

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА**

© Ю.А.Шыхалиев, А.А.Фейзуллаев, 2010

**АНОМАЛЬНО-ВЫСОКИЕ ДАВЛЕНИЯ В ОСАДОЧНОМ РАЗРЕЗЕ  
ЮЖНОГО КАСПИЯ: ОПЫТ ДИАГНОСТИКИ  
ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ**Ю.А.Шыхалиев<sup>1</sup>, А.А.Фейзуллаев<sup>2</sup>*1 – Геолого-геофизическое Управление ГНКАР  
AZ1033, Баку, просп. Гейдара Алиева, 83 А**2 – Институт геологии НАН Азербайджана  
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А*

В статье приводятся результаты первой попытки прогнозирования сверхдавлений в осадочном разрезе Южно-Каспийского бассейна на основе сейсмических данных до бурения скважины. Используемый метод базируется на пакете программ «REZAYR». Выявлены три основные зоны сверхдавлений различной мощности и интенсивности. Первая верхняя зона сверхдавления простирается на глубины меньше, чем 1 км. Природа этой относительно маломощной зоны может быть связана с генерацией биохимического газа. Вторая зона сверхдавления охватывает глубины 1,5-3 км и, вероятнее всего, является результатом неравновесного уплотнения (недоуплотнения) пород из-за высокой скорости осадконакопления. Третья, наиболее интенсивная и наиболее мощная зона сверхдавлений, выявлена в интервале 6-9 км и, наиболее вероятно, обусловлена процессами катагенетической генерации углеводородов (зона разуплотнения пород). Эта зона наибольшего риска при бурении скважин.

**Введение**

Проблема разработки метода прямой диагностики зон развития АВГД по сейсмическим данным являлась объектом внимания многих исследователей (Zsellér, 1979; Bowers, 1995; Kan et al., 1999; Dvorkin et al., 1999; Carcione and Helle, 2002; Dutta, 2002; Sayers et al., 2002; Chopra and Huffman, 2006).

Наиболее эффективным и объективным методом изучения закономерностей распределения давлений в осадочном разрезе и их количественной оценки в том или ином бассейне является анализ кривых геофизических исследований скважин (ГИС) в комплексе с прямыми замерами давлений на устье и забое скважин. Несмотря на то, что этот метод прогноза АВГД достаточно длительно разрабатывается и широко используется в практике, однако для минимизации технологического и экономического риска очень важен прогноз зон развития аномальных давлений в разрезе до начала бурения скважины.

Из всех методов полевой геофизики только сейсморазведка способна решить задачу диагностики в разрезе зон АВГД. Первые попытки решения этой задачи по сейсмическим данным были довольно грубые. Погрешности в положении границы зоны достигали до 250 м (по вертикали), а в определении величины давлений – 20-30 % (Гогоненков, 1980). Тем не менее, в условиях отсутствия более точной информации даже такие приближенные оценки способствовали повышению скоростей проходки и снижению аварийности при бурении поисково-разведочных скважин.

В последние годы в связи с интенсивным развитием компьютерной техники и информационных технологий обработки и интерпретации сейсмических данных значительно повысилась эффективность прямого прогноза наличия в разрезе зон с аномально высокими поровыми давлениями, определения их границ и оценки их величины.

В физической основе этого метода лежит

тот факт, что АВГД в породах приводят к их разуплотнению и увеличению пористости, что в свою очередь отражается на характере сейсмоволнового поля изучаемого разреза. Особенно контрастно указанные процессы наблюдаются в пластичных глинистых породах достаточной большой мощности, в которых из-за низкой проницаемости затруднены процессы перераспределения геофлюидных давлений.

В геофизических полях такие интервалы отражаются в виде региональных зон разуплотнения пород с аномально-низкими скоростями волн. В Южно-Каспийском бассейне (ЮКБ) такие зоны с аномально-низкими скоростями волн впервые были обнаружены Гулиевым и др. (1987, 1988).

Aud, Fertl, (1976) на примере трех нефтегазоносных регионов США (шельф Техаса, впадина Анадарко и пролив Санта-Барбара, Калифорния) показали, что успешность прогнозирования зоны развития АВГД по данным сейсморазведки во многом зависит от глубины залегания ее кровли и мощности этой зоны.

Широко используются данные сейсморазведки для прогнозирования АВГД в Венгрии, в частности при поисково-разведочных работах на нефть и газ в Паннонском нефтегазоносном бассейне (Zseller, 1979). В основе применяющихся венгерскими специалистами методов прогнозирования и оценки АВГД по данным сейсморазведки лежит представление о снижении плотности пород и увеличении их пористости в зонах АВГД, что сказывается на скорости упругих волн при их распространении с глубиной.

#### О методике исследований

В мировой практике из всего многообразия скоростей, участвующих при обработке и интерпретации сейсмических данных, для целей прогноза АВГД рекомендуется использовать скорость суммирования. В нашей терминологии это скорости метода общей глубинной точки (ОГТ), который может иметь некоторые модификации.

Рассматриваемый в данной статье метод базируется на разработанном пакете программ «REZAYR», работающем в системе WINDOWS (Шыхалиев, Гаузер, 2006). Этот пакет программ предназначен для анализа сейсмической информации с целью прогноза зон с аномаль-

ными давлениями до начала бурения, т.е. без привлечения скважинной информации. Пакет представляет единый программный модуль, состоящий из последовательных процедур, решающих вычислительные и сервисные задачи, а также задачу визуализации полученных результатов. Информацией, необходимой для работы пакета являются сейсмические профили, которые могут быть оцифрованы как во времени, так и по глубине в соответствии с требованиями системы «REZAYR».

Указанная информация может быть двух модификаций: как в виде отдельных профилей, не связанных общей системой координат, так и в виде системы профилей, когда для каждого профиля определены условные или истинные координаты его начала и конца. Второй вариант исходной информации более предпочтителен, так как он в значительной степени упрощает вызов данных для обработки и хранения.

Согласно схеме, приведенной на рис.1, кровлей зоны АВГД на трассе скоростей глин является точка конца линии их нормального уплотнения, после которой начинается уменьшение значений скоростей до минимума. Точка, соответствующая этому минимальному значению, определяет подошву зоны АВГД и, очевидно, начало нового тренда естественного уплотнения глин (см. рис.1).

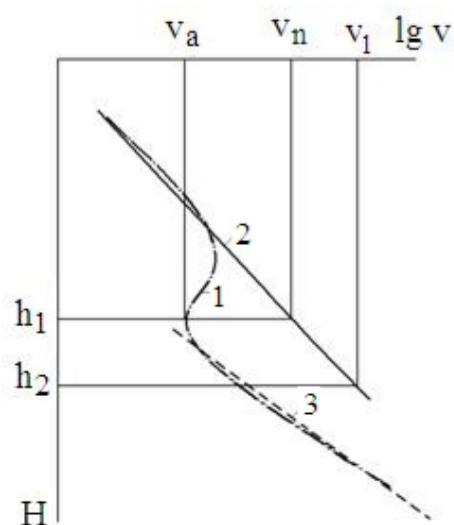


Рис. 1. График изменения логарифмов значений интервальных скоростей с глубиной: 1 – интервальные скорости; 2 – тренд уплотнения глин до зоны аномально высоких поровых давлений (АВПоД); 3 – тренд уплотнения глин после зоны АВПоД

### Результаты исследований

Исследуемый фрагмент временного разреза (рис.2а) первоначально был преобразован в разрез импедансов, а затем трансформирован в значения пластовых скоростей. Поскольку глины имеют относительно слабую дифференциацию значений скоростей, на разрезе отсутствуют области с выраженной пластовой текстурой. Однако общие детали, отражающие особенности геологической обстановки, прослеживаются достаточно наглядно, т.е. хорошо видна антиклинальная форма отложений.

Как следует из исследуемого фрагмента сейсмического разреза (рис. 2а), влияние на поле скоростей глин отложений иной литофации незначительно, что благоприятствует надежному выделению границ зон аномально высоких газовых давлений (АВГД).

Согласно полученному в результате обработки фрагмента сейсмического профиля с использованием пакета программ «REZAYR» конечному имиджу, (рис. 2б), в данном разрезе ЮКБ выделяются три основные зоны АВГД разной мощности и протяженности.

Первая самая верхняя зона аномальных давлений охватывает глубины менее 1км. Она является менее протяженной и имеет относительно небольшую мощность. Вторая зона охватывает интервал 1,5-3км, и наконец, третья зона, самая протяженная и наиболее мощная, отмечается в интервале глубин 6-9км.

### Обсуждение результатов

Первый опыт прямой диагностики зон развития АВГД в осадочном разрезе ЮКБ по сейсмическим данным до бурения скважины указал на хорошую согласованность его результатов с теоретическими разработками и фактическими замерами давлений на соседних площадях. Так, выявленная самая верхняя

зона избыточных давлений (интервал менее 1000 м) (см. рис. 1б) может быть связана с началом формирования АВГД в результате неравновесного уплотнения пород, поскольку по фактическим замерам в скважинах это явление обнаруживается уже с глубины 500-600 м (Юсуфзаде и др., 1976; Халилов и Иманов, 1980) (рис. 3).

Важно отметить, что по данным высокоточной сейсморазведки сложные барические условия бурения на незначительных глубинах также были выявлены на площади Юджин-Айленд в интервале 488-735 м и на площади Гарден-Банкс в интервале 150-1050 м, расположенных на шельфе Луизианы (Dickinson, 1953; Leach, 1993).

Вместе с тем необходимо отметить, что природа неглубоких проявлений аномальных давлений может быть связана также с верхней биохимической зоной газообразования, особенно при скоплении этих газов в песчаных линзах, ограниченных со всех сторон пластичными слабопроницаемыми породами. Промышленные запасы такого газа известны на Болгарском побережье Черного моря, в бассейне реки По (Италия), в Японии и т.д. Как отмечают Н.Ю.Халилов и А.А.Иманов (1979), «разрезы указанных интервалов в основном представлены глинами с прослоями линзовидных песчано-алевритовых пород, при прохождении которых наблюдаются водо-газопроявления, поглощения, обвалы и осыпи». Известны случаи разрушения в ЮКБ стационарных платформ из-за наличия таких линз. К этому уместно будет добавить, что в прибрежной зоне Каспия (район Нефтчала) при прокладке ирригационного канала на глубине около 6 м выявлены естественные газопроявления с явно биохимической изотопной меткой углерода метана ( $\delta^{13}\text{C} - 81,5 \dots - 82,3$ ).

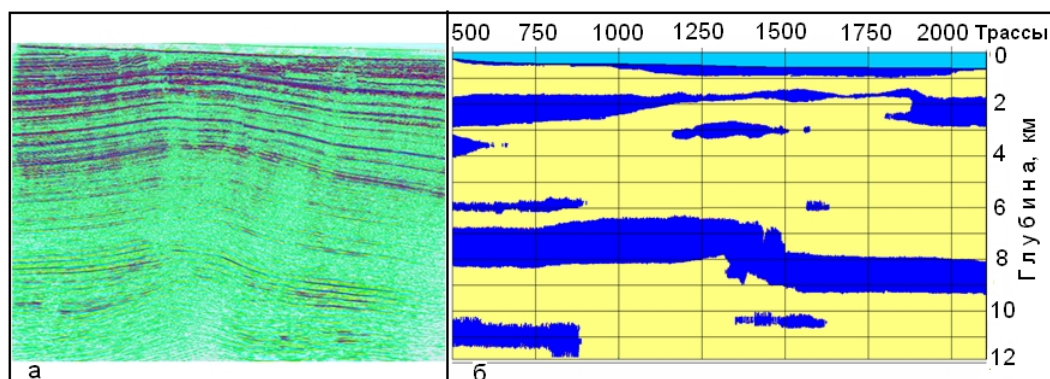
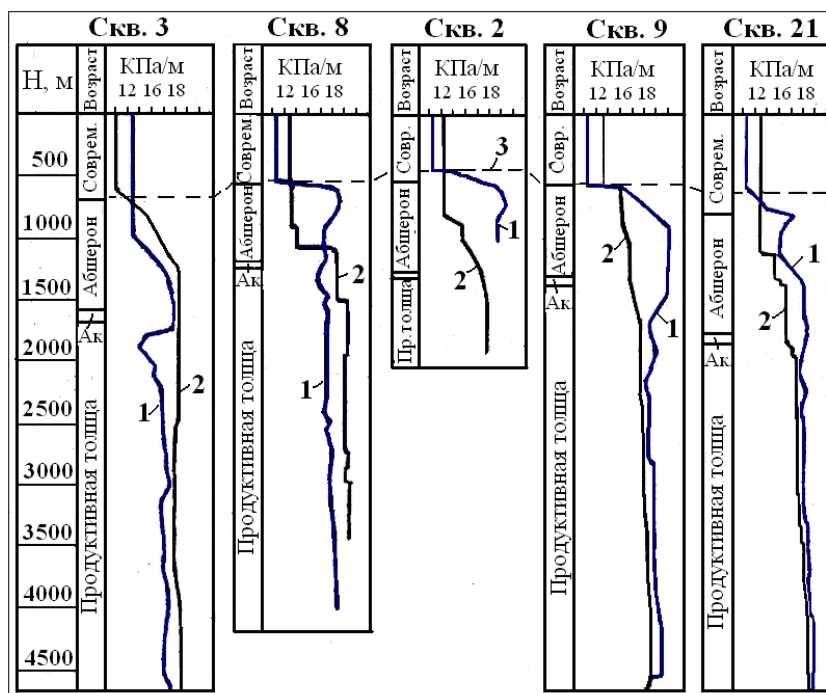
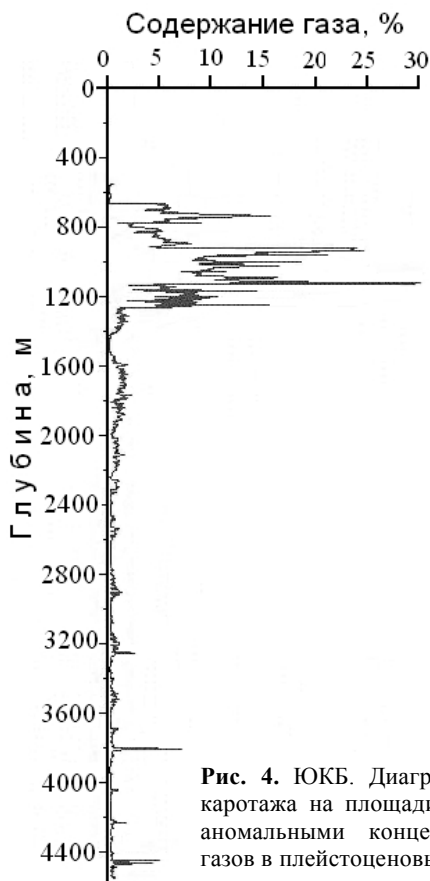


Рис. 2. Фрагмент исследованного временного разреза (а) и выявленные на нем зоны АВГД (б)



**Рис. 3.** Изменение градиентов давления по разрезу скважин на площади Булла-дениз, ЮКБ: 1 – рассчитанные значения; 2 – фактические данные (по уд. весу бур. раствора); 3 – верхняя граница АВГД (по Юсуфзаде и др., 1976)



**Рис. 4.** ЮКБ. Диаграмма газового каротажа на площади Шах-дениз с аномальными концентрациями УВ газов в плейстоценовых отложениях

Важно отметить, что зоны высокого газонасыщения в плейстоценовых отложениях отмечаются в ЮКБ и по данным газового каротажа (рис. 4).

Пик формирования АВГД в связи недоуплотнением пород достигается на глубинах до 3 км, и, вероятнее всего, выявленная по сейсмическим данным вторая зона отражает именно этот интервал глубин (см. рис 1б).

Третья, выявленная по сейсмическим данным самая мощная зона, хорошо увязывается с установленной вертикальной зональностью нефтегазообразования в ЮКБ (рис. 5) (Фейзуллаев, Тагиев, 2008).

**Заключение**

Результаты впервые осуществленной в ЮКБ попытки прямого прогноза зон развития АВГД в разрезе аномальных давлений по сейсмическим данным хорошо согласуются с теоретическими разработками и традиционными методами диагностики.

Выявленные в сейсмическом разрезе ЮКБ зоны АВГД связываются с неглубокозалегающими запечатанными газовыми скоплениями, возможно, биохимической природы

(верхняя зона АВГД), неравновесным уплотнением (недоуплотнением) пород (средняя зона АВГД) и генерацией УВ (нижняя зона АВГД). Причем нижняя зона АВГД является наиболее интенсивной, уровень которой зависит от мощности глинистой толщи, концентрации в глине органического вещества, его типа

и температурных условий его преобразования в УВ. В этой зоне наибольший риск аварии при бурении скважин может быть связан с началом процессов газообразования на глубинах более 9 км как за счет более глубокой термальной деструкции керогена, так и крекинга ранее образовавшихся жидких УВ.

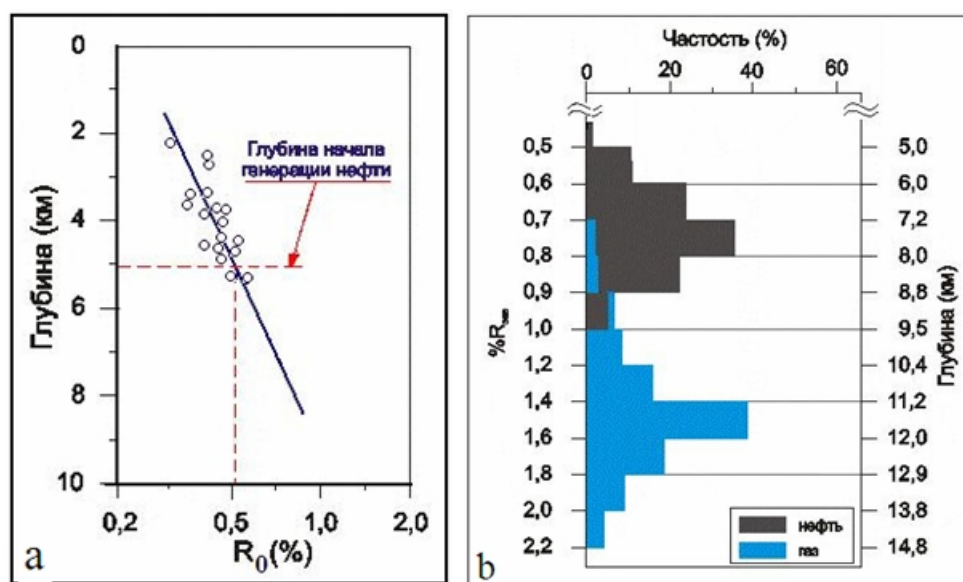


Рис. 5. ЮКБ. Прогнозируемая глубина начала генерации нефти по данным изменения с глубиной отражательной способности витринита (а) и расчетные глубины генерации нефти и газа, рассчитанные по их зрелости (б)

Сейсмический метод диагностики зон АВГД рекомендуется для использования в практике поисково-разведочных работ в ЮКБ, что будет способствовать минимизации степени экономического и технологического риска бурения глубоких скважин на еще неразбуренных перспективных структурах в глубоководной части бассейна.

#### ЛИТЕРАТУРА

- ГОГОНЕНКОВ, Г.Н. 1980. Прогноз геологического разреза по сейсмическим данным. *Геология нефти и газа*, 1, 48-55.
- ГУЛИЕВ, И.С., РАДЖАБОВ, М.М., ФЕЙЗУЛЛАЕВ, А.А., БАБАЕВ, А.Г. 1987. Геологические аспекты нефтегазоносности больших глубин Южно-Каспийской мегавпадины. В сб.: *Проблемы геофизики океанского дна. Тезисы докладов I Всесоюзной конференции по морской геофизике*, II, Москва, 85-86.
- ГУЛИЕВ, И.С., ПАВЛЕНКОВА, Н.И., РАДЖАБОВ, М.М. 1988. Зона регионального разуплотнения в осадочном чехле Южно-Каспийского бассейна. *Литология и полезные ископаемые*, 5, 130-136.

- ФЕЙЗУЛЛАЕВ, А.А., ТАГИЕВ, М.Ф. 2008. Формирование залежей нефти и газа в Продуктивной толще Южно-Каспийского бассейна: новые подходы и результаты. *Азерб.Нефтяное Хозяйство*, 3, 7-18.
- ХАЛИЛОВ, Н.Ю., ИМАНОВ, А.А. 1979. Влияние аномально-высоких пластовых давлений на показатели бурения. *Нефтяное хозяйство*, 10, 9-13.
- ХАЛИЛОВ, Н.Ю., ИМАНОВ, А.А. 1980. Прогнозирование АВПД в процессе разведочного бурения. *Геология нефти и газа*, 5, 41-45.
- ШЫХАЛИЕВ, Ю.А., ГАУЗЕР, Г.Е. 2006. К вопросу прогнозирования зон аномально высоких пластовых давлений по данным сейсморазведки. *Геофизика*, 1, 21-25.
- ЮСУФЗАДЕ, Х.Б., КАСУМОВ, К.А., АЛЕКСАНДРОВ, Б.Л., ДЕРГУНОВ, Э.Н. 1976. Изучение и прогнозирование АВПД по данным промысловой геофизики. *Азерб. Нефтяное Хозяйство*, 5, 1-8
- AUD, B.W., FERTL, W.H. 1976. Evaluating overpressure in the Twilight zone. *Petroleum Engineer*, 5, 122 – 130.
- BOWERS, G.L. 1995. Pore pressure estimation from velocity data: Accounting for overpressure mechanisms besides undercompaction. *SPE Drilling and Completion*, 10 (2), 89-95.
- CARCIONE, J.M., HELLE, H.B. 2002. Rock physics of geopressure and prediction of abnormal pore fluid pressures using seismic data. *CSEG Recorder*, 9, 8-32.



- CHOPRA, S., HUFFMAN, A. 2006. Velocity determination for pore pressure prediction. *CSEG Recorder*, 3, 28-46.
- DICKINSON, G. 1953. Geological aspects of abnormal reservoir pressures in Gulf Coast Louisiana. *AAPG. Bull.*, 37, 410-432.
- DUTTA, N.C. 2002. Geopressure prediction using seismic data: current status and the road ahead. *Geophysics*, 67 (6), 2002-2041.
- DVORKIN, J., MAVKO, G., NUR, A. 1999. Overpressure detection from compressional and shear-wave data. *GRL*, 26, 3417-3420.
- KAN, T.K., KILSDONIK, B., WEST, C.L. 1999. 3-D geopressure analysis in the deepwater Gulf of Mexico. *The Leading Edge*, 18 (4), 502-508.
- LEACH, W.G. 1993. Gulf Coast tertiary-2 fluid migration, HC concentration in South Louisiana tertiary sands. *Oil and gas journal*, 15, 91, (11), 71-74
- SAYERS, C.M., JOHNSON, G.M., DENYER, G. 2002. Predrill pore-pressure prediction using seismic data. *Geophysics*, 67 (4), 1286-1292.
- ZSELLER, P. 1979. Determination of layer pressures, using interval velocities. *Geophysical Transactions*, 31(1-3), 39-51.