

ВОЗДЕЙСТВИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА КОЛЛЕКТОРОВ ПХГ

В.С. Жуков
ООО «Газпром ВНИИГаз», Москва

Как известно, длительная разработка месторождений углеводородов приводит к нарушению равновесных условий в недрах и может вызывать значительные изменения напряженно-деформированного состояния, как пластов-коллекторов, так и вышележащих пород-покрышек. Основными факторами активизации современных геодинамических процессов на газовых месторождениях и ПХГ являются локальные просадки земной поверхности, техногенная или техногенно-индуцированная сейсмичность, искривления стволов скважин, деформирование, смещения и разрывы обсадных колонн, локальные изгибы земной поверхности на узких (до 1 км) участках циклического или волнового характера [1–3].

Для оценки изменений напряженного состояния недр при современных геодинамических процессах могут быть использованы различные методы, в том числе методы геофизических исследований скважин (ГИС). На ряде объектов нефтегазовой отрасли уже проводятся долговременные наблюдения за процессом разработки месторождений или эксплуатации ПХГ. При этом использование данных методов должно подчиняться задаче исследования динамики физических свойств пород.

Руководящими документами [4–6] установлены следующие виды контроля при эксплуатации ПХГ: 1 – контроль технологических процессов, происходящих в газовой залежи; 2 – контроль и наблюдения за герметичностью ПХГ; 3 – контроль верхних водоносных горизонтов; 4 – периодическая переаттестация скважин. Для реализации пунктов 2 и 4 и были выполнены описываемые ниже исследования.

Проводились исследования скважин Пунгинского ПХГ, включающие в себя дефектometriю колонн скважин методом «МИД-А», геофизические исследования скважин методами радиометрии (НГК, ГК) и газодинамические исследования с регистрацией распределения давления, температуры и влажности по стволу скважин [7–9].

Результаты работ показали, что влияние современных геодинамических процессов на пространство за колоннами скважин можно разделить на три типа. *Первый тип* – образование заколонных скоплений газа в приустьевой зоне скважин. В этом случае

трещины колонн скважин практически не выявлены, имеются только заколонные скопления газа. *Второй тип* – образование трещин в средней части колонн скважин и пространства за ними, которое может быть обусловлено геодинамическими или техническими причинами. Отметим, что в этом случае появление трещин может сопровождаться формированием заколонных скоплений газа. И *третий тип* – это образование трещин колонн в интервале перфорации, обусловленное техногенными причинами. В этом случае интерес представляют выявленные при анализе одного из циклов закачки – отбора газа изменения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород коллектора. Рассмотрим все три типа более подробно.

Первый тип. Формирование трещин в заколонном пространстве вблизи устья скважин, как правило, выявляется по результатам повторных наблюдений НГК и сопровождается образованием заколонных скоплений газа. Рассмотрим ряд характерных случаев (рис. 1).

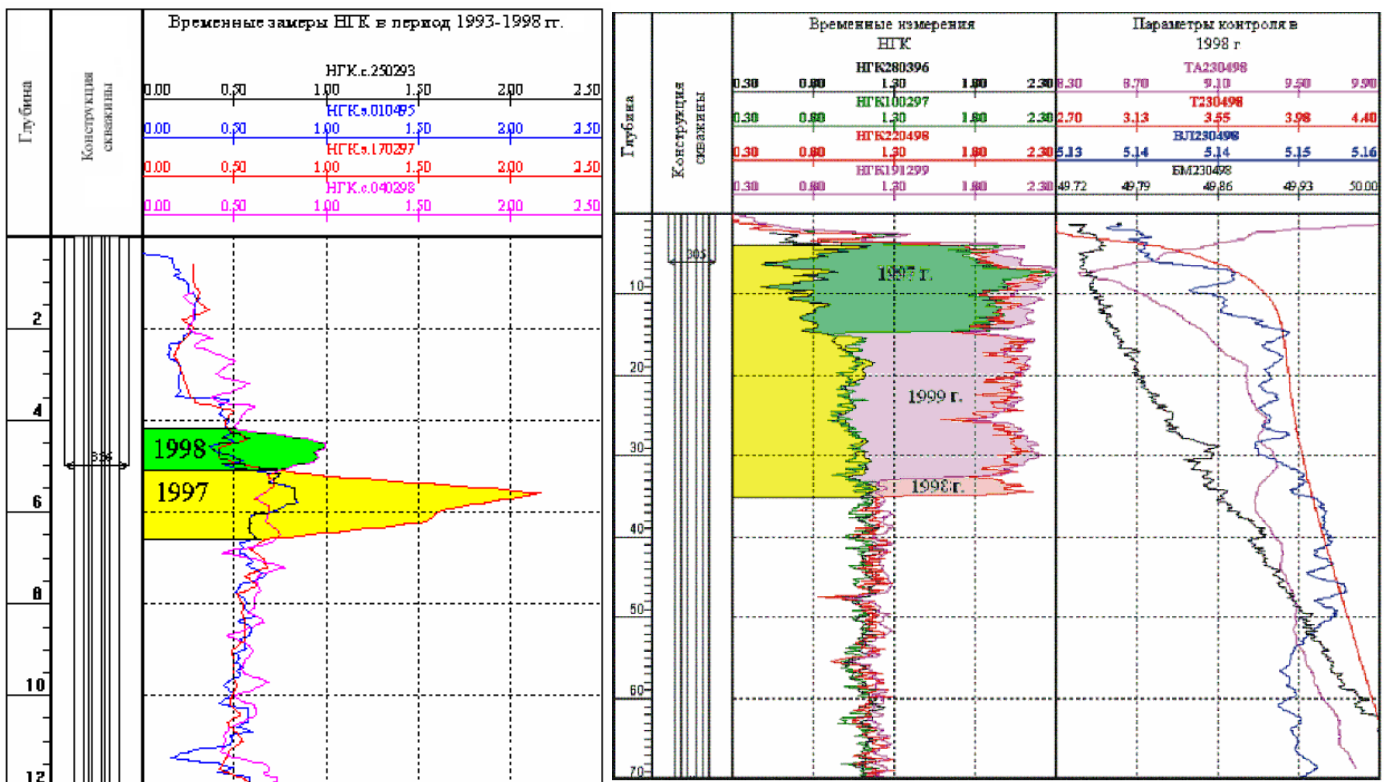


Рис. 1. Образование заколонных скоплений газа в приустьевой зоне скважин

Методом дефектометрии нарушений колонн не обнаружено. Заколонные скопления газа выявлены в интервале 4,2–6,7 м ($h=2,5$ м) возле устья скважины А и в интервале 660–

676 м ($h=16$ м), который сложен алевролитом с прослоями глин. Вблизи устья скважины повышенные значения НГК зафиксированы в 1997 г. в интервале 5–6,7 м. В следующем году повышенные значения НГК были приурочены уже к интервалу глубин 4,2–5 м. Нижнее скопление газа выявлено в 1997 г., и вплоть до 2002 г. заметных изменений по глубине и интенсивности аномалии не отмечалось.

В скважине *B* заколонные скопления газа отмечены на глубинах 3,3–32,7 м ($h=29,3$ м) и 1667–1751 м ($h=84$ м), где вскрыты песчано-глинисто-галечниковые отложения. Скопление газа в интервале глубин 3,3–32,7 м сформировалось после 1996 г. (рис. 1). Причем это формирование тоже шло постепенно. Так, к 1997 г. оно охватывало интервал глубин 5–15 м, затем, в 1998 г., распространилось до глубины 35 м. Анализ данных ГИС-контроля (давление, температура, влажность) за 1998 г. не позволил сделать однозначного вывода о наличии каких-либо нарушений колонны в этом интервале.

Второй тип. Только в двух скважинах – *C* и *D* – были выявлены трещины колонн в средней части. В ряде скважин были выявлены заколонные скопления газа.

В интервале глубин 1288,6–1295,8 м скважины *C* (рис. 2) возможны нарушения целостности эксплуатационной колонны в виде трещин или повышенный износ ее стенок. Этот интервал сложен переслаиванием глин, аргиллитов и алевролитов. Заколонных скоплений газа в этом интервале по данным ГИС-контроля не выявлено. Работы методом дефектометрии проводились в скважине *D* дважды, и оба раза были выявлены продольные трещины до 1 м в эксплуатационной колонне в интервале глубин 1706,5–1707,7 м (рис. 3). Этот интервал сложен аргиллитами, и по данным ГИС-контроля заколонных скоплений газа в нём не обнаружено.

Во всех скважинах интервалы повышенного износа стенок колонны приурочены к глинистым, пластичным породам, которые наиболее подвержены деформированию при изменении напряженного состояния во время активизации современных геодинамических процессов.

В скважине *B* кроме заколонного скопления газа вблизи устья был выявлен интервал заколонного скопления газа вблизи её забоя. Он относится к отложениям, состоящим из глин. Следует отметить, что и в интервале 1726–1751 м скопление газа формировалось постепенно (рис. 4). Так, к 1994 г. скопление газа образовалось в интервале 1726–1750 м, а позже оно распространилось и ниже и шире вокруг ствола скважины. К 1996 г. газ распространился до глубины 1754 м и даже, частично, ниже (до 1958 м), проникая в кору

выветривания. Наконец, в 1998–1999 гг. скопление газа уже отмечалось на вышеуказанном интервале глубин 1726–1758 м и оставалось на этом уровне вплоть до 1999 г.

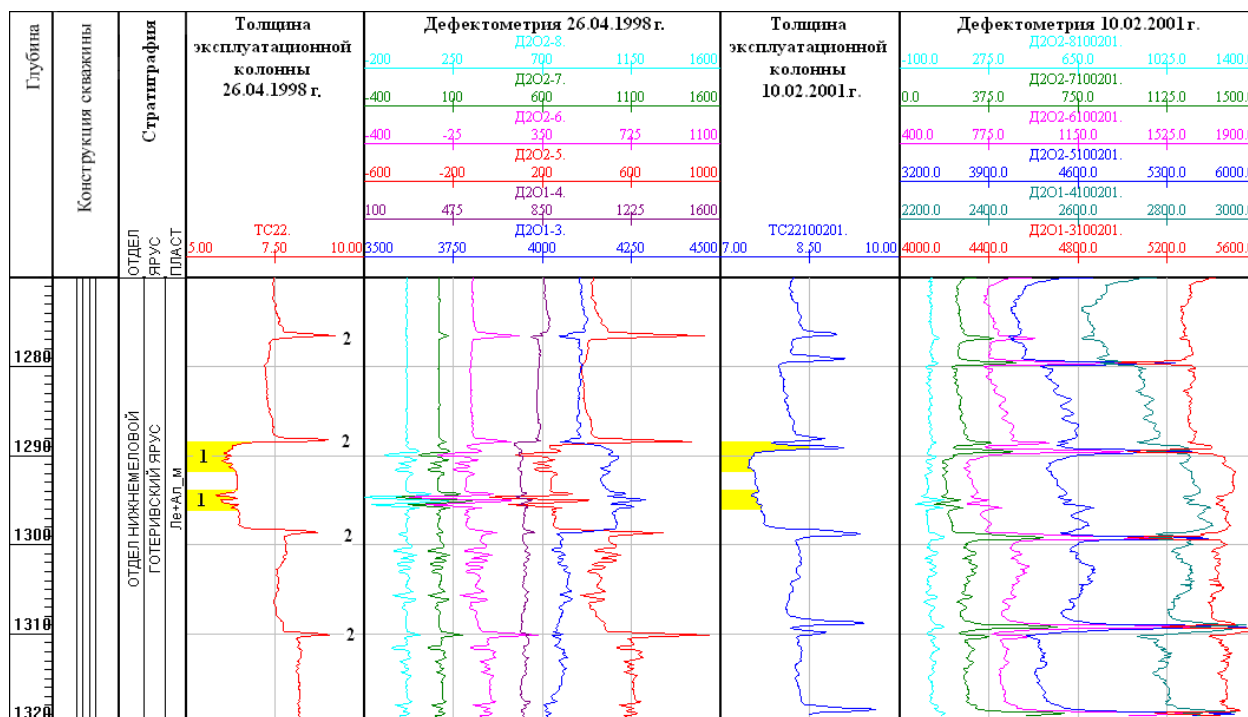


Рис. 2. Интервал повышенного износа эксплуатационной колонны скважины С по данным магнитоимпульсной дефектоскопии 26.04.1998 г. и 10.02.2001 г.

По данным измерений НГК в 1999 г. (рост значений) можно видеть дальнейшее неоднородное расширение зоны проявления газа вокруг ствола скважины в интервале глубин 1726–1758 м. При этом происходит увеличение содержания газа, а следовательно, и объема пор, сопровождаемое ростом значений.

Заколонные скопления газа обычно формируются постепенно, в течение определенного периода времени происходит увеличение трещиноватости пород-покрышек, повышается их относительное газонасыщение. Так как исследования скважин, проводившиеся после окончания их обустройства, не выявляли нарушений, то очевидно, что образование трещин в колоннах и формирование скоплений газа за колоннами происходит при активизации современных геодинамических процессов.

Одной из наиболее вероятных причин формирования трещин является воздействие на горные породы и цементный камень вокруг колонн скважин циклических процессов сжатия – растяжения, сопровождающих процессы отбора и закачки газа. То есть

многократные циклические изменения напряженного состояния приводят к возникновению нарушений в колоннах скважин и в пространстве вокруг них.

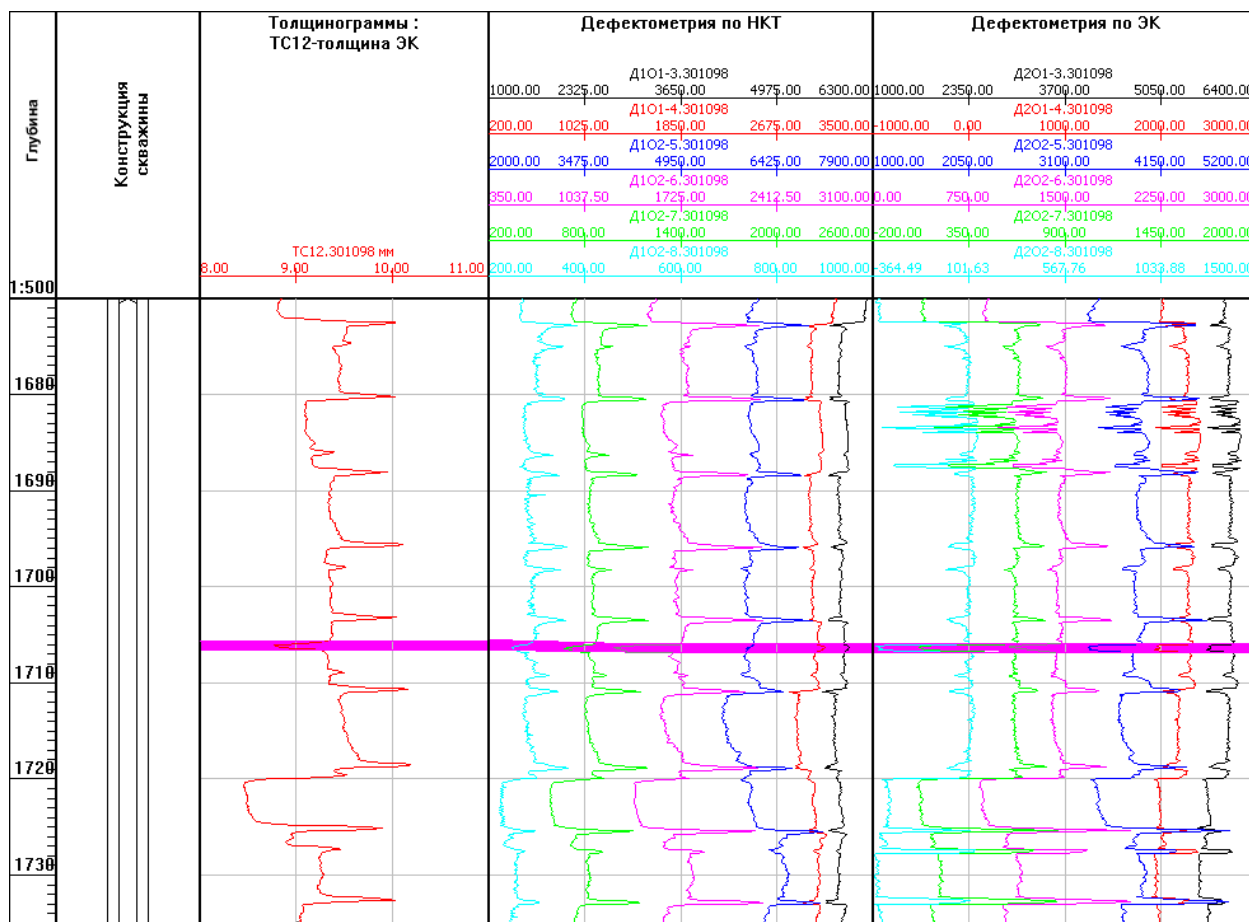


Рис. 3. Выявление дефекта в эксплуатационной колонне скважины D в 1998 г.

Третий тип. Так, в 16 из 26 исследованных скважин в интервалах перфорации эксплуатационные колонны имели трещины длиной до 8 м.

Целенаправленный мониторинг процессов разработки месторождений и эксплуатации ПХГ с помощью повторных измерений в скважинах позволит заранее выявлять как интервалы заколонных скоплений газа, так и интервалы повышенного износа стенок колонн и образования трещин. Своевременное выявление таких интервалов, которые являются зонами возможных утечек газа (проникновения газа за колонны и на поверхность), даст возможность свести к минимуму потери газа при разработке месторождений и эксплуатации ПХГ и снизить негативную экологическую нагрузку на окружающую среду.

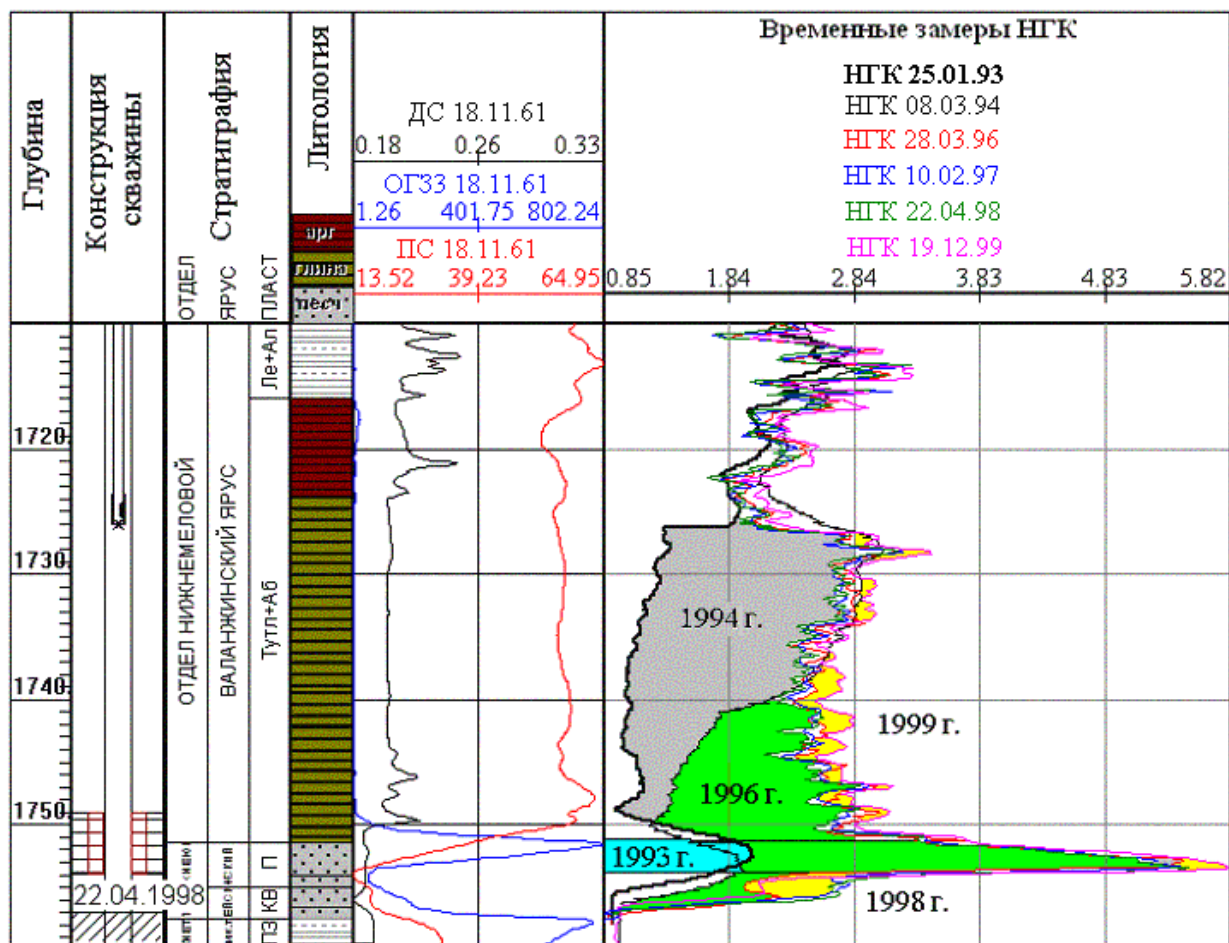


Рис. 4. Выявление заколонного скопления газа вблизи забоя скважины *B* и его динамика по данным мониторинговых измерений НГК

В связи с тем, что мониторинговые наблюдения, осуществляемые с помощью методов ГИС по всему стволу скважины, позволяют выявлять изменения ряда физических свойств пород, в частности фильтрационно-емкостных, открывается прямой путь к выявлению зон аномальных изменений напряженно-деформированного состояния, сопровождающих активизацию современных геодинамических процессов.

Одной из основных задач промышленной геофизики на ПХГ является выделение пластов-коллекторов и оценка их ФЕС. Широко известно, что приемистость пластов в процессе циклической эксплуатации ухудшается. Для оценки степени влияния одного цикла закачка – отбор на изменение ФЕС пород-коллекторов нами были рассмотрены

данные повторных измерений НГК на одной из скважин Пунгинского ПХГ, полученные в период закачки – отбора газа 2000–2001 гг. (рис. 5).

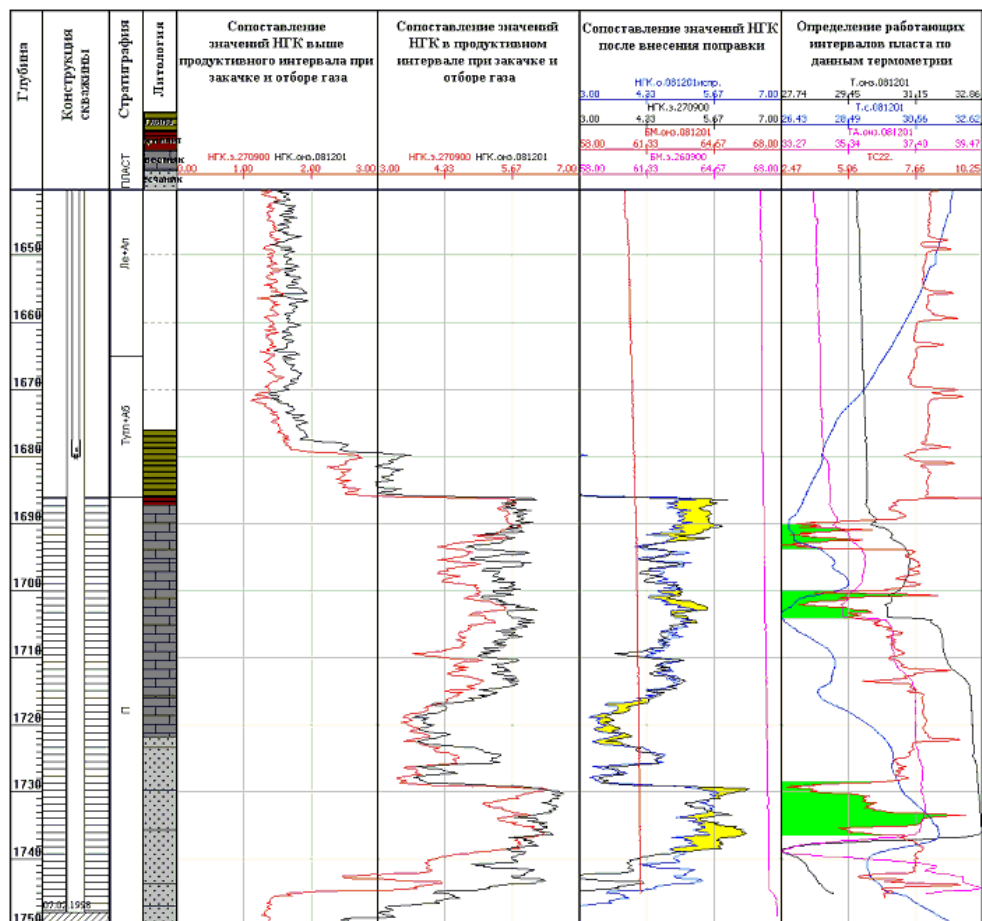


Рис. 5. Сопоставление значений НГК, давления и температуры при отборе и закачке газа

Сопоставление значений, полученных при измерении НГК в одних и тех же интервалах одним и тем же прибором при закачке газа в пласт и при отборе газа и при не изменившейся конструкции скважины, показывает, что значения НГК при закачке меньше, чем при отборе (рис. 5).

Естественно предположить, что это связано с влиянием изменившегося между измерениями НГК эффективного давления, обусловленного изменением пластового давления.

Для учета показаний НГК, вызванных изменением пластового давления в период между измерениями, воспользуемся поправкой [11], которая при пластовых давлениях 67,1 и 60,8 атм дает значение 0,989, и ею можно пренебречь.

Для учета влияния изменившихся условий показания НГК для продуктивного пласта были исправлены и приведены к условиям первого НГК.

Сопоставление значений НГК после внесения поправки (рис. 5) позволило выявить интервалы существенных изменений НГК в продуктивном пласте. Примечательно, что интервалы повышенных значений НГК расположены в местах крупных нарушений эксплуатационной колонны, где выявлены значительные аномалии её толщины. Величина изменений НГК достигает 10%.

В данном случае, когда условия в скважине практически остались прежними, изменения НГК обусловлены влиянием изменившихся газонасыщенности и плотности, а следовательно, и пористости пласта в процессе закачки – отбора газа.

ВЫВОДЫ

Целенаправленный анализ результатов повторных геофизических исследований скважин показал, что развитие трещин в эксплуатационных и обсадных колоннах и формирование скоплений газа за колоннами скважин происходят в течение нескольких месяцев при активизации современных геодинамических процессов.

Выявлены изменения фильтрационно-емкостных свойств продуктивного пласта подземного хранилища газа, проявляющиеся в изменении значений нейтронного гамма-каротажа амплитудой до 10%, которые обусловлены влиянием изменений пластового давления (0,63 МПа) при закачке и отборе газа.

Показана возможность использования результатов производственного мониторинга (ГИС-контроль) в качестве составной части геодинамического мониторинга месторождений нефти и газа, который необходим для обеспечения их экологической и промышленной безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М.: АЭН, 1999. 220 с.
2. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. М.: Изд-во МГГУ, 2004. 262 с.
3. Кузьмин Ю.О., Никонов А.И. Эколого-геодинамическая опасность подземных хранилищ газа // Информационное обеспечение рационального природопользования. М., 2001. С. 163–171.

4. *Арутюнов А.Е., Бузинов С.Н., Ворожбицкий В.М.* и др. Правила создания и эксплуатации подземных хранилищ газа в пористых пластах. М.: ВНИИГаз, 1994. 40 с.
5. Регламент контроля и наблюдений за созданием и эксплуатацией подземных хранилищ газа в пористых пластах. М.: ВНИИГаз, 1992. 21 с.
6. Временная инструкция по переаттестации скважин ПХГ с целью определения их возможной эксплуатации. Ставрополь: СевКавНИПИГаз, 1996. 21 с.
7. *Жардецкий А.В., Жуков В.С., Моисеев П.В., Кузьмин Ю.О.* Применение геолого-математического моделирования для мониторинга геодинамических процессов при эксплуатации ПХГ // НТВ «Каротажник». Тверь, 2003. № 102. С. 67–76.
8. *Жуков В.С., Кузьмин Ю.О., Скворцова М.В.* Влияние напряженного состояния на данные геофизических исследований в скважинах // Горн. информ.-аналит. бюл. 2003. №5. С. 76–81.
9. *Полоудин Г.А., Пучков А.И., Жуков В.С.* Пунгинское ПХГ – первоочередной объект разведочных работ на кристаллический фундамент // Наука и техника в газовой пром-сти. 2002. № 1. С. 3–7.
10. *Сидоренко М.В.* Подземное хранение газа. М.: Недра, 1965. 136 с.
11. *Берман Л.Б., Нейман В.С.* Исследование газовых месторождений и ПХГ методами промысловой геофизики. М.: Недра, 1972. 216 с.
12. *Резванов Р.А.* Радиоактивные и другие неэлектрические методы исследования скважин. М.: Недра, 1982. 368 с.