

УДК 550.34

А.В. Лобусев<sup>1</sup>, e-mail: lobusev@gmail.com; Е.М. Голь<sup>1</sup>; Н.С. Авдеев<sup>1</sup>, e-mail: avdeev.nick@mail.ru<sup>1</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Москва, Россия).

## Повышение эффективности геологической интерпретации за счет использования данных многоволновой сейсморазведки

На сегодняшний день сейсмическая разведка является ключевым методом полевых геофизических исследований, основанным на изучении геологических объектов с помощью упругих колебаний – сейсмических волн. В отличие от других методов разведочной геофизики, сейсморазведка позволяет решать не только структурные задачи построения моделей геологической среды, но и петрофизические, а именно – прогнозировать фильтрационно-емкостные свойства отложений и отчасти уровень флюидонасыщения порового пространства изучаемых объектов. Методология сейсмической съемки основана на измерении времени пробега различных волн от пункта возбуждения до приемников. По результатам интерпретации полученных данных можно определить глубину залегания, простирание и падение геологических границ, а также скорости волн, что является основой для последующего изучения отложений.

Нацеленность на решение комплексных геологических задач ведет к постоянному развитию и усовершенствованию методологии сейсморазведочных исследований. Одним из видов сейсморазведки, направленных на повышение эффективности работ, является многоволновая (многокомпонентная) съемка, базирующаяся на совместном использовании продольных (P), поперечных (S) и обменных (PS) волн. Применение многокомпонентных измерений позволяет повысить качество построения объемной геологической модели, выделить опорные и продуктивные отражающие горизонты с максимально высокой долей вероятности. Атрибутный анализ, в свою очередь, является важной стадией процесса интерпретации, поскольку позволяет получить информацию из сейсмического поля в межскважинном пространстве, что ведет к повышению надежности геологического прогноза и минимизации рисков при бурении. При этом атрибутный анализ двух сейсмических кубов по разным типам волн дает дополнительное количество качественных атрибутов. В качестве примера рассмотрен результат интерпретации многокомпонентной съемки на доразведываемой площади индийского месторождения Шакти Ассамского нефтегазоносного бассейна (северо-восток Индии).

Ключевые слова: многоволновая сейсморазведка, 3D/3C, обменные волны, атрибутный анализ.

.....

А.В. Лобусев<sup>1</sup>, e-mail: lobusev@gmail.com; Е.М. Голь<sup>1</sup>; Н.С. Авдеев<sup>1</sup>, e-mail: avdeev.nick@mail.ru

<sup>1</sup> Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education “Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)” (Moscow, Russia).

## Geological Interpretation Improvement by Multiwave Seismic Data Usage

Nowadays, the seismic survey is the most effective method of the geophysical exploration, based on study of geological objects with seismic waves usage. The main object of the seismic survey is not only the finding of the perspective reservoirs location, but also, - the fluid-saturation prediction, the estimation of porosity, net to gross, fracturing of the rocks. The seismic survey methodology is based on the measurement of the wave's transit time from the source point to receivers. As result of the seismic survey data interpretation it is possible to determine geological boundaries depth, wave velocity, which is the data basis for the future research. The main seismic survey aim is to solve complex geological objects, that is why the development and improvement of the seismic survey methodology are very important process. The efficiency of this work can be increased by using the multiwave (multicomponent) survey – the special kind of survey, based on the combining of longitudinal (P), transversal (S) and converted (PS) waves.

Attribute analysis is the important stage of the interpretation, because it is allowed to obtain information from seismic field. This information is useful for reliability of the geological interpretation and for the risk minimization during

the well drilling. Attribute analysis of two seismic cubes (longitudinal and converted waves) is provided the additional quality attributes. As example, is shown the multicomponent seismic survey interpretation result of the oil field Shakti, Assam basin (north-east of India).

**Keywords:** multicomponent seismic, 3D/3C, converted waves, attribute analysis.

Актуальность развития комплексирования съемки в варианте совместного использования продольных, поперечных и обменных волн обусловлена рядом трудностей, возникающих при сейсморазведке на монотипных волнах. Безусловно, большинство нефтедобывающих компаний России определяют индивидуальные приоритеты для каждой площади и прописывают в технических заданиях на проведение сейсморазведочных работ методику, которую считают наиболее подходящей. Тем не менее основной тенденцией остается разработка технических заданий по аналогии с работами прошлых лет. Зарубежные компании, имеющие более длительную историю работы и более старый фонд месторождений, столкнулись с необходимостью повышения эффективности сейсморазведки намного раньше.

### ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ МЕТОДА МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Одним из развивающихся направлений сейсморазведки является метод многокомпонентной съемки (3D/3C), базирующийся на совместном использовании продольных, поперечных и обменных волн. При использовании результатов многокомпонентной сейсмосъемки 3D/3C сопоставление изображений одной формации на продольных и обменных волнах позволяет получить больше данных о свойствах геологической среды, чем при использовании только продольных волн. В частности, можно корректно определить коллекторские свойства, оценить флюидонасыщение, выявить изменения литологических типов пород, природу порового пространства [1]. Обработка данных продольных и обменных волн (PP и PS) сложнее об-

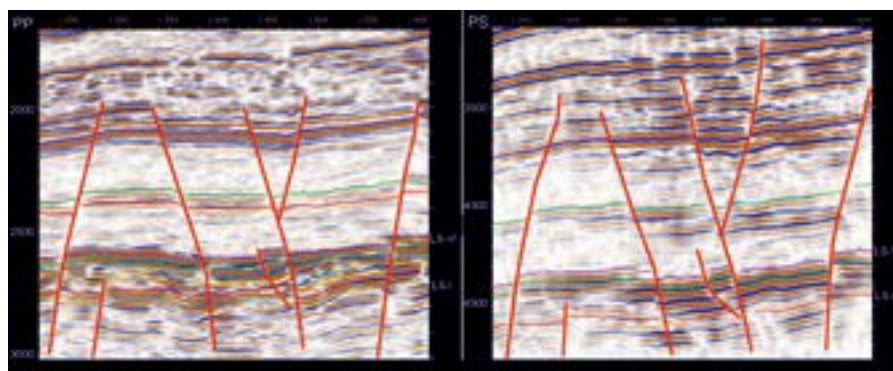


Рис. 1. Пример корреляции по продольным (а) и обменным (б) волнам (месторождение Шакти, Индия)

Fig. 1. The example of P-wave (a) and P-S wave (b) tracking (Shakti field, India)

работки традиционных однокомпонентных данных, так как информация этих двух типов хоть и получена в ходе одной съемки, но имеет ряд существенных различий по амплитудам, скоростям, а также по характеру изменения амплитуды с удалением. Это связано с тем, что перечисленные параметры, в особенности скорость распространения волн, определяются составом, строением и состоянием горных пород, зависящими, в свою очередь, от гранулометрического и минерального состава, глубины залегания, возраста пород, степени метаморфизма, плотности, пористости, трещиноватости, флюидонасыщенности и ряда других факторов.

Отраженные поперечные (обменные) волны могут быть зарегистрированы специальными приемниками с применением обычных сейсмостанций. Проходящая обменная волна распространяется вглубь с постепенным затуханием, а на геологических границах отражается и восходит на поверхность. Поскольку скорость распространения обменных волн ниже скорости распространения

волн продольных, разрешенность их записи будет выше [2]. Стоит отметить, что при производстве работ с регистрацией продольных волн возможны случаи интерференции волн отраженных, поверхностных и преломленных, зарегистрированных в одних и тех же точках поверхности.

Кроме того, одним из преимуществ применения многокомпонентной сейсморазведки является возможность проведения сравнительного анализа характеристик данных, полученных при интерпретации сейсмических кубов по продольным и обменным волнам, так как обменные волны являются вспомогательным типом волн, позволяющим повысить корректность интерпретации (рис. 1). При сравнительном анализе сейсмических разрезов двух кубов отмечается более четкая сейсмическая картина по обменным волнам, что связано с различиями распространения продольных и поперечных волн в разных средах: продольные волны распространяются как в твердых, так и в жидких средах, поперечные – только в твердых.

Ссылка для цитирования (for citation):

Лобусев А.В., Голь Е.М., Авдеев Н.С. Повышение эффективности геологической интерпретации за счет использования данных многоволновой сейсморазведки // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2018. № 12. С. 18–21.

Lobusev A.V., Gol' E.M., Avdeyev N.S. Geological Interpretation Improvement by Multiwave Seismic Data Usage. Territorija "NEFTEGAS" = Oil and Gas Territory, 2018, No. 12, P. 18–21. (In Russian)

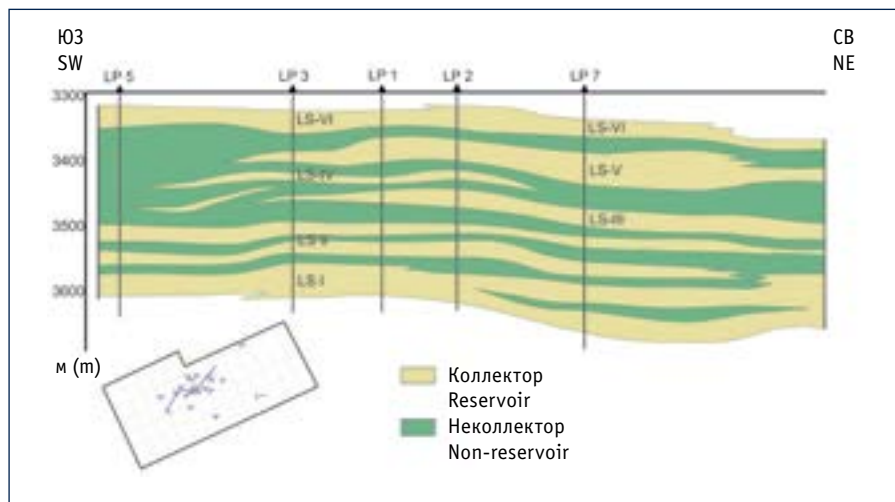


Рис. 2. Схематический разрез месторождения Шакти (Индия)  
Fig. 2. Schematic section of Shakti field (India)

**ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПЕСЧАНЫМ ТЕЛАМ-КОЛЛЕКТОРАМ**

Терригенные отложения, потенциальными коллекторами которых являются песчаные тела, характеризуются сложным переслаивающимся строением, а сами песчаные отложения в ряде случаев обладают сильной литологической неоднородностью. В силу присущей им сложной формы надежное картирование этих тел весьма затруднительно

при редкой сетке скважин, без использования данных сейсморазведки. Вместе с тем возрастает и трудность интерпретации данных сейсморазведки, поскольку изменение литологического состава отложений, а также увеличение количества песчаного материала в глинистых пачках обуславливают слабодифференцируемый характер сейсмического разреза. При достаточно высокой плотности бурения без данных сейсморазведки трудно изучить распространение линзовидных песчаных

отложений и обнаружить разрывные нарушения, которые слабо фиксируются по скважинным данным, но хорошо прослеживаются на временных разрезах. В качестве примера рассмотрим разрез нефтяного месторождения Шакти Ассамского нефтегазоносного бассейна (северо-восток Индии). Данное месторождение многопластовое, имеет типичное для региона осложненное геологическое строение, отложения представлены разрозненной толщей переслаивающихся терригенных пород. Зона интересов исследуемой части месторождения находится на глубине 3300–4000 м и представляет собой олигоценные отложения серии бараил. Отложения этой серии включают в себя шесть наиболее выдержанных песчаных пластов, именуемых Лаква Сэнд (LS) I–VI, переслаивающихся выдержанными угольными и глинистыми отложениями (рис. 2).

При проведении интерпретации данных сейсморазведки в некоторых разрезах выявление характеристик продольных волн не представляется возможным либо является искаженным ввиду осложненного геологического строения. Примером служат угольные отложения, в которых происходит поглощение и замедление распространения про-

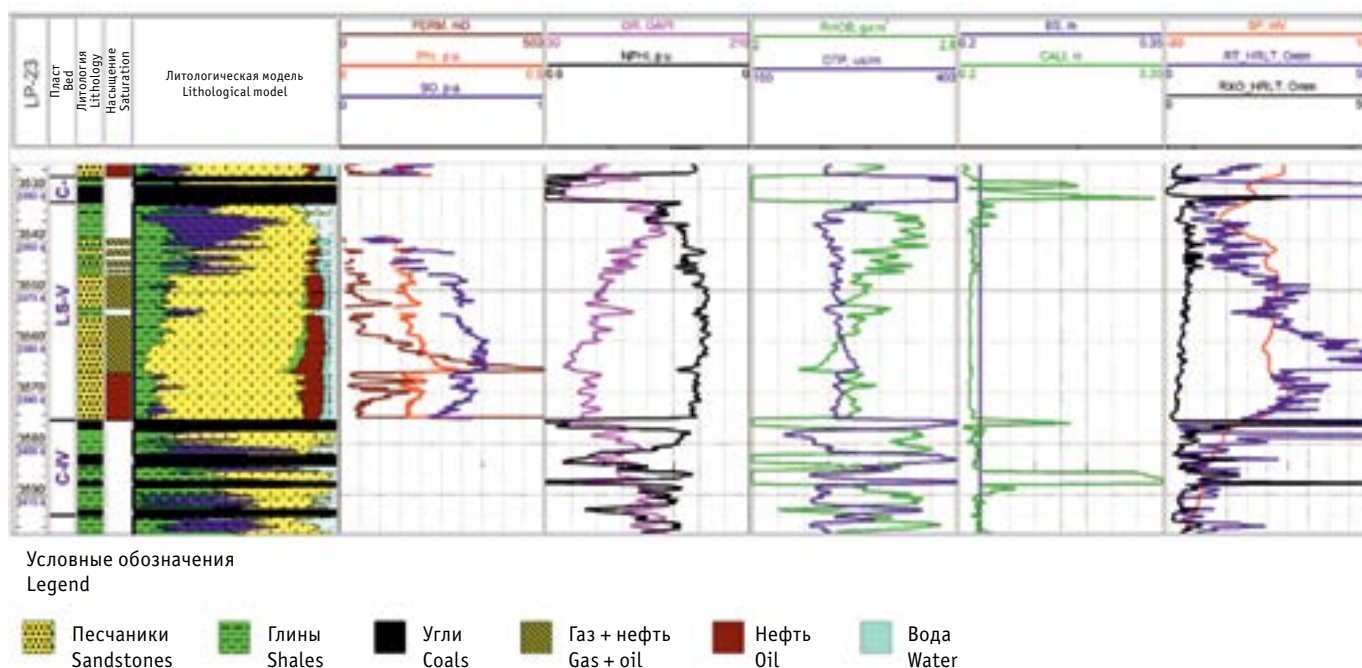


Рис. 3. ГИС-планшет по скв. № 23 (пласт LS-V месторождения Шакти, Индия)  
Fig. 3. The tablet for well survey data in the well No. 23 (LS-V bed of Shakti field, India)

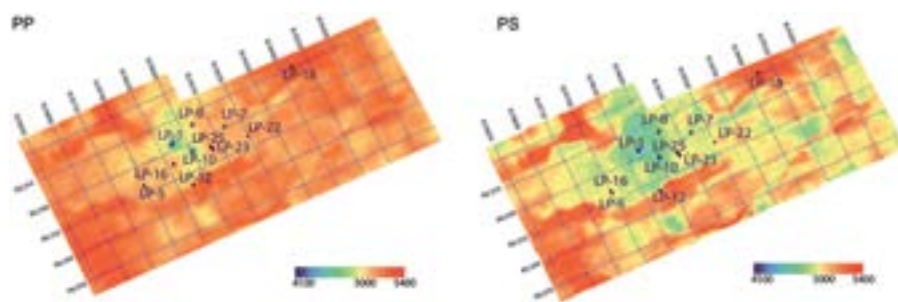


Рис. 4. Пример распределения аномалий на срезах кубов акустического импеданса по продольным (PP) и обменным (PS) волнам (пласт LS-V месторождение Шакти, Индия)

Fig. 4. The example of anomalies distribution on slices of acoustic impedance cubes over compressional (PP) and converted waves (PS) (LS-V bed of Shakti field, India)

дольных волн. Такие явления зачастую могут искажать характеристики перспективных продуктивных горизонтов на сейсмических разрезах, в то время как поперечные волны сохраняют информацию о характеристиках вмещающих пород, и анализ таких волн не приводит к искажению изображений [3]. Пласт LS-V – продуктивный песчаный пласт (рис. 3), залегающий под мощным слоем угольных отложений (нижележащие отложения также содержат угольные прослойки). При анализе скоростных характеристик в интервале данного продуктивного горизонта наблюдается понижение значений скорости продольных и даже поперечных волн, что объясняется влиянием залегающих выше и ниже по разрезу угольных пластов. Проведение сейсмического атрибутного анализа по кубам двух типов волн также демонстрирует эффективность применения этих данных на этапах динамической и кинематической интерпретации. Сейсмический атрибутный анализ используется для выявления продуктивных объектов, прослежива-

ния разрывных нарушений и систем трещиноватости и позволяет в ряде случаев прогнозировать флюидонасыщение. При этом в ходе комплексного расчета атрибутов по продольным и обменным волнам можно выделить более четкие границы резервуаров, обладающих высоким контрастом акустического импеданса PS-волн в сравнении с импедансом продольных волн (рис. 4), что отчетливо наблюдается при сравнении срезов в интервале продуктивного горизонта LS-V.

Данные наиболее информативных атрибутов используются для дальнейшего анализа и проведения исследований по месторождению. При этом в силу различий распространения продольных и поперечных волн сейсмические атрибуты, рассчитанные по кубу обменных волн, являются более информативными, поскольку более контрастно демонстрируют даже слабые литологические изменения и подтверждают скважинные данные.

Для многопластовых месторождений, представленных переслаивающимися

терригенными отложениями, всегда есть проблема максимально корректной интерпретации межскважинного пространства. Чем более качественно и реалистично выполнена интерпретация сейсмических и скважинных данных с учетом различных законов распространения, подкрепленных разными волновыми полями (в приведенном примере это обменные волны), тем более достоверной будет геологическая модель.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование данных многокомпонентной сейсморазведки весьма информативно при работе с такими геологическими разрезами, как, например, тонкослоистые отложения, клиноформы, отложения, осложненные соляными куполами и т. д. Это обусловлено тем, что обменные волны являются вспомогательным типом волн, позволяющим повысить качество интерпретации данных и корректно определить характеристики среды.

Опыт практического применения данной технологии демонстрирует ее эффективность в реальных условиях. Использование данных многокомпонентной съемки при построении объемной геологической модели месторождения позволяет уточнить параметры продуктивных резервуаров, повысить эффективность разведки и разработки залежей углеводородов. Основным результатом проведения многокомпонентной съемки является возможность максимально корректного и точного построения детальной модели залежи/месторождения с прогнозом флюидонасыщения.

## Литература:

1. Борисов А.С. Многоволновая сейсморазведка (МВС): учебно-методическое пособие. Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2012. 31 с.
2. Ампилов Ю.А. От сейсмической интерпретации к моделированию и оценке месторождений нефти и газа. М.: ООО «Издательство «Спектр», 2008. 384 с.
3. Мараев И.А. Комплексная интерпретация результатов геофизических исследований скважин: учебное пособие. М.: МГРИ – РГГУ, 2013. 99 с.

## References:

1. Borisov A.S. Multicomponent Seismic (MCS). Teaching-methodical manual. Kazan, Kazan Federal University, 2012, 31 p. (In Russian)
2. Ampilov Yu.A. From the Seismic Interpretation to the Modeling of the Oil and Gas Fields. Moscow, Publishing House "Spektr", 2008, 384 p. (In Russian)
3. Marayev I.A. Complex Interpretation of the Well Investigations Results. Moscow, Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze, 2013, 99 p. (In Russian)