и учет деформационных процессов при разработке залежей нефти в терригенных коллекторах // Автореф. дис. ... канд. тех. наук; ГОУ ВПО «ПГТУ». - Тюмень, 2008. - 22 с.

Муслимов Р.Х. Изменение геолого-физических условий выработки пластов при длительном заводнении залежей, пути их изучения и повышения эффективности разработки на поздней стадии // Труды Всероссийского совещания по разработке нефтяных месторождений. - Альметьевск, 2000. - С. 54-68.

Попов С.Н. Влияние деформаций коллекторов трещинно-порового типа на дебит скважин газоконденсатных месторождений // Дис. ... канд. техн. наук. Пермский государственный технический университет. - Пермь, 2007. - 170 с.

Сахибгареев Р.С., Славин В.И. Необратимые деформации горных пород при испытании скважин // Геология нефти и газа. - 1991. - №5. - С. 37-40.

Фейзуллаев А.А., Велиева Э.Б., Лунина В.Н., Ахмедова Г.Т. Об изменении свойств пород-коллекторов в процессе разработки залежей нефти (на примере месторождений Сураханы и мелководное Гюнешли) // Новости геофизики в Азербайджане. - 2014. - №3. - С. 7-12.

Фильтрация жидкости в деформируемых нефтяных пластах / Р.Н. Дияшев, А.В. Костерин, Э.В. Скворцов. - Казань: Изд-во Казанского математического общества, 1999. - 238 с.

Черемсин Н.А., Сонич В.П., Ефимов П.А. Роль неупругой деформации коллекторов в нефтеотдаче пластов // Нефтяное хозяйство. - 2001. - №9. - С. 76-79.

Al-Awad M.N.J. Relationship between reservoir productivity and pore pressure drop. Journal of King Saud University, Engineering Sciences, 2001, 13(1), 137-152.

Chan A.W. Production-induced reservoir compaction, permeability loss and land surface subsidence. Dissertation for PhD degree. Stanford University. 2004. 176 pp.

Kharroubi A., Layan B., Cordelier P. Influence of pore pressure decline on the permeability of North Sea sandstones. International Symposium of the Society of Core Analysts, Abu Dhabi. UAE. 2004. 5-9 October.

Liu J.-J., Feng X.-T., Jing L.-R. Theoretical and experimental studies on the fluid-solid coupling processes for oil recovery from low permeability fractured reservoirs. Int. J Rock Mech. Min. Sci., 2004, 41(3), 424-434.

Moos D., Chang C. Relationships between porosity, pressure and velocities in unconsolidated sands. Paper presented at Overpressures in Petroleum Exploration workshop, Pau France, April 1998.

Feyzullaev A.A.

Institute of Geology and Geophysics of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan, fakper@gmail.com

Godzhaev A.G.

Department of Operation of Gas Storages of PA Azneft SOCAR, Baku, Azerbaijan

Mamedova I.M.

NIPI "Neftegaz", State Oil Company of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

DEFORMATION PROCESSES DURING THE DEVELOPMENT OF HYDROCARBON ACCUMULATIONS AND THEIR INFLUENCE ON THE FORMATION PRODUCTIVITY

The article presents the results of the analysis of time changes in the development parameters of a number of fields in the Apsheron oil and gas region (South Caspian basin). Taking into account world experience, it is substantiated that a significant drop (below hydrostatic) in reservoir pressures as a result of long-term development of fields is accompanied by a deterioration in reservoir properties of rocks. It is shown that technologically induced deformations of reservoir rocks affect their permeability to a greater extent, contributing to a decrease in well productivity. It is shown that the degree of depletion of various production facilities in the fields of the Apsheron oil and gas region is not the same, which is recommended to be taken into account when determining the strategy for their additional development.

Keywords: oil and gas fields, long-term development, petroleum reservoir pressure, rock deformation, reservoir properties of rocks, well productivity, Apsheron oil and gas region, South Caspian basin.

References

Al-Awad M.N.J. Relationship between reservoir productivity and pore pressure drop. Journal of King Saud University, Engineering Sciences, 2001, 13(1), pp. 137-152.

Chan A.W. Production-induced reservoir compaction, permeability loss and land surface subsidence. Dissertation for PhD degree. Stanford University, 2004, 176 pp.

Cheremisin N.A., Sonich V.P., Efimov P.A. *Rol' neuprugoy deformatsii kollektorov v nefteotdache plastov* [The role of inelastic deformation of reservoirs in oil recovery]. Neftyanoe khozyaystvo, 2001, no. 9, pp. 76-79.

Dobrynin V.M., Mulin V.B., Kulikov B.N. *Neobratimoe snizhenie pronitsaemosti polimiktovykh peschanikov Samotlorskogo mestorozhdeniya* [Irreversible decrease in the permeability of polymictic sandstones of the Samotlor field]. Neftyanoe khozyaystvo, 1973, no. 10, pp. 34-37.

Feyzullaev A.A., Velieva E.B., Lunina V.N., Akhmedova G.T. *Ob izmenenii svoystv porod-kollektorov v protsesse razrabotki zalezhey nefti (na primere mestorozhdeniy Surakhany i melkovodnoe Gyuneshli)* [On the change in the properties of reservoir rocks in the process of developing oil accumulations (on the example of the Surakhani and shallow water Guneshli fields)]. *Novosti geofiziki v Azerbaydzhanе*, 2014, no. 3, pp. 7-12.

Fil'tratsiya zhidkosti v deformiruemykh neftyanykh plastakh [Fluid filtration in deformable oil reservoirs]. R.N. Diyashev, A.V. Kosterin, E.V. Skvortsov. Kazan': Izd-vo Kazanskogo matematicheskogo obshchestva, 1999, 238 p.

Kashnikov O.Yu. *Issledovanie i uchet deformatsionnykh protsessov pri razrabotke zalezhey nefti v terrigennykh kollektorakh* [Research and accounting of deformation processes in the development of oil accumulations in terrigenous reservoirs]. Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk; GOU VPO «PGTU». Tyumen', 2008, 22 p.

Kharroubi A., Layan B., Cordelier P. Influence of pore pressure decline on the permeability of North Sea sandstones. International Symposium of the Society of Core Analysts, Abu Dhabi. UAE. 5-9 October 2004.

Liu J.-J., Feng X.-T., Jing L.-R. Theoretical and experimental studies on the fluid-solid

coupling processes for oil recovery from low permeability fractured reservoirs. *Int. J Rock Mech. Min. Sci.*, 2004, 41(3), pp. 424-434.

Moos D., Chang C. Relationships between porosity, pressure and velocities in unconsolidated sands. Paper presented at Overpressures in Petroleum Exploration workshop, Pau France, April 1998.

Muslimov R.Kh. *Izmenenie geologo-fizicheskikh usloviy vyrabotki plastov pri dlitel'nom zavodnenii zalezhey, puti ikh izucheniya i povysheniya effektivnosti razrabotki na pozdney stadii* [Changes in the geological and physical conditions of reservoir development during long-term flooding of accumulations, ways to study them and increase the efficiency of development at a late stage]. *Trudy Vserossiyskogo soveshchaniya po razrabotke neftyanykh mestorozhdeniy*. Al'met'evsk, 2000, pp. 54-68.

Popov S.N. *Vliyanie deformatsiy kollektorov treshchinno-porovogo tipa na debit skvazhin gazokondensatnykh mestorozhdeniy* [Influence of deformations of fractured-porous reservoirs on the flow rate of wells in gas condensate fields]. Dis. ... kand. tekhn. nauk. Perm'skiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. Perm', 2007, 170 p.

Sakhigareev R.S., Slavin V.I. *Neobratimye deformatsii gornykh porod pri ispytanii skvazhin* [Irreversible deformations of rocks during well testing]. *Geologiya nefi i gaza*, 1991, no. 5, pp. 37-40.

© Фейзуллаев А.А., Годжаев А.Г., Мамедова И.М., 2022

