

**О1 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И
ОБНАРУЖЕНИЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ МЕТОДОМ
ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ СЕЙСМИКИ**

В.Л. Трофимов*, Ф.Ф. Хазиев*, С.А. Школьник**

(* ООО «ВРС Гео Технология», ** ЗАО «Нобель Ойл», г. Москва)

**PREDICTING GEOLOGIC INDICATORS AND DETECTING OIL AND
GAS DEPOSITS BY HIGH-RESOLUTION SEISMIC METHOD**

V.L. Trofimov*, F.F. Khaziev*, S.A. Shcolnik**

(* HRS Geo Technology Ltd., ** Close Company Nobel Oil, Moscow)

Аннотация. Изучение детальной внутренней структуры нефтеперспективных объектов осуществляется на основе численного решения обратной динамической задачи сейсмики, реализованной в разработанной технологии ВРС-Гео. Обосновывается необходимость расщепления заключенной в интерференционной записи сейсмических колебаний разнотипной информации – информации об источнике и о реальной среде. Использование специального графа обработки сейсмических данных обеспечивает сохранение динамики сейсмической записи. Акустическая модель реальной среды восстанавливается с шагом квантования сейсмической записи по времени в виде 2D-разрезов или 3D-кубов эффективных коэффициентов отражения (ЭКО) и эффективных акустических жесткостей (АЖ). Приводятся примеры выявления нефтеперспективных объектов со сложным геологическим строением, так или иначе связанным со значительной литофациальной изменчивостью.

Abstract. Thin internal structure of oil prospective targets study use numerical solution of the seismic inverse dynamic problem which is implemented by developed HRS-GEO technology. The necessity of splitting the different type information contained in the interference seismic oscillations is justified. This are seismic source and real geological medium information. Using special seismic data processing graph ensures undistorted dynamics of the seismic records. Acoustic model of the real medium is restored to the seismic record quantization interval in form of 2D-sections or 3D-cubes of effective reflection coefficients (ERC) and effective acoustic impedance (EAI). The examples detecting oil prospective targets with complex geological structure related lithofacies variability are presented.

1. Поиски и разведка месторождений нефти и газа с каждым годом усложняются вследствие того, что, с одной стороны, потенциальные нефтеперспективные объекты, которые представляют интерес для исследований, оказываются всё меньших размеров (более крупные и средние нефтегазовые залежи при этом либо выявлены, либо уже эксплуатируются). С другой стороны, работы по поискам и разведке относительно мелких нефтеперспективных

объектов с использованием геофизических методов (в первую очередь сейсмических методов исследований) должны обеспечивать исключительно высокую эффективность исследований. Прежде всего, при таких исследованиях должна быть обеспечена максимально возможная разрешающая способность сейсмических данных, позволяющая восстанавливать акустическую модель геологического разреза, сопоставимую с результатами бурения и ГИС. Также должна быть обеспечена возможность извлечения из сейсмических данных максимально возможного количества геологической информации об изучаемом разрезе, т.е. возможность прогнозирования литологического состава, коллекторских свойств, характера и степени флюидонасыщения пород-коллекторов. Указанные подходы к таким исследованиям (в том числе включающим процессы “специальной” обработки и детальной комплексной интерпретации сейсмических данных) имеют непосредственное отношение к вопросам сокращения объемов непродуктивного бурения поисковых и разведочных скважин на конкретно изучаемых объектах, увеличения активной доли в структуре запасов и стабилизации добычи углеводородного сырья. Очевидно также, что от решения этих вопросов во многом зависит и экономическая эффективность проводимых исследований в целом.

2. Известно, что традиционные подходы к обработке и интерпретации сейсмических данных обеспечивают с той или иной степенью вероятности объективный прогноз в основном ловушек структурного типа. В более сложных ситуациях стратегия поиска ловушек имеет существенные или принципиальные ограничения, в связи с чем прогнозирование неструктурных объектов в рамках известных пакетов программ и технологий остается до конца не решенной проблемой. Кроме того на сегодняшний день имеется не много способов сейсмических исследований, которые были бы хорошо физически обоснованы с точки зрения корректного решения задачи прогноза наиболее важных для поисков и промышленной разведки геолого-геофизических параметров, таких как литологический состав, коллекторские свойства и нефтегазоводонасыщенность отложений реальной тонкослоистой среды. Менее всего традиционные способы сейсмических исследований (прежде всего обработка и геологическая интерпретация сейсмических данных) отвечают критериям: *сохранения динамики сейсмической записи; разделения сейсмической информации об источнике и о реальной среде; разрешенности в рамках предельных модификаций сейсморазведки; адекватности масштабов измерений данных сейсмике и ГИС; физической обусловленности используемых геолого-геофизических параметров.*

3. Довольно сложные проблемы нефтегазовой геологии (прежде всего задачи прогноза наиболее важных геологических показателей) с использованием традиционных методов волновой сейсморазведки, как известно, либо не решаются совсем, либо решаются с большой степенью неопределенности. С одной стороны, без учета вклада элементарных границ и толщ в интерференционное волновое поле, а также в различные динамические параметры отраженных волн (изучаемых

только на основе элементов структуры волнового поля) весьма сложно (скорее всего, невозможно) интерпретировать акустические неоднородности разреза. Особенно невозможно определить место отображения конкретных целевых интервалов на временном разрезе (в которых сосредоточена максимально возможная информация (вклад) от целевых объектов), так или иначе связанных с продуктивными или потенциально продуктивными интервалами геологического разреза. С другой стороны, задача расшифровки и исключения явления всеобъемлющей интерференции сейсмических волн при применении традиционного “стандартного” графа обработки сейсмических данных практически не решается.

4. Идеальным способом учета (исключения) эффекта интерференции волн сейсмических волн и построения тонкослоистых моделей реальной среды является численное решение обратной динамической задачи сеймики, позволяющее разделить информацию, содержащуюся в сейсмической записи на две: информацию об источнике возбуждения упругих колебаний и информацию о реальной геологической среде. Разработанная технология ВРС-Гео и специальный граф обработки материалов сейсмических наблюдений, как представляется, является принципиально новым инструментом для получения весьма важной для поисков и промышленной разведки совокупности геолого-геофизических показателей. На такой основе достаточно эффективно решаются и проблемные вопросы, связанные с наличием ловушек, литологического замещения и выклинивания пластов-коллекторов, покрышек-флюидоупоров и определения прогнозных ресурсов изучаемого геологического вещества (в первую очередь нефтегазонасыщенности). Ключевым моментом технологии ВРС-Гео является решение обратной динамической задачи сеймики методом оптимизации. Для решения обратной динамической задачи сеймики авторы разработали численные алгоритмы построения детальных двумерных и трехмерных сейсмогеологических моделей на основе формирования временной последовательности эффективных коэффициентов отражения и эффективных акустических жесткостей, отличающихся высоким вертикальным и горизонтальным разрешением элементов строения реальных тонкослоистых сред. Для поиска решения задачи разработана система целевых функционалов, посредством которой поэтапно, итеративно и компактно достигается детальность (разрешенность) разреза от исходной до потенциально возможной для заданной выборки наблюдений. Устойчивость и единственность модели на минимизирующих итерациях графа контролируется и сохраняется через динамически настраиваемые регуляризирующие параметры. Эта технология обеспечивает в конечном итоге адекватность изучаемых тонкослоистых моделей среды реальным физическим процессам формирования сейсмического волнового поля. Каждая из восстановленных трасс, являющаяся аналогом эффективного сейсмоакустического каротажа, при этом представляет собой некоторый эквивалент акустического каротажа разреза глубокой скважины, в которой

"проведен" подобный каротаж с шагом дискретизации сейсмической записи по времени. При этом практическая вертикальная разрешенность изучения разреза для терригенных разрезов составляет 3-4,5 м, для карбонатных – 5,5-6,5 м (при шаге квантования сейсмической записи по времени, равном $\Delta t=2$ мс, и скоростях распространения упругих волн, равных соответственно 3000-4500 м/с в терригенном и 5500-6500 м/с в карбонатном разрезах).

5. Целью обработки сейсмических данных по “специальному” графу является получение сейсмозаписей, пригодных для численного решения обратной динамической задачи сеймики (“процедуры сейсмической инверсии”) и на этой основе дальнейшей детальной геологической интерпретации результатов обработки. Первой отличительной особенностью применяемой разработанной технологической схемы обработки от известных стандартных схем является исключение из процесса начального этапа обработки процедур искажающих динамику сейсмической записи, делающих ее не восстанавливаемой по отношению к тонкослоистым акустическим неоднородностям реальной среды. Второй отличительной особенностью технологической схемы обработки является включение в ее состав “процедуры сейсмической инверсии” для восстановления модели тонкослоистой реальной геологической среды. Такая процедура повсеместно используется как для обработки исходных сейсмограмм, так и окончательных мигрированных разрезов и кубов сейсмических записей. Специальный граф обработки, примененный на предварительном этапе обработки сейсмических данных, направлен, в первую очередь, на сохранение в максимальной степени динамики сейсмической записи и соответствующих “слабых” сейсмических сигналов, отвечающих за опознавательную информацию о наиболее важных геологических показателях изучаемой реальной среды.

6. Результаты прогноза представляются в виде 2D-разрезов 3D-кубов эффективных коэффициентов отражения (ЭКО) и эффективных акустических жесткостей (АЖ) и соответствующих сейсмогеологических моделей, построенных на их основе, а также разрезов: глинистости; пористости; распределения углеводородов; распределения пластовой воды; средних значений литологических компонент, емкостных свойств, характера и степени насыщения пород-коллекторов флюидами между заданными отражающими границами; прогнозных разрезов для заданных вертикальных сечений в виде литологических колонок и распределений типа флюида; соответствующих прогнозных карт компонент геологического вещества.

Пример восстановления из сейсмических записей модели тонкослоистой среды как результат реализации специального графа обработки сейсмических данных и процедуры решения обратной динамической задачи сеймики приведен

на разрезе эффективных акустических жесткостей (АЖ) (рис. 1). Разрез АЖ сформирован из предварительно построенных 3D-кубов эффективных акустических жесткостей (АЖ) и эффективных коэффициентов отражения (ЭКО), которые получены по одному из лицензионных участков Западной Сибири. На этом разрезе (рис. 1), “свободном” от влияния источника возбуждения упругих колебаний – сейсмического волнового процесса, изображены соотношения различных пластов тонкослоистого разреза, обладающих повышенными и пониженными значениями АЖ. С точностью шага квантования сейсмической записи по времени, равного $\Delta t = 1$ мс, здесь фиксируется геометрия слоистости практически по всем пластам и пропласткам изучаемого разреза. В процессе интерпретации разреза акустических жесткостей были откоррелированы отражающие границы, соответствующие кровлям и подошвам основных горизонтов продуктивных и перспективных пластов изучаемых нижнемелового и юрского комплексов отложений. При этом использовались данные о геологических разбивках и соответствующие данные о значениях пластовых скоростей. Одна из особенностей тонкослоистой модели среды состоит в том, что на разрезе АЖ в отложениях пласта Ю₂² вдоль разреза происходит литологическое замещение песчаного разреза глинами (на разрезе повышенная глинизация разреза – это пониженные значения АЖ - на рис. 1 эта часть разреза показана в виде синей и темно-синей политры). На участке расположения скважины 181 вскрыт существенно глинизированный пласт Ю₂² (что подтверждается пониженными значениями $\alpha_{ПС}$ на кривой самопроизвольной поляризации ПС). Здесь довольно четко прослеживается фаціальное замещение осадков – косая слоистость отложений пласта Ю₂², связанная, в частности, с переходом сформированного сегмента песчаной фации – сложно построенного песчаного тела меандрирующей палеореки к фации пойменных отложений, представленных в основном глинами, местами обогащенных песчаным материалом.

При благоприятных сейсмогеологических условиях и выдержанной разработанной технологической схеме обработки и интерпретации сейсмических данных высокого разрешения осуществляется количественная оценка состава и свойств пористых фаций, обнаружение ловушек углеводородов с элементами водо-нефтяного контакта (ВНК) на построенных разрезах геолого-геофизических показателей, как это показано на одном из разрезов ЭКО (рис. 2) и на фрагментах структурных карт по продуктивным горизонтам Ю₂² и Ю₃ (рис. 3). Представляется целесообразным для вскрытия выявленных объектов в нефтенасыщенных контурах пластов Ю₂² и Ю₃ (расположенных в непосредственной близости от скважины 185), используя ствол указанной скважины, выполнить его отклонение в двух направлениях от ее устья: юго-западном и северо-западном с азимутами линий отклонения $\approx 211,9^\circ$ и $344,3^\circ$, соответственно (рис. 3).

7. Разработанная на новых концепциях, идеологии обработки и комплексной интерпретации данных сейсморазведки и ГИС уникальная российская технология прошла широкую апробацию в различных регионах страны и за рубежом и

продемонстрировала высокую эффективность при решении весьма сложных и тонких задач обнаружения нефтегазовых залежей по сейсмическим данным.

Авторами накоплен большой опыт по прогнозу и количественной оценке состава и свойств пористых фаций и обнаружению на этой основе ловушек углеводородов в различных нефтегазоносных регионах. Детальное внутреннее строение продуктивных и потенциально продуктивных отложений различного возраста изучалось в Волго-Уральской провинции (Республика Татарстан, Оренбургская и Самарская области), Западной Сибири (на более чем 15 площадях и лицензионных участках Среднего и Широтного Приобья, Красноленинского свода, Шаимского района, восточной, центральной и южной частей ХМАО), Восточной Сибири, Южно-Дагестанского шельфа Каспия, Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, Пограничного кайнозойского бассейна Сахалина.

Ранее технология ВРС-Гео прошла широкое опробование в сложных сейсмогеологических условиях Припятского прогиба, Западных Шетландов и Сьерра-Леоне – в условиях глубоководного шельфа Атлантики, государств Саудовской Аравии, Болгарии и Кубы. Значительный объем работ авторами также выполнен и в настоящее время проводится на различных лицензионных участках государства Мьянмы (Бирмы).