

Анализ атрибута «флюид-фактор» при интерпретации данных многоволновой сейсморазведки

Е.М. Голь

аспирант факультета геологии и геофизики нефти и газа
evggol93@mail.ru

Н.С. Авдеев

аспирант факультета геологии и геофизики нефти и газа
avdeev.nick@mail.ru

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия

Успешный результат поисков и разведки углеводородов во многом зависит от правильной оценки коллекторских свойств потенциальных продуктивных отложений. В настоящее время задачей сейсморазведки является не только определение залежей в разрезе, но и прогноз флюидонасыщения с определением типа, а также оценка пористости, песчаности, трещиноватости пород. Для этого необходимы качественные данные о плотности и скорости распространения продольных и поперечных волн. Метод многоволновой (мультикомпонентной) сейсморазведки (МВС) базируется на совместном изучении продольных, поперечных и обменных волн, именно поэтому использование таких комплексных сейсмических данных позволяет повысить эффективность и качество при дальнейшем проведении обработки, интерпретации, AVO- и атрибутного анализа. В данной статье приведен пример анализа AVO-атрибутов с прогнозом флюидонасыщенных областей для индийского месторождения Шакти.

Материалы и методы

Исходными материалами являлись сейсмические данные МВС, данные ГИС, дела скважин, результаты испытаний. По итогам исследования был сделан прогноз потенциальных флюидонасыщенных зон.

Ключевые слова

сейсмический разрез, многоволновая сейсморазведка, продольные волны, обменные волны, AVO-анализ, флюид-фактор.

Сейсмическое волновое поле характеризуется своей изменчивостью, что обусловлено различиями физических параметров интерпретируемых отложений. В связи с этим весьма актуальным является проведение комплексного анализа с целью разделения литологических аномалий и выявления флюидонасыщенных залежей.

В данной статье рассмотрены результаты проведения AVO-анализа по данным многоволновой сейсморазведки на территории индийского месторождения Шакти. AVO-анализ (Amplitude Variation with Offset) — метод изучения изменения амплитуд в зависимости от расстояния между пунктами взрыва и пунктами приема (или от угла отражения). Это, согласно определению Роберта Шерифа, «изменение амплитуды сейсмического отражения с изменением расстояния источник — геофон. Зависит от контраста скорости, плотности и отношения коэффициентов Пуассона. Используется как углеводородный индикатор для газа из-за значительного изменения в отношении коэффициентов Пуассона (что может иметь место, когда поровый флюид является газом), которое вызывает увеличение амплитуды с удалением» [1]. Иными словами, анализ изменения амплитуд отражения в крест удалений может дать значительное понимание точных физических параметров пород на границе.

Сейсморазведка, как и любой другой метод изучения недр, имеет свои граничные условия применения и ограничения по разрешающей способности метода, поэтому развитие и совершенствование технологий сейсморазведки, методология обработки и интерпретации сейсмических данных для повышения эффективности результатов является весьма актуальным. AVO-анализ — одно из перспективных направлений количественной интерпретации данных сейсморазведки, которое может значительно повысить достоверность выделения потенциальных углеводородных залежей.

Основной целью AVO-анализа является получение качественной информации по данным сейсмике, которая характеризует литологический состав пород, пористость и характер флюидонасыщения. Атрибуты AVO (R0 (интерсепт), градиент, флюид-фактор, упругий импеданс) во многих случаях демонстрируют контрастные аномалии (негативные, позитивные) в зонах изменения упругих свойств изучаемого разреза и, соответственно, в зонах изменения соотношения интервальных скоростей продольных и поперечных волн.

В связи с чем комплексное изучение амплитуд, как продольных отраженных волн, так и обменных отраженных волн, не реагирующих на наличие флюида в насыщенных пористых отложениях, в отличие от продольных волн, может обеспечить более высокую решающую способность залежей [2]. Обменными являются волны, которые при распространении по разрезу отложений одну часть

пути проходят как продольные, другую — как поперечные. Такое изменение типа волны (продольной на поперечную) происходит из-за существенного различия физических характеристик горных пород при наклонном падении упругих волн на границу раздела отложений. В результате, сигнал разделяется на проходящую и отраженную волну, а отраженная волна разделяется на продольную и поперечную [3]. Продольные волны распространяются и в твердых, и в жидких средах, тогда как поперечные — только в твердых. Соответственно, во флюидонасыщенных отложениях распространение поперечных волн происходит только по твердому скелету породы. Различия в характеристиках данных типов волн связаны с перепадом скоростей, плотностью и мощностью отложений, а данные параметры, в свою очередь, зависят от литологического состава, физических свойств и флюидонасыщения пород.

Из этого следует, что AVO-анализ позволяет найти связь изменений амплитуд с литологией пластов и их характером насыщения флюидами. Согласно теоретическим данным, AVO-атрибут флюид-фактор (fluid factor (FF)) наиболее информативно отражает наличие или отсутствие углеводородных, в связи с чем для проведения исследования данный атрибут и был выбран основным. Флюид-фактор — один из информативных параметров AVO, позволяющий оценить насыщенность углеводородами путем определения отклонений величины V_p/V_s (отношение скоростей продольных и поперечных волн) от фоновых значений, характерных для водонасыщенных пород.

Зона интересов исследуемой части месторождения — на глубине 3300–4000 м (от 2500 до 3000 м), а именно — отложения серии баррел олигоценевого возраста. Глинисто-углистые отложения этой серии включают в себя шесть наиболее выдержанных песчаных пластов, именуемых Лаква Сэнд (LS) 1–6. Эти песчаные отложения являются одними из наиболее продуктивных на изучаемом месторождении Шакти, а также на соседних месторождениях Лаква и Куаргаон [4]. Пласты-коллекторы песчаников индексируются как LS, то есть основным продуктивным горизонтам присвоены названия LS-1, LS-2, LS-3, LS-5, LS-6 (рис. 1). Общая мощность отложений изменяется от 300 м до 410 м. В статье приведены данные по исследованию нижнего из продуктивных пластов — LS-1.

На рис. 2 представлена карта атрибута флюид-фактор, полученная в интервале анализируемого пласта LS-1. На основе карт данного атрибута, были выделены негативные и позитивные аномалии, символизирующие и подтверждающие насыщение флюидом пластов. Такие аномалии на стандартных разрезах могут возникать в результате накопления трасс, полученных при различных углах падения волн на границы, а также могут отражать литологические изменения

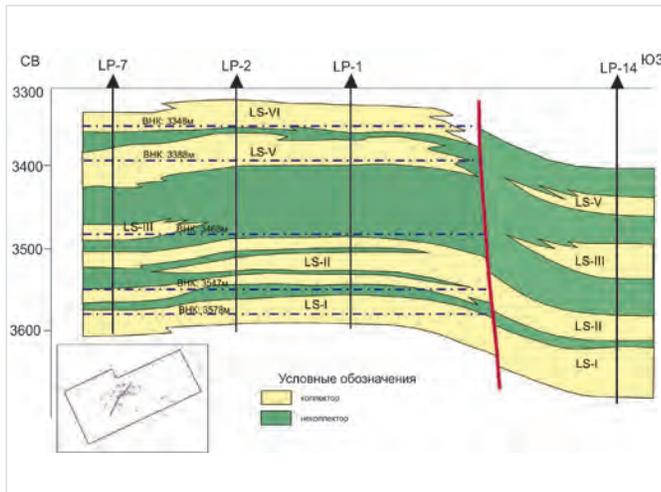


Рис. 1 — Схематический разрез месторождения Шакти (использованы материалы Naidu B.D., Panda B.K. [4])
 Fig. 1 — Schematic section of the Shakti oilfield (based on the materials by Naidu B.D., Panda B.K. [4])

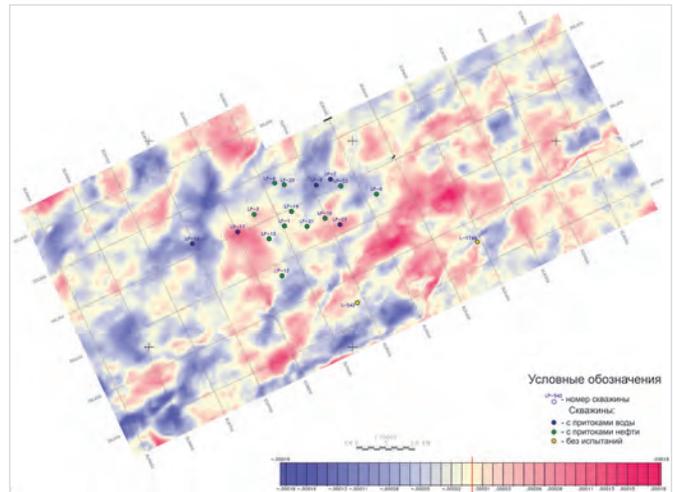


Рис. 2 — Карта атрибута флюид-фактор пласта LS-I
 Fig. 2 — Fluid-factor attribute map of the LS-I layer

в разрезе и являться индикаторами залежи углеводородов.

Карта атрибута флюид-фактор (вычисляется по формуле, связывающей отношение скоростей продольных и обменных волн с обратной величиной этого отношения, полученного из данных широкополосной акустики) показывает возможное флюидонасыщение в зонах повышенной пористости и возможной трещиноватости, как правило, в структурно-возвышенных частях [5]. Данные испытаний скважин являлись корректирующим параметром для оценки геофизического атрибутного анализа флюид-фактор, зон вероятного флюидонасыщения или его отсутствия.

Анализ параметра флюид-фактор для пласта LS-I показывает, что продуктивные скважины попадают в область как отрицательных, так и положительных значений флюид-фактор и находятся в интервале значений от $-18 \cdot 10^{-5}$ до $+18 \cdot 10^{-5}$. Максимальные значения положительного знака флюид-фактор

остаются неизвестной областью, в то время как значения флюид-фактор отрицательного знака характеризуются водонасыщением пласта, подтвержденного скважинами 7, 8 и 16 (рис. 3).

Необходимо отметить, что в зоне нефтенасыщения пласта выделяется ряд локальных участков со значениями флюид-фактор отрицательного знака менее $-8 \cdot 10^{-5}$. Эти участки представляют собой зоны возможного водонасыщения, которые предстоит учесть при планировании новых скважин. Подобные участки прогнозируются на западе и юге площади и в пределах южного приподнятого блока.

Необходимо также отметить, что в сводовой части залежи отмечается ряд участков, которые тестируются по параметру флюид-фактор как водонасыщенные. Данные участки, по-видимому, не связаны с пластами коллекторами основной залежи пласта и потому должны быть исключены из технологической схемы разработки залежи.

На основе карт данного атрибута были выделены негативные и позитивные аномалии, символизирующие и подтверждающие насыщение флюидом пластов. При анализе карт атрибута флюид-фактор и сопоставлении их с данными по испытаниям, а также данными, полученными при проведении анализа петрофизики с выделением коллекторов, были построены карты потенциального флюидонасыщения (рис. 4).

На построенных разрезах атрибута флюид-фактор выделяется значительное количество как позитивных, так и негативных аномалий. Однако при отсутствии данных об испытаниях скважин и данных ГИС, а также о литологическом составе изучаемых пород, выделение AVO-аномалий малоинформативно. В данном исследовании наличие информации о полученных притоках нефти позволяет дать корректное обоснование классифицированным аномалиям флюид-фактор, вызванных залежами углеводородов.

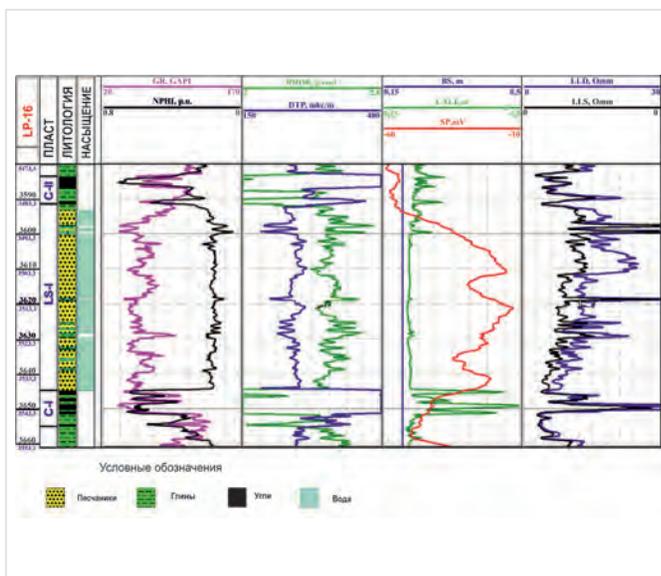


Рис. 3 — ГИС-планшет скв. №16, пласт LS-1
 Fig. 3 — Well-log №16, layer LS-1

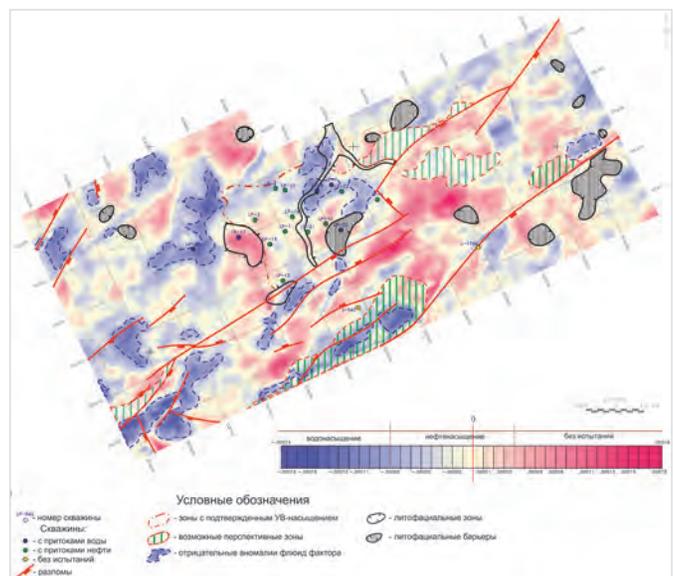


Рис. 4 — Карта потенциального флюидонасыщения для пласта LS-I
 Fig. 4 — Potential fluid saturation map of the LS-I layer

Итоги

Использование AVO-анализа при интерпретации сейсмических материалов, в частности атрибута флюид-фактор, позволило скорректировать и выделить потенциальные продуктивные зоны месторождения «Шакти» с минимальным риском при оценке перспектив флюидонасыщения исследуемых интервалов. При сопоставлении карт AVO-атрибутов с данными по испытаниям, а также петрофизическими данными, были построены карты потенциального флюидонасыщения, что дает качественную основу для рекомендации местоположения скважин к бурению и составления оптимальной схемы их расположения.

Выводы

AVO-анализ основан на различных свойствах сейсмического волнового поля, однако, в отличие от бурения, — это косвенный метод исследования геологического строения

разреза. Выделение флюидонасыщенных зон на основе данной технологии имеет ограниченный уровень достоверности. Поэтому комплексирование с данными ГИС, испытаниями скважин, а также сравнение результатов является важным этапом при интерпретации сейсмических данных. Стоит отметить, что технология AVO-анализа, является перспективным направлением, позволяющим повысить достоверность прогноза выделения залежей углеводородов.

Литература

1. Robert E. Sheriff. Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics, 4th edition. Society of Exploration Geophysicists, 2002, 442 p.
2. Воскресенский Ю.Н. Изучение изменений амплитуд сейсмических отражений для поисков и разведки залежей углеводородов. М: РГУ нефти и газа им. Губкина, 2011. 68 с.

3. Птецов С.Н. Прогнозирование свойств коллекторов между скважинами по сейсмическим данным. М.: МГУ, 2003. 143 с.
4. Naidu B.D, Panda B.K. Regional source rock mapping in upper Assam Shelf, International Petroleum Conference PETROTECH-97. New Delhi, 1997.
5. А.А. Давыдов, Р.Ш. Каракаев, Р.М. Алимов, Л.В. Бабинова. Применение AVO-анализа на примере месторождений Самарской области. IX Международная научно-практическая конференция. Чебоксары, 2016.
6. Феоктистова О.В. Снижение неопределенности при выявлении аномалий, связанных с газонасыщением, по технологии AVO-анализа на территории вилуиской синеклизы // Успехи современного естествознания. 2017. №9. С. 108–114.

ENGLISH

GEOPHYSICS

UDC 550.3

Interpretation of multiwave seismic data with analysis of the fluid factor attribute

Authors:

Yevgenia M. Gol — Ph.D. student of the faculty of geology and geophysics of oil and gas; evggol93@mail.ru

Nickolay S. Avdeev — Ph.D. student of the faculty of geology and geophysics of oil and gas; avdeev.nick@mail.ru

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russian Federation

Abstract

The successful result of hydrocarbon exploration depends on the correct evaluation of the reservoir properties of the potential productive deposits. The main objective of the seismic survey is not only the finding of the perspective reservoirs location, but also the prediction of fluid saturation, the estimation of porosity, net to gross, fracturing of rocks. This task requires a qualitative density, compressional and transversal wave velocity data.

Multiwave (multicomponent) survey (MCS) methodology based on the combining of compressional, transverse and converted waves. That is why seismic data allows increasing efficiency and quality of the seismic processing, interpretation, AVO and attributing analysis. In this paper showed the results of AVO-attribute analysis for the Indian field «Shakti» with prediction of the potential fluid-saturated areas.

Materials and methods

The initial data for the analysis were seismic data (this data were obtained during additional exploration of the area by the MCS methodology) - seismic cubes (inversion cubes, AVO-analysis cubes, attribute analysis cubes), GIS well data, well operations, well test results. As main result, multicomponent seismic survey of the compressional and converted waves with using of AVO-analysis data assisted in understanding of the potential fluid saturation of the deposits.

Results

Seismic interpretation with using of the AVO-analysis materials (including the fluid-factor) allowed identifying potential productive deposits of the "Shakti" field correctly. The perspective fluid saturation maps were made with using AVO-analysis data, well test data and petrophysical data. This is a qualitative

basis for determination of the wells location for drilling.

Conclusions

AVO-analysis based on different properties of the seismic wave field, but it is indirect method of the geological structure research. Determination of the fluid-saturated zones based on this technology has a limited reliability. That is why, integration with GIS, well testing data and comparison of the results is so important in stage of the seismic interpretation. However, AVO analysis is the perspective technology, which help to increase the identification reliability of the hydrocarbon accumulation.

Keywords

multicomponent seismic, MCS, compressional (PP) waves, converted (PS) waves, AVO-analysis, Fluid Factor.

References

1. Robert E. Sheriff. Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics, 4th edition. Society of Exploration Geophysicists, 2002, 442 p.
2. Voskresenskiy Yu.N. Izuchenie izmeneniy amplitud seysmicheskikh otrazheniy dlya poiskov i razvedki zalezhey uglevodorodov [Study of changes seismic reflections for prospecting and exploration of hydrocarbon deposits]. Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2011, 68 p.
3. Pteцов S.N. Prognozirovanie svoystv kollektorov mezhdru skvazhinami po

seysmicheskim dannym [Reservoir properties prediction between wells according to seismic data]. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2003, 143 p.

4. Naidu B.D, Panda B.K. Regional source rock mapping in upper Assam Shelf, International Petroleum Conference PETROTECH-97. New Delhi, 1997.
5. А.А. Давыдов, Р.Ш. Каракаев, Р.М. Алимов, Л.В. Бабинова. Применение AVO-анализа на примере месторождений Самарской области [AVO-analysis on the example of

the Samara region fields]. IX International Scientific and Practical Conference, Cheboksary. 2016.

6. Феоктистова О.В. Snizhenie neopredelennosti pri vyyavlenii anomalii, svyazannykh s gazonasyscheniem, po tekhnologii AVO-analiza na territorii vilyuyskoy sineklizy [Reduction of uncertainty at detection gas saturated anomalies by technology of AVO-analysis on the Vilyui syneclyse territory]. Advances in current natural sciences, 2017, issue 9, 108–114 pp.