

НОВЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ СЕЙСМО-ВОЛНОВОГО ПОЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО АПРОБАЦИИ В ЮЖНО-КАСПИЙСКОМ БАССЕЙНЕ

Ю.А.Шыхалиев¹, А.А.Фейзуллаев²

1 – *Управление геофизики и геологии ГНКАР
AZ 1033, Баку, ул. Гейдара Алиева, 83А*

2 – *Институт геологии НАН Азербайджана
AZ 1143, Баку, просп. Г. Джавида, 29А*

В статье детально рассматриваются методики выявления по сейсмическим данным петрофизических параметров (пористости, проницаемости, песчаности/глинистости) пород-резервуаров, прогнозирования аномально-высоких поровых давлений и нефтегазоносности отложений, а также результаты их апробации на примере хорошо изученных нефтегазоносных структур в Южно-Каспийской впадине. Показана их высокая эффективность и возможность применения при изучении перспективных структур в ее глубоководной части. Приведены первые результаты изучения таких перспективных структур, как Ялама-Самур, Абшерон, Умид и Зафар-Машал с использованием разработанных методик.

ВВЕДЕНИЕ

Установлено, что только примерно треть структур, выявленных геофизическими методами и проверенных поисково-разведочным бурением, оказываются промышленно нефтегазоносными. Поэтому важное значение приобретает разработка прямых методов прогнозирования свойств геологической среды и нефтегазоносности выявленных структур до вскрытия их скважинами.

Основанием для возможности и осуществления прямых поисков является то, что физические свойства нефтегазонасыщенных, а также подстилающих и перекрывающих их пород различаются между собой и отличаются от свойств пород аналогичных структурно-литологических этажей тех районов, где нефти и газа нет. Прямой метод диагностики свойств геологической среды и прогнозирования нефтегазоносности структур более сложная задача, требующая привлечения высокоточной сейсморазведки и других геолого-геофизических данных.

Сейсморазведка как ведущий метод геофизики уже длительное время применяется для решения различных геологических задач при глубинных и структурных исследованиях, изучении геологической среды, поисках и разведке нефти, газа.

Однако выполненные в последние годы экспериментальные исследования, а также интенсивное совершенствование технологии обработки и интерпретации данных сейсмической разведки служат хорошей основой для разработки метода прямого прогноза петрофизических свойств пород и их нефтегазоносности.

В связи с этим целью данной статьи является ознакомление с разработанными в НИИГеофизика ГНКАР методиками прямого прогноза геологической среды и нефтегазоносности по сейсмическим данным и результатами их апробации на примере хорошо изученных нефтегазоносных структур в Южно-Каспийской впадине и первым опытом их применения на перспективных структурах.

МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АПРОБАЦИЯ

Повышение эффективности и результативности поисково-разведочных работ неизбежно ужесточает требования к качеству геологической интерпретации геофизических данных, прежде всего данных сейсморазведки и геофизических исследований скважин (ГИС).

В настоящее время выводы об условиях формирования свойств осадочных пород разведываемого осадочного бассейна делаются не только на основе изучения кернового мате-

риала, но и по результатам геофизических исследований скважин, сейсморазведки и других геофизических методов (Шыхалиев, 2005; Шыхалиев, Гаузер, 2006; Михальцев и др., 1990; Птецов, 1989; Raroport et al., 2004; Мушин и др., 2001; Mavko et al., 2005; Hilterman, 2003; Bloml, 2009). Комплекс ГИС позволяет определить литологический состав вскрытых скважиной пород, выполнить детальное геологическое расчленение разреза и осуществить корреляцию отдельных его подразделений. По сейсмическим данным можно восстановить историю осадконакопления, его скорость, реконструировать палеорельеф и палеоструктуру, изучить литолого-формационную характеристику отложений различных интервалов геологического разреза (в зависимости от разрешающей способности сейсмической записи), прогнозировать продуктивность и т.д. до бурения скважин или на технически еще не доступных бурением глубинах (Shykhaliyev et al., 1994, Шыхалиев 2005; Мушин и др., 2001; Walls and Dvorkin, 2004).

Следует отметить, что использование сейсморазведочных материалов для изучения

литологии и фильтрационно-емкостных свойств продуктивных отложений основано на скрытой потенциальной возможности сейсмических данных, содержащих в суммарном волновом поле информацию об изменении параметров среды на уровне тонкослоистой текстуры пород.

Поскольку современная обработка сейсмической информации проводится с сохранением истинных амплитуд, то динамика сейсмической записи стала сегодня важнейшим диагностическим параметром при интерпретации поля отраженных волн.

В свете вышесказанного в НИИ Геофизики Государственной нефтяной компании Азербайджана (ГНКАР) разработаны методика, технология и пакет программ «REZAYR» (авт. Ю.А. Шыхалиев, Г.Е. Гаузер, Н.Ю. Гаузер), предназначенные для комплексного решения геофизических и геологических задач с использованием скважинных и сейсмических данных.

На рис.1 приводится функциональная схема пакета программ «REZAYR», которая в соответствии с решаемыми геологическими задачами имеет двухуровневую структуру.

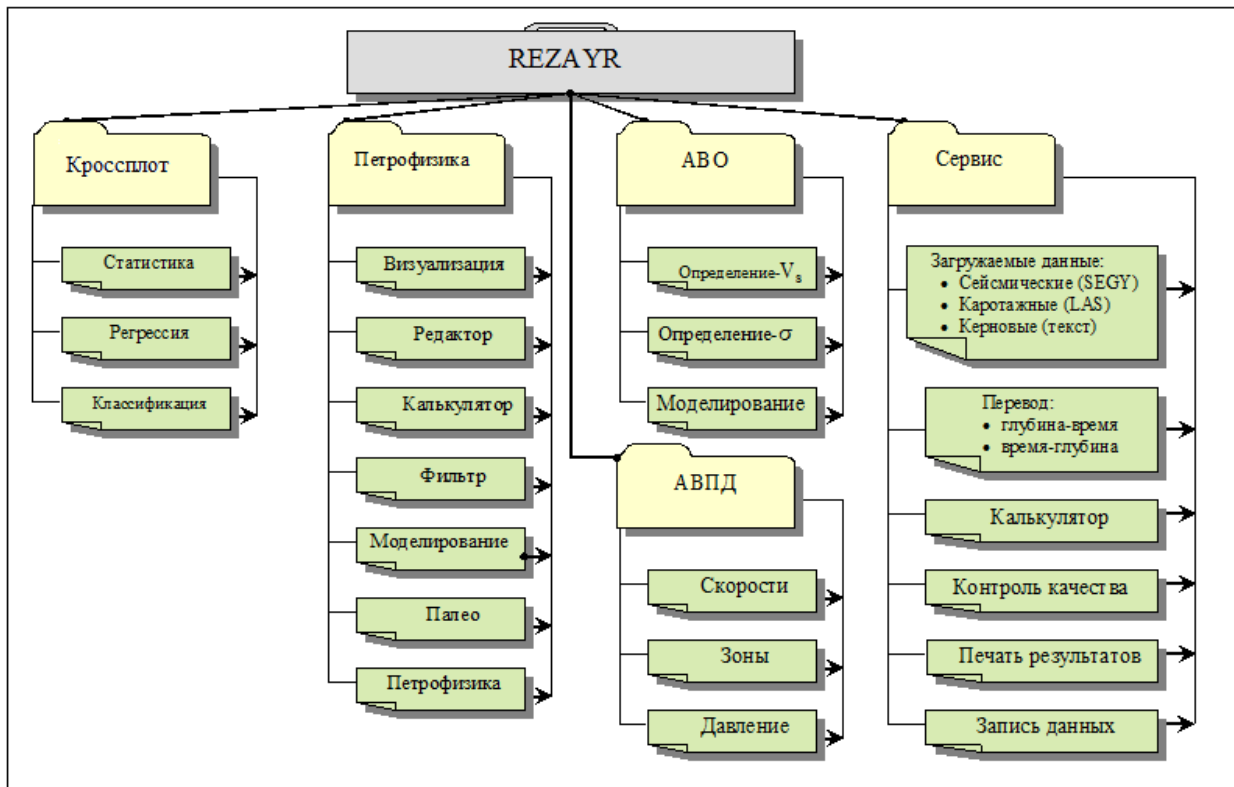


Рис. 1. Функциональная блок-схема обработки и интерпретации геофизических данных

Первый уровень определяется решаемыми задачами и представлен следующими программами: Сервис, Кросс плот, Петрофизика, AVO, АВПД. Второй уровень состоит из процедур, непосредственно реализующих вычислительный процесс программ первого уровня, которые в свою очередь участвуют в обмене информацией как между процедурами, так и между программами.

Рассмотрим вкратце решаемые задачи программами первого уровня с соответствующими процедурами.

«Сервис» – библиотека процедур, которая позволяют:

- загрузить в пакет сейсмическую информацию в формате SEG-Y;
- загрузить каротажные кривые в формате LAS;
- загрузить керновые данные в формате текстовых таблиц;
- перевести информацию из масштаба глубин в масштаб времени и наоборот;
- с помощью калькулятора выполнить математические действия с массивом данных;
- осуществить контроль качества исходной сейсмической информации;
- распечатать выходные результаты;
- записать в память результаты обработки в различных стандартных форматах.

«Кросс плот»-программа сейсмического анализа информации, обеспечивающая:

- регрессионный анализ;
- вывод 3D – кросс плота;
- расчет статистических характеристик;
- классификация заданных массивов в режиме 2D и 3D.

«Петрофизика» – комплексная, многоцелевая программа петрофизического прогноза с элементами геологического моделирования, решающая задачи:

- визуализации получаемых результатов в различной форме представления;
- осуществления с помощью графического редактора обработки, редактирования и компоновки данных, подготовки информации для геологического моделирования;
- проведения вычислительных действий с массивами данных, тем самым реализовывая нестандартные методики интерпретации с возможностью использования в качестве

одного из аргументов фактор времени;

- с использованием библиотеки различных фильтров, работающих с рекурсией и без нее, изменения частотного состава сейсмических данных, разрешающей способности данных ГИС, расчета синтетических разрезов и трасс; улучшения отношения сигнал/шум и т.д.;
 - построения простых геологических моделей, на основе которых рассчитываются синтетические временные разрезы, дающие возможность оценить эффективность работы программы;
 - палеорекострукции, которая дает возможность воссоздать сейсмический разрез для любого отрезка геологического времени, с повышением его информативности; увеличить надежность нахождения геологических и стратиграфических границ, улучшить их прослеживаемость, выявить нарушения различного характера;
 - определения петрофизических характеристик пород по скважинным данным, привязки их к сейсмическому разрезу, анализа межскважинного пространства, расчета петрофизических параметров, прогноза наличия УВ;
 - с использованием спектрально-временного анализа, детального анализа текстуры пород, уточнения сейсмических границ.
- «АВПД»-программа решает задачи поиска зон аномально-высоких давлений, рассчитывает значения поровых давлений и прогнозирует распределение градиентов давлений по разрезу. Для решения этих задач используются процедуры:
- «Скорости» – сейсмический разрез трансформируется в разрез значений пластовых скоростей и рассчитываются значения скоростей вмещающих глин;
 - «Зоны» – анализирует разрез значений скоростей глин, определяет область для расчета линии нормального уплотнения и аномальные зоны градиентов давлений;
 - «Давление» – рассчитывает значения поровых давлений по профилю.

«AVO»-программа использует угловые разрезы с целью выделения в разрезе перспективных зон на наличие УВ и определяет петрофизические характеристики на основе

работы процедур:

- V_s — рассчитывает значения поперечных скоростей;
- σ — рассчитывает значения коэффициента Пуассона;
- Моделирование — строит литологические модели для уточнения распределения УВ по разрезу.

Как видно из перечня решаемых задач, пакет использует разнообразные как по форме, так и по содержанию исходные данные, и это обстоятельство накладывает определенные требования к организации вычислительного процесса в плане обеспечения надежности, устойчивости, точности, гибкости и удобства контроля над получаемыми результатами.

Особенностью предлагаемой методики является то, что данные ГИС и сейсморазведки обрабатываются не порознь, а в едином интерпретационном цикле с использованием на разных его этапах обратных связей. Обработка осуществляется посредством реализации отдельных, достаточно коротких графов, составленных из процедур, некоторые из которых реализуют собственные алгоритмы, а некоторые являются стандартными процедурами обработки данных ГИС и сейсморазведки. Такой подход позволяет получить качественно новые результаты интерпретации и значительно повысить геологическую информативность решения задач.

При этом эффективность обработки и надежность результатов обусловлены как используемым комплексом, так и тем, что формируемые графы позволяют методом последовательного приближения в интерактивном режиме достичь оптимального результата, удовлетворяющего как комплекс ГИС, так и сейсморазведку.

Методика прогноза литофациальной характеристики осадочного разреза

Комплексное рассмотрение данных сейсморазведки и каротажа диктует необходимость интерпретации разреза без пропусков независимо от литологической принадлежности выделяемых пластов. Бытует мнение, что расчленение каротажных кривых должно осуществляться с учетом разрешающей способности сейсмической записи. Это не совсем так. На кривых ГИС должны быть выделены

все пласты независимо от их мощности, т.е. среда должна быть представлена наиболее полно с точки зрения имеющихся неоднородностей. Это принципиально важно на этапе построения синтетических трасс и сопоставления их с реальными трассами, так как по совпадающим элементам синтетической и реальной сейсмотрасс определяются скорости, с помощью которых осуществляется перевод каротажных кривых из масштаба глубин в масштаб времени, обеспечивающий точную привязку данных ГИС к временному разрезу в районе выбранного пикета профиля. На основании этого строится геоакустическая модель геологической среды (рис.2).

По своей сути данные ГИС и сейсморазведки не сопоставимы по всем параметрам (мощность, глубина, время и т.д.). Однако применяя приемы структурно-формационного анализа (СФА) (Мушин и др., 1990), с помощью достаточно простых процедур данные ГИС приводятся к виду, сопоставимому с трассами сейсмического разреза, и, наоборот, трассы сейсмического разреза трансформируются к виду каротажных кривых (рис.3.). Этот итерационный процесс преобразования позволяет трансформировать сейсмические динамические разрезы в разрезы петрофизических параметров.

Следует отметить, что применяемая методика совместной обработки комплекса данных ГИС и сейсморазведки базируется на реализации математических методов анализа и интерпретации имеющейся информации, осуществляющихся в интерактивном режиме и позволяющих прогнозировать, уточнять или определять такие важные геолого-геофизические характеристики разреза, как:

- границы стратиграфических объектов;
- значения средних и пластовых скоростей по каждой трассе и по профилю;
- значения эффективной пористости по профилю;
- значения объемной глинистости в каждой точке профиля;
- значения средней величины диаметра зерен по разрезу и границы литофаций;
- границы цикличности осадконакопления;
- изменения литофациальных характеристик отложений;

а также строить эффективные геологические модели разреза и оценивать петрофизические характеристики отложений.

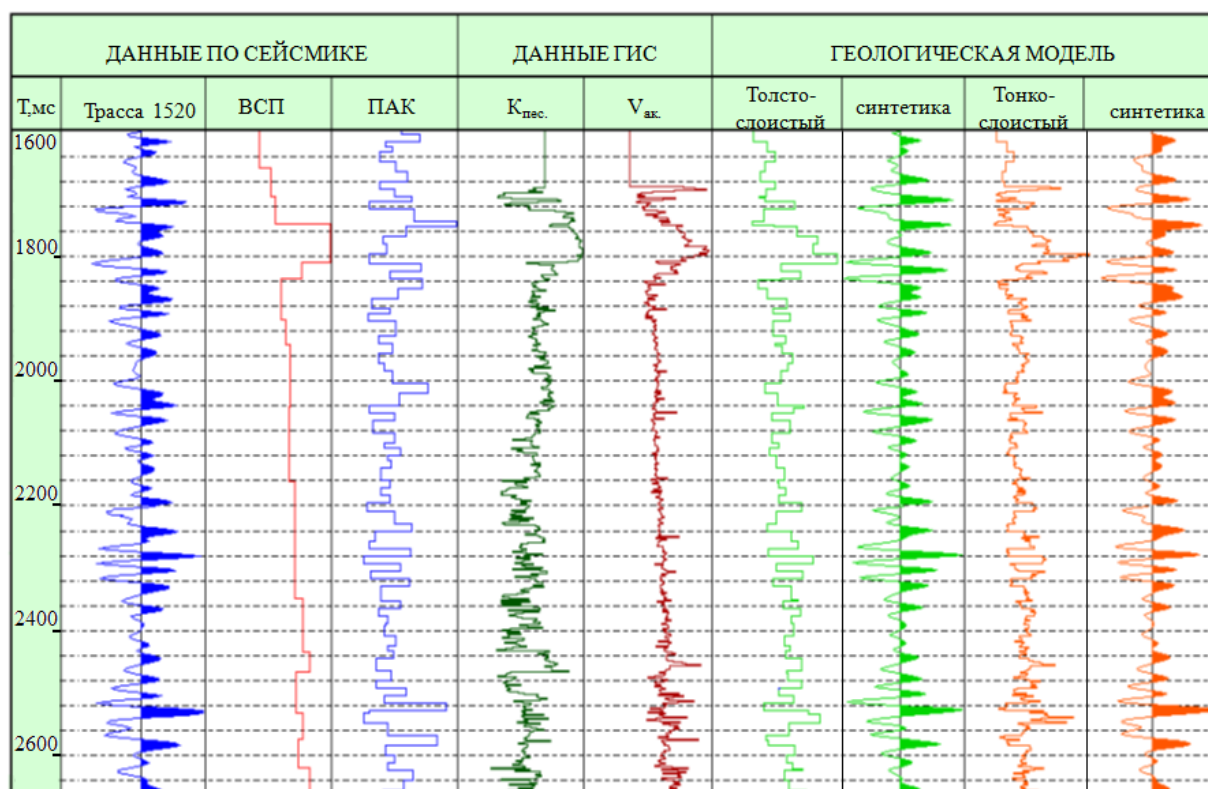


Рис. 2. Геоакустическая модель геологической среды

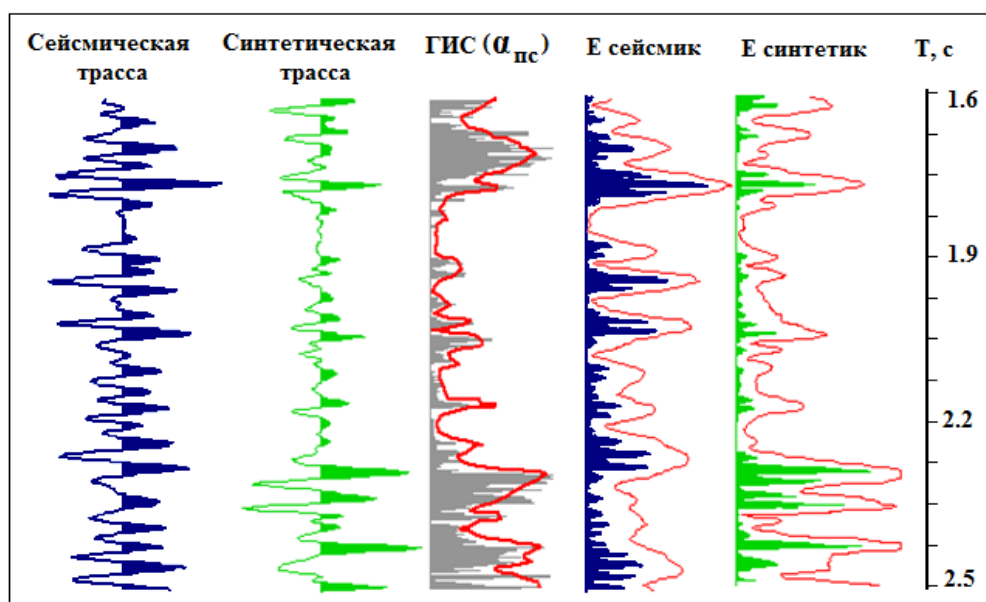


Рис. 3. Сопоставление данных сейсморазведки и ГИС

Методика не требует обязательного априорного знания скоростных характеристик разреза, но эффективность ее возрастает при

их наличии в виде данных акустического каротажа, вертикального сейсмического профилирования или сейсмокаротажа.

Отметим, что оценка литологического состава отложений базируется на поиске тесных связей параметров сейсмических данных с литологическими характеристиками, полученными по каротажным данным или по априорной информации. С другой стороны, сейсмическое волновое поле отображает распределение плотности пород и скорости упругих волн в среде. А зависимость скорости распространения упругих волн и плотности пород от вещественного состава отложений позволяет прогнозировать их литологический состав (Мушин и др., 1990, 2001; Шыхалиев, 2005).

Предпосылками этого являются наличие определенных генетических связей между внешними границами геологических тел и их внутренним строением, особенно заметно проявляющихся на участках длительной по времени пространственной стабильности фациальных границ, а также связей между фациями, вещественным составом и характеристиками упругости и неоднородности среды.

Рассмотрим результаты апробации разработанной технологии прогнозирования литофа-

циального состава отложений и их текстуры на примере площади Шах-дениз с установленной промышленной нефтегазоносностью.

Шах-Дениз является шельфовым газоконденсатным месторождением, выявленным в 1999 году. Оно расположено в азербайджанском секторе Каспийского моря, в 70 км к юго-востоку от Баку. Глубина моря в районе месторождения – от 50 до 650 м. Площадь газоносного района – около 860 км². Эксплуатация первой скважины глубиной 6,5 тыс. метров, пробуренной со стационарной добывающей платформы на глубине моря 105 метров, началась 15 декабря 2006 г. с дебитом газа 5,6 млн. куб. м в сутки из продуктивной толщи (ПТ-нижний плиоцен), которая является главным резервуаром ЮКБ.

Для изучения месторождения Шах-дениз использован временной разрез одного из 3D-профилей. Качество разреза достаточно высокое и хорошо отражает основные элементы геологического строения разреза (рис.4а). На этом профиле были выделены и трассированы сейсмические горизонты, соответствующие различным свитам ПТ.

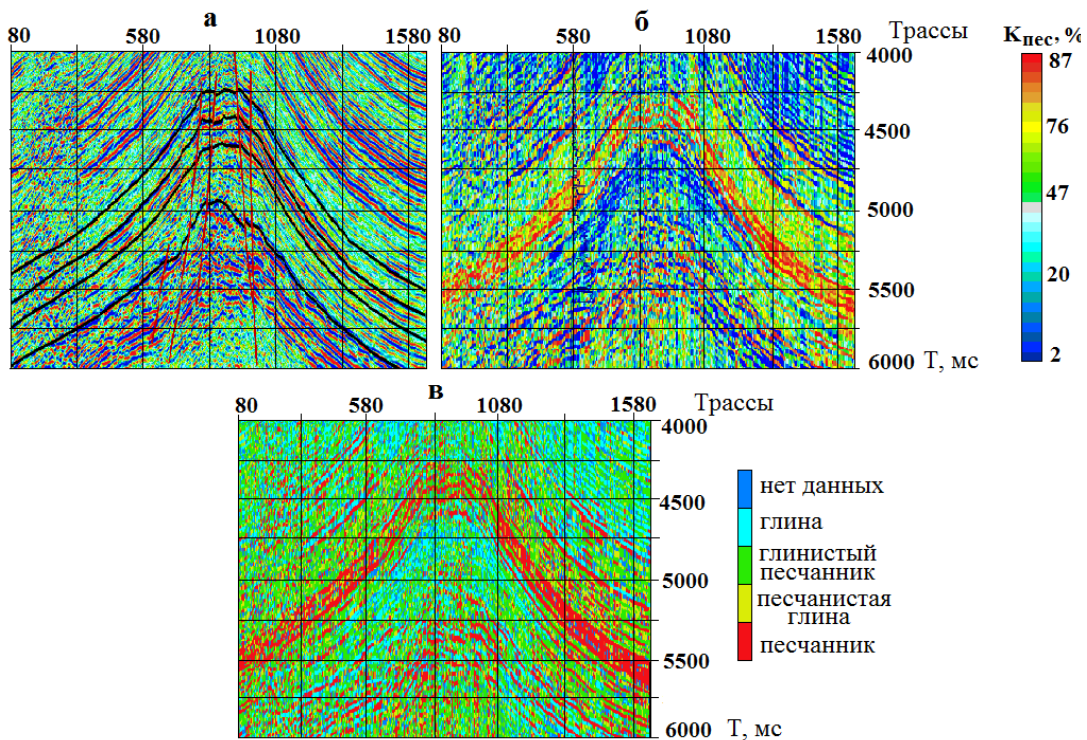


Рис. 4. Площадь Шах-дениз. Фрагменты временных разрезов: а – сейсмический; б – распределение коэффициентов песчанности; в – распределение литофациального состава отложений

Комплексная интерпретация сейсмических и скважинных данных с использованием вышеописанной методики позволила более детально оценить петрофизические параметры (скорость, пористость, песчанистость, глинистость и т.д., рис.4б) и прогнозировать литофациальный состав отложений на изучаемом профиле (рис.4в).

Следует отметить, что независимо от уровня развития методической базы сейсморазведки сейсмические динамические разрезы всегда будут оставаться некоторым приближением к реальному геологическому разрезу. Поэтому связь акустического импеданса с действительной литофациальной обстановкой не всегда будет однозначной.

Методика прогноза нефтегазоносности

Известно, что пористые породы почти всегда насыщены флюидами (обычно водой с растворенными солями), а поровое пространство в пластах-коллекторах заполнено переменными количествами воды, нефти и газа. Замещение воды нефтью или газом меняет объемную плотность и другие константы и, следовательно, скорость и коэффициент отражения (Баганик, Гурвич, 2006). При этом образование залежи сопровождается следующими изменениями характеристик геологического разреза: уменьшается скорость распространения продольных сейсмических волн и объемная плотность породы; возрастает поглощение упругих колебаний; образуются горизонтальные отражающие границы, соответствующие водонефтяным и газонефтяным контактам. Пределы изменения перечисленных характеристик весьма обширны (Öz, 2001).

При определении коллекторских свойств по сейсмическим данным необходимо учитывать, что полученные значения параметров, характеризующих коллекторские свойства, следует рассматривать более качественно. При особо благоприятных условиях (высокое качество исходного сейсмического материала, широкий набор данных ГИС, надежные корреляционные связи между данными и т.д.) полученные прогнозные значения могут быть достаточно близки к истинным.

Для этого исходной информацией служит сейсмический разрез, преобразованный в

разрез того параметра, корреляционные связи которого тесно связаны с прогнозируемой коллекторской характеристикой. Сначала интерпретируется трасса, совпадающая со скважиной. Целью такой работы является выяснение возможности получения тесных связей геофизических параметров: эффективной ($K_{п}^{эф}$) и общей ($K_{п}^{об}$) пористости, глинистости ($K_{гл}$), с преобразованной сейсмотрассой. Далее, используя полученную информацию, осуществляется обработка всего разреза и получение разреза соответствующего параметра. В разрезе должен быть выбран фрагмент, представляющий интерес с точки зрения прогноза нефтегазоносности. Сейсмическая информация по нему обрабатывается в соответствии с алгоритмом обработки трассы.

Используя различные известные функциональные зависимости (Дахнов, 1982; Archie, 1942; Wyllie, 1958; Dvorkin, Alkhatер, 2004), а также мгновенные параметры волнового поля, сейсмические разрезы трансформируются в разрезы различных петрофизических параметров, по которым прогнозируются коллекторские свойства пластов и по возможности определяется их продуктивность.

Трансформированные разрезы распределения геофизических параметров позволяют оценить общий объем коллекторов в разрезе, что является, с одной стороны, необходимой информацией для оценки объема резервуара и запаса углеводородов, а, с другой стороны, информацией для оценки их продуктивности.

Хорошая корреляция сейсмических данных с выявленными по результатам бурения промышленными скоплениями УВ в разрезе ПТ площади Шах-дениз послужили хорошей предпосылкой для широкого внедрения разработанной методики в прогнозных целях на структурах ЮКБ с еще не выясненными перспективами.

Следующий пример относится к выявлению продуктивных объектов структуры Чыраг. На временном разрезе, пересекающем эту структуру, отчетливо видно изменение динамических параметров волнового поля в нефтеносных объектах (рис.5а).

Здесь эти объекты выделены по аномальным изменениям следующих параметров сейсмического волнового поля: увеличению (или уменьшению) амплитуд отражений от

границ коллекторов, сопровождающихся иногда изменением полярности; повышению затухания энергии упругих колебаний; изменению частотного состава отражений вследствие зависимости поглощения от частоты и изменения частотной характеристики пласта; уменьшению интервальной скорости в области залежи; увеличению во временном масштабе мощности пласта коллектора; ухудшению регулярности волн; появлению на разрезе горизонтальных отражающих горизонтов, зачастую секущих наклонные границы структурных форм; аномальному изменению мгновенных параметров сейсмического волнового поля; латеральному изменению петрофизических характеристик, определенных по сейсмическим и каротажным данным.

В результате инверсии сейсмического волнового поля и всестороннего анализа его результатов удалось прогнозировать продуктивные объекты (рис.5б). Результаты бурения подтверждают прогнозные результаты сейсмических исследований.

Методика прогноза аномальных давлений

Методика прогнозирования аномальных давлений и оценка в них значений поровых давлений по данным различных геофизических методов исследования скважин детально разработаны и широко применяются на практике (Добрынин, Серебряков, 1989; Буряковский и др., 1986). Но очень важным является прогнозирование зон аномальных поровых давлений до начала бурения, что позволяет более точно проектировать скважины, выбирать ее конструкцию и производить бурение в оптимальном технологическом режиме.

Из всех методов полевой геофизики только сейсморазведка позволяет решить задачу поиска зон аномальных поровых давлений: определение ее границ, прогнозирование глубины залегания, расчет величины давления и выявление дополнительных атрибутов, характеризующих эти аномальные зоны. Ценность сейсморазведки заключается именно в том, что при высокой разрешающей способности в ее физической основе лежат те параметры среды, которые чувствительны к поровым/пластовым давлениям: плотность и пористость пород, скорость упругих волн и т.п.

Следует отметить, что выделение зон аномальных поровых давлений можно осуществлять лишь, используя скорости в глинистых породах, т.к. именно эти породы при отсутствии аномальных давлений подчиняются закону, известному как закон нормального уплотнения (Dutta, 2002; Добрынин, Серебряков, 1989; Шыхалиев, Гаузер, 2006). Это объясняется в большей мере тем, что глинистые породы по своим литофациальным характеристикам достаточно стабильны по разрезу. Все остальные породы имеют очень большой разброс скоростных характеристик и, участвуя в определении средней скорости, не позволяют выявить указанный выше закон для глин. Однако в случае присутствия в разрезе мощных пластов (300÷500 м) эта задача может быть решена, т.е. можно выявить участки нормального уплотнения и аномальные зоны поровых давлений как области, не подчиняющиеся этому закону.

В сейсморазведке существуют приемы трансформации параметров волнового поля в скоростные атрибуты и построения разрезов распределения пластовых скоростей во временном и глубинном масштабах. Одним из них является сейсмическая инверсия – преобразования ПАК (псевдо-акустический каротаж).

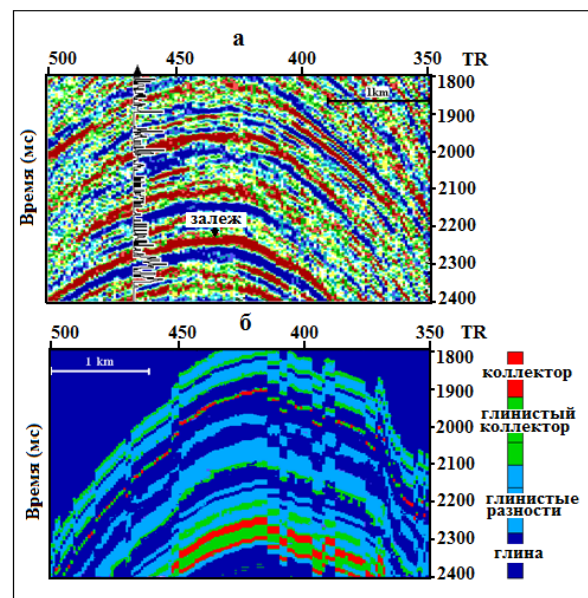


Рис. 5. Площадь Чираг. Фрагмент сейсмического временного разреза (а) и разрез распределения продуктивных объектов (б)

Поскольку преобразованию в поле скоростей подвергается весь сейсмический разрез, то точность скоростных разрезов будет зависеть от частотного состава волнового поля. Здесь точность скоростных характеристик, полученных для высокочастотного разреза, может быть соизмерима с детальностью кривой акустического каротажа (АК) (Гогоненков, 1987).

Дисперсия полученных скоростей по ПАК примерно соответствует дисперсии скоростей по АК. Это существенный момент, т.к. для прогноза зон аномальных поровых давлений важным является именно соотношение скоростей пластов в разрезе.

Таким образом, мы получаем информацию, идентичную кривой АК, для которой методика прогноза зон аномальных давлений детально разработана. Успех решения этой задачи целиком будет зависеть от того, насколько успешно и качественно выполнено преобразование ПАК.

Как уже отмечалось, информацией для работы пакета являются сейсмические динамические разрезы во временном и в глубинном масштабах, соответствующих требованиям системы REZAYR (Шыхалиев, Гаузер, 2006). Таким образом, разработанная технология и пакет программ были протестированы на сейсмическом динамическом разрезе (рис.6а), полученном на площади Абшерон.

Согласно приведенной блок-схеме (см. рис.1), сейсмический разрез вначале трансформируется в разрез импедансов а затем уже в разрез распределения значений пластовых

скоростей (рис.6б). А разрез импедансов в свою очередь образуется преобразованием трасс сейсмического динамического разреза в импульсные трассы, которые принимаются равными коэффициенту отражения.

По поводу получаемых значений коэффициентов отражений необходимо отметить следующее. Дело в том, что в процессе обработки полевой сейсмической информации, полученные окончательные временные динамические разрезы масштабируются с тем, чтобы амплитуды волнового поля находились в определенном диапазоне значений. Очевидно, что в таком масштабированном разрезе мы получим некоторые случайные значения для пластовых скоростей (жесткостей). Вычисленные пластовые скорости за счет масштабирования сейсмических динамических разрезов могут не соответствовать реальным, но быть пропорциональными им.

Следует отметить, что в результате выполнения процедуры ПАК можно получить разрезы, отражающие распределение значений пластовых скоростей или значение их логарифмов. Вариант работы программы со значениями логарифмов скоростей предпочтительнее при прогнозе аномальных поровых давлений и в дальнейшем именно он будет использован.

Как уже отмечалось выше, для прогноза аномальных давлений можно использовать только те пластовые скорости разреза, которыми характеризуются вмещающие глины, т.е. если рассматривать разрез сейсмических скоростей, то из этого поля надо исключить скорости, не относящиеся к глинам.

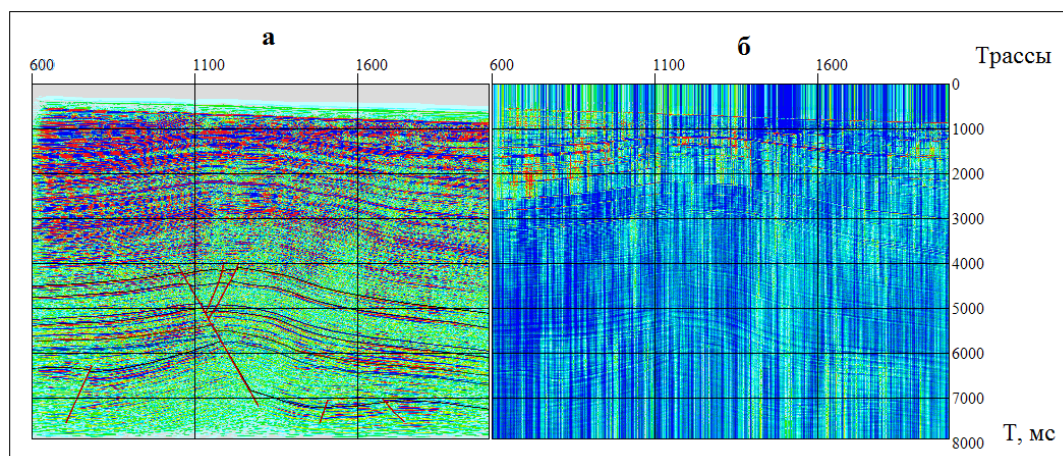


Рис. 6. Площадь Абшерон. Фрагмент сейсмического временного разреза (а) и разрез распределения значений скоростей ПАК (б)

Задача эта нетривиальная. Она может быть решена достаточно надежно с привлечением дополнительной информации, такой как данные каротажа. Но наша задача решить ее до начала буровых работ.

Постараемся сформулировать хотя бы основные характеристики, отличающие поле скоростей глин от поля скоростей, соответствующих не глинам.

Разрез поля скоростей, относящихся не к глинам, с литологической точки зрения складывается из пород, имеющих довольно большой диапазон изменения петрофизических характеристик, а глинистые отложения по разрезу имеют достаточно выдержанные петрофизические характеристики или характеристики, монотонно меняющиеся как по латерали, так и по вертикали. Эти характеристики глин и не глин позволяют сформулировать критерии их разделения в поле скоростного разреза созданием некоторого подобия петрофизического фильтра с элементами статистического анализа.

Таким образом, с помощью управляющего фильтра получается разрез скоростей, соответствующий распространению глинистых отложений в плоскости сейсмического профиля. Поскольку глины имеют относительно слабую дифференциацию значений скоростей, на разрезе, показанном на рисунке 7а, отсутствуют области с выраженной пластовой текстурой. При этом общие детали, отражающие особенности геологической об-

становки, прослеживаются достаточно наглядно, т.е. хорошо видна антиклинальная форма залегания отложений. Кроме того, из рисунка видно, что влияние на вычисленное поле скоростей в глинах, отложений иного литологического состава незначительно, можно сказать практически отсутствует. Это создает условия надежного выделения границ зон аномально-высоких поровых давлений.

Кровлей зоны аномальных поровых давлений на трассе скоростей в глинах является точка конца линии нормального уплотнения, после которой начинается уменьшение значений скоростей до минимума. Точка, соответствующая этому минимальному значению, определяет подошву зоны аномальных поровых давлений и, очевидно, начало нового естественного уплотнения. Концом его является точка следующей кровли зоны аномальных поровых давлений. Подобный анализ, проведенный по всем трассам сейсмического разреза, дает общую картину распределения аномальных зон.

Полученный разрез распределения зон аномальных поровых давлений показан на рис.7б. Здесь синим цветом выделены зоны аномальных поровых давлений, причем верхняя граница областей соответствует ее кровле, а нижняя граница определяет начало увеличения значений скоростей, т.е. границу минимальных значений скоростей, а значит максимальных величин поровых давлений.

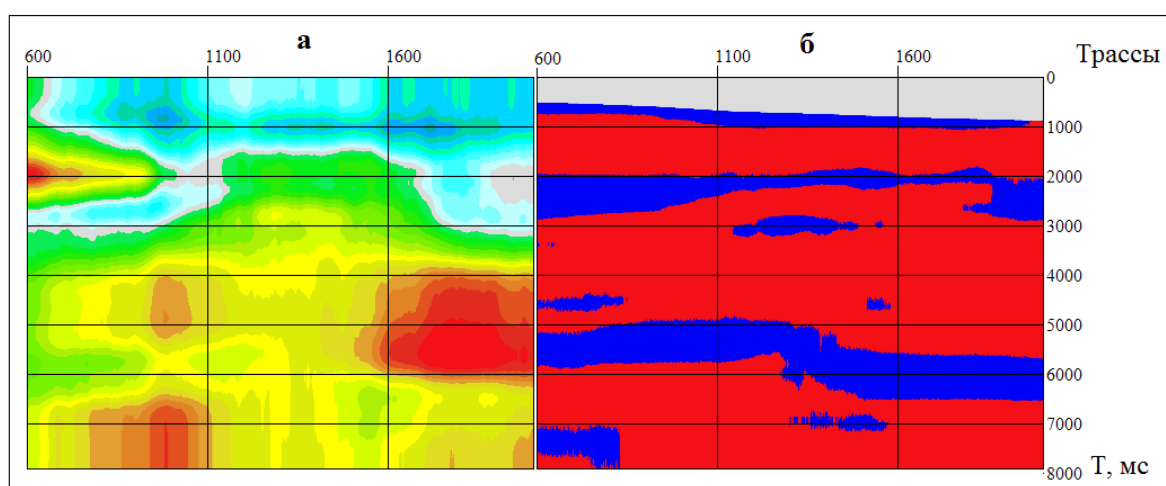


Рис. 7. Площадь Абшерон. Разрезы, соответствующие распределению скоростей глин (а) и зон аномальных поровых давлений (б)

Примеры прогноза характеристик геологической среды в ЮКВ

Прогноз литофациальной характеристики и нефтегазоносности осадочного разреза

Площадь Ялама-Самур

Эта структура расположена на границе российского и азербайджанского секторов Каспия, представляя собой единое перспективное на нефть и газ геологическое поднятие. Пробуренная на этой структуре (блок Д-222) первая разведочно-оценочная скважина оказалась непродуктивной. Исследования по прямой диагностике УВ в этом блоке были проведены по профилю 2D, пересекающему площадь в субширотном направлении (рис.8а).

В данном случае особенностью решения задачи прогноза петрофизических характеристик и продуктивности является то обстоятельство, что скважина располагается на значительном расстоянии от анализируемого профиля (около 30 км) и несмотря на относительно спокойную геологическую обстановку ее характеристики не могут быть снесены на профиль и, очевидно, использованы непосредственно. Несмотря на это, их знание, окажется полезным, что станет видно из дальнейшего.

Таким образом, в данном случае необходимо ориентироваться в основном на сейсмические данные.

Наличие одного и того же профиля в масштабе времени и глубины позволяет нам оценить распределение интервальных скоростей по разрезу, а затем, используя интерполяционные алгоритмы, перейти от интервальных скоростей к пластовым. Детальность такого перехода определяется частотным составом сейсмического профиля.

Распространяя таким образом значения интервальных скоростей в плоскости анализируемого фрагмента сейсмического разреза, получаем параметрический разрез пластовых скоростей (рис.8б).

Следующий этап – это решение задачи определения коллекторских характеристик отложений, что в данном случае несколько затруднительно в силу сложной модели порового пространства. Анализ кернового материала по скважине YXL-1в показал, что породы (не только коллектора) имеют не только гранулярный тип пористости, но и осложнены трещиноватой пористостью. Такое строение порового пространства представляет достаточно сложную задачу для определения коэффициента пористости даже для комплекса ГИС.

В данном случае нам придется воспользоваться моделью гранулярного типа пористости для глинистого коллектора. Необходимую информацию о константах, характеризующих поровое пространство, можно получить, анализируя комплекс ГИС по скважине YXL-1в. Это вполне корректное допущение, так как из анализа сейсмического материала видно, что толща отложений, пересекаемая этой скважиной и рассматриваемым фрагментом временного разреза, идентична.

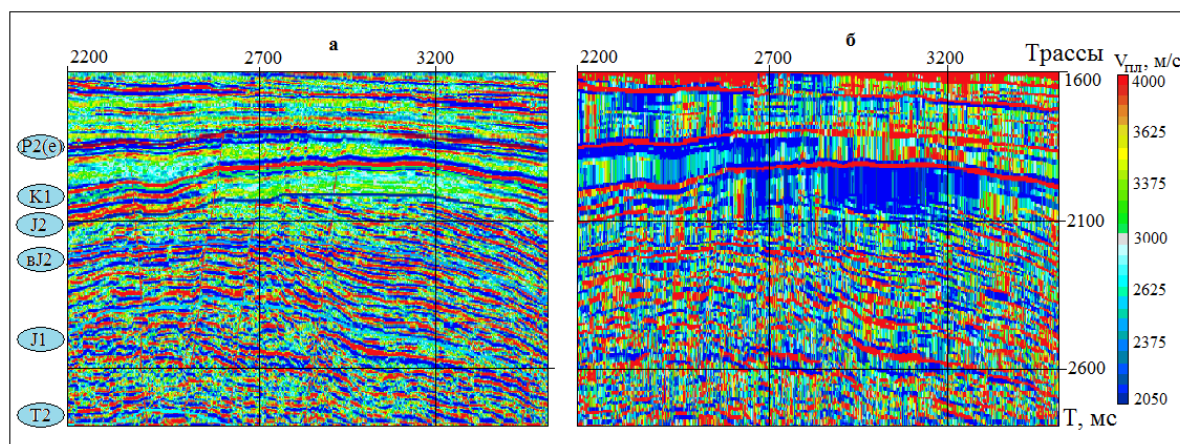


Рис. 8. Площадь Ялама-Самур. Фрагмент сейсмо-временного разреза (а) и разрез распределения значений пластовых скоростей (б)

Для реализации определения величины пористости модель породы была рассмотрена, исходя из предположения, что определяемая пористость должна трактоваться как эффективная ($K_n^э$), что соответственно учитывалось при обработке данных каротажа.

В силу изложенного воспользуемся модифицированным выражением для величины среднего времени:

$$\Delta T_n = \Delta T_{ск} + K_n^m (\Delta T_v - \Delta T_{ск}) + K_{гл}^m (\Delta T_{гл} - \Delta T_{ск}), \quad (1)$$

где, $\Delta T_{ск}$ – интервальное время пробега волны в скелете, ΔT_v – интервальное время пробега волны в воде, $\Delta T_{гл}$ – интервальное время пробега волны в глине, K_n – коэффициент пористости пласта, $K_{гл}^{гл}$ – коэффициент пористости глин, m – структурный показатель, дающий связь между скоростью пласта, его пористостью (в нашем случае $K_n^э$) и величиной общей глинистости (Дахнов, 1987).

Для того чтобы с помощью этой зависимости преобразовать сейсмический разрез в разрез значений коэффициентов пористости, кроме значения пластовых скоростей, необходимо определить приближенные значения величин $K_{ск}$.

Воспользуемся преобразованием Гильберта и преобразуем сейсмический разрез в разрез мгновенных амплитуд. Известно (Мушин и др., 1990), что распределение значений мгновенных амплитуд по разрезу характеризует распределение песчаности. Для того

чтобы воспользоваться этими значениями в уравнении (1), их необходимо преобразовать в значения коэффициентов песчаности. Это возможно осуществить, если задаться уровнем значений, соответствующих значениям $K_{ск}=0$.

Такой подход позволяет воспользоваться выражением (1), решенным относительно K_n , чтобы в процессе итераций для значений $K_{гл}$ (которые являются средними для фрагмента) определить оптимальные значения $K_n^{эф}$. Весь процесс определения пористости осуществлялся под визуальным контролем, и выбор оптимального результата определялся наилучшим его соответствием геологической обстановке.

Таким образом, получен разрез распределения $K_n^{эф}$ (рис.9а), значения которого следует рассматривать лишь как относительные характеристики отложений, а не как абсолютные значения $K_n^{эф}$, хотя и достаточно близкие к истинным.

Наличие таких двух петрофизических характеристик отложений, как значения пластовых скоростей и коэффициентов эффективных пористостей в принципе позволяет сделать выводы о наличии УВ (газы) в объеме ловушки.

Рассмотрим совместно разрезы $V_{пл}$, $K_n^{эф}$ и разрез мгновенных амплитуд (рис.10б), который после процедуры нормализации можно рассматривать как разрез коэффициентов песчаности K_n .

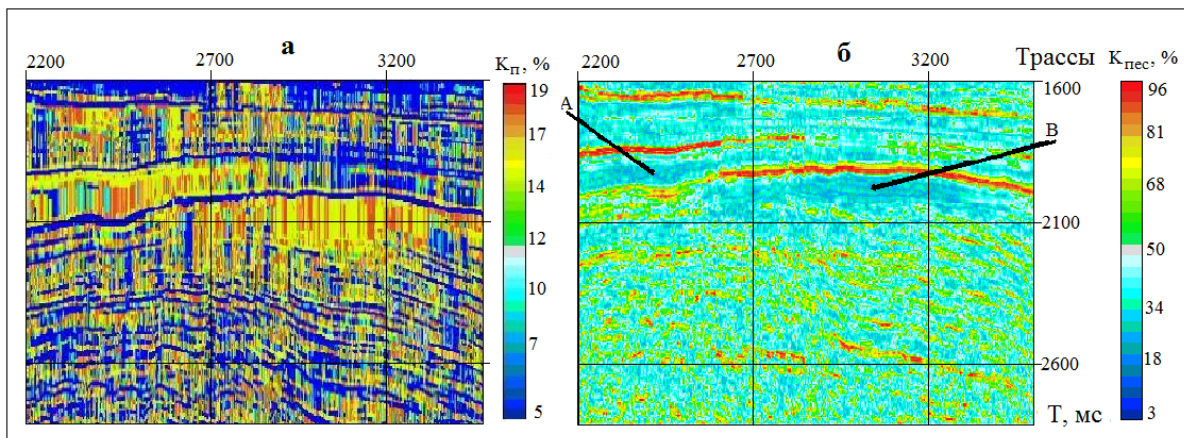


Рис. 9. Площадь Ялама-Самур. Изменение коэффициентов пористости (а) и песчаности (б) по разрезу

Разрез пластовых скоростей в целом повторяет структурные особенности временного разреза, но в некотором смысле менее дифференцирован. Это связано с тем, что литологические разности, близкие по скоростным характеристикам, объединяются. С другой стороны, интервалы или объекты, которые на временном разрезе выделяются как однородные, на этом разрезе выделяют внутри себя некоторую текстуру. Особенно это заметно на разрезе коэффициентов песчаности, показанном на рис.9б. В этом плане следует обратить внимание на объекты А и В, внутри которых просматриваются некоторые мелкие детали текстуры, не заметные на временном разрезе.

На разрезе значений коэффициентов эффективной пористости также четко выделяются две области, соответствующие областям А и В и характеризующиеся относительно большими значениями (порядка 15-17%) пористости.

Таким образом, совместное рассмотрение разрезов трех петрофизических характеристик отложений позволяет выделить два конкурирующих объекта, которые могут быть рассмотрены либо как глины или уплотненные глины, либо как потенциальные ловушки УВ.

Таким образом, возникает новая задача: как оценить принадлежность одного из выделенных объектов к классу коллекторов и отделить его от принадлежности к классу глин. Эту задачу можно попытаться решить, занявшись анализом волнового поля сейсмического разреза, которое, как известно, несет в себе информацию о процессах осадконакопления и соответственно о литологии (Михальцев и др.,1990).

На рис.10 приведен фрагмент временного разреза анализируемого профиля после того, как он был подвергнут амплитудной фильтрации с целью подчеркнуть особенности волнового поля. В результате такой фильтрации из волнового поля был убран малоамплитудный фон, создаваемый помехами разного происхождения, и подчеркнуты особенности поля, создаваемые литологически значимыми границами. Для удобства описания выделившиеся поля с одинаковым волновым характером и ограниченные с хорошо прослеживаемыми границами залиты разными цветами.

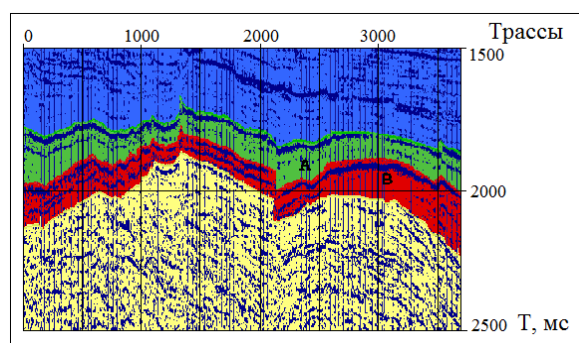


Рис. 10. Площадь Ялама-Самур. Фрагмент фильтрованного сейсмического временного разреза

Рассмотрим волновое поле, окрашенное в зеленый цвет и стратиграфически предположительно принадлежащее акчагыльским отложениям. Легко заметить, что особенностью волновой картины является практически полное отсутствие отражений внутри рассматриваемой области. Это говорит о том, что рассматриваемая толща в пределах всего профиля представлена однородной литологией, не имеющей какой-либо определенной текстуры. Такой характер отложений обычно принадлежит глинам. Это первый важный вывод.

Далее рассмотрим интервал разреза, окрашенный в наиболее темный (красный цвет). Тут характер поля совершенно иной. Четко прослеживается слоистая структура практически по всей окрашенной области, за исключением той части, которая была выделена на анализируемом фрагменте в качестве области В. Хочется специально подчеркнуть, что слоистость просматривается достаточно четко и в конце профиля. Можно предположить, что мы имеем дело с линзой глин, которая вклинилась в пласт сложного песчаника.

По рисунку однозначно видно, что область В не имеет тонкой внутренней структуры, а область А – слоистая, что характерно для песчаников.

Исходя из результатов проведенного анализа структуры волнового поля, можно сделать достаточно очевидный вывод, который заключается в следующем:

- область А является глинистым и скорее всего не является коллектором;
- область В располагается на размытой

поверхности юры, имеет четко выраженную глинистую покрывку, является слоистым, песчанистым телом, с высокой пористостью, что приводит к уменьшению его акустических жесткостей и снижению контраста внутри объекта.

На основании всестороннего анализа полученных результатов интерпретации сейсмических данных в комплексе с другими геологическими и геохимическими данными было дано заключение, что структура не представляет коммерческого интереса (Гулиев и др., 2007). Тем не менее, здесь была заложена и пробурена вторая поисковая скважина, также оказавшаяся непродуктивной, подтвердив тем самым сделанные по сейсмическим данным прогнозы.

Структура Абшерон

Абшерон – перспективная структура, которая находится в море в 100 км от Баку, где глубина моря достигает 500 метров. На структуре была пробурена одна скважина АВХ-1, которая оказалась непродуктивной, и поиски на ней были временно приостановлены.

Для изучения площади Абшерон использован временной разрез одного из 3D профилей, проходящего через единственную пробуренную здесь поисковую скважину АВХ-1. На этом профиле были выделены и трассированы сейсмические горизонты Балаханской и нижележащих свит ПТ (рис.11а).

Разрез профиля осложнен нарушениями различного характера. Качество динамического разреза позволяет более детально рассмотреть распределение здесь различных петрофизических параметров (скорость, песчанистость, глинистость, пористость и т.д.). Распределение пластовых скоростей по разрезу, полученное в результате инверсии сейсмического волнового поля временного разреза, сильно дифференцировано, и высокоскоростные пласты чередуются с низкоскоростными. В результате анализа всех разрезов, отражающих распределение петрофизических параметров, удалось прогнозировать основные возможно продуктивные объекты, волновая картина которых отличается своей интенсивностью (рис.11б). Они расположены на северном крыле структуры ниже свиты «перерыва» во временном интервале 5,5-5,7 сек. Глубина залегания прогнозируемых продуктивных пластов приблизительно 6,7-6,9 км. Как видно из рисунка, непродуктивная поисковая скважина пробурена на противоположном крыле, где по сейсмическим данным отсутствуют продуктивные горизонты.

Структура Умид

Для прогноза продуктивности этой структуры был использован сейсмический временной разрез профиля, пересекающего ее в субширотном направлении.

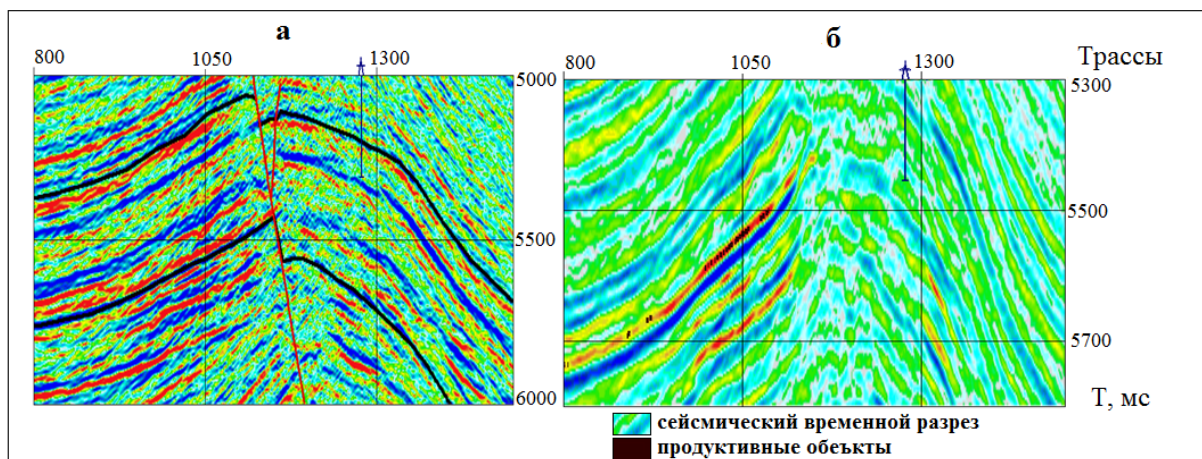


Рис.11. Площадь Абшерон. Фрагмент сейсмического временного разреза (а) и разрез распределения продуктивных объектов (б)

Полученные в результате инверсии сейсмического волнового поля разрезы геофизических параметров дают достаточно возможностей для решения задачи прогноза продуктивности. Методы решения ее могут быть различны и многообразны. В данном случае выбраны два подхода. Один из них – это обычный способ определения продуктивности коллекторов, основанный на имеющихся зависимостях. Эти зависимости получены путем анализа данных идентичных площадей или из теоретических соображений, с учетом заданной петрофизической модели продуктивного и водоносного коллектора (Дахнов, 1982).

Другой подход реализует упрощенный вариант метода распознавания образов в n-мерном пространстве (в нашем случае n=3 с параметрами $K_{пес}$, $V_{пл}$ и $K_{п}^{эф}$).

Эти два подхода дополняют друг друга и позволяют с большой долей вероятности предположить, что отложения VI, VII и VIII горизонтов балаханской свиты и свиты «перерыва» (соответственно V и VII горизонты по Гарадагской разбивке), ПТ продуктивны, а также оценить зону неоднозначности в области водонефтяного контакта.

На рис. 12 показан разрез прогноза продуктивности по профилю, проходящему через структуру Умид в ЮКБ. На разрезе продуктивные объекты выделяются четко. Цвета здесь условные, т.к. они характеризуют результаты промежуточных расчетов и выбраны так, чтобы коллектора имели темный цвет.

Описанные примеры и примененные программные средства, методика и технология анализа полей отраженных волн позво-

ляют уверенно утверждать, что геологическое строение осадочных толщ отображается в сейсмических разрезах и изображениях динамических параметров отражений, причем каждый из этих параметров отображает различные характеристики разреза – как характер напластования, так и акустические свойства толщ. Сейсмические разрезы содержат вполне конкретную информацию не только о литофациальном составе отложений, но и о возможном характере газо-нефтенасыщения.

Диагностика аномальных поровых давлений на площади Зафар-Машал

Прогноз зон с аномальными поровыми давлениями на площади Зафар-Машал проводился по одному из профилей 3D сейсмической съемки (рис.13а).

Из рисунка видно, что разрез отличается своей сложной геологической ситуацией. Здесь сводовая часть разреза осложнена нарушениями различного характера. Поэтому при прогнозировании геофизических параметров, в том числе зон аномальных поровых давлений, необходимо быть очень внимательными.

На первом этапе был получен разрез (рис.13б), отражающий скоростные характеристики глин и позволяющий определить зоны нарушения закона нормального уплотнения. А они, в свою очередь, соответствуют зонам аномальных поровых давлений (синий цвет на рис.13). Не принимая во внимание отдельные погрешности, на разрезе четко выделяются три зоны аномальных поровых давлений разной мощности и протяженности.

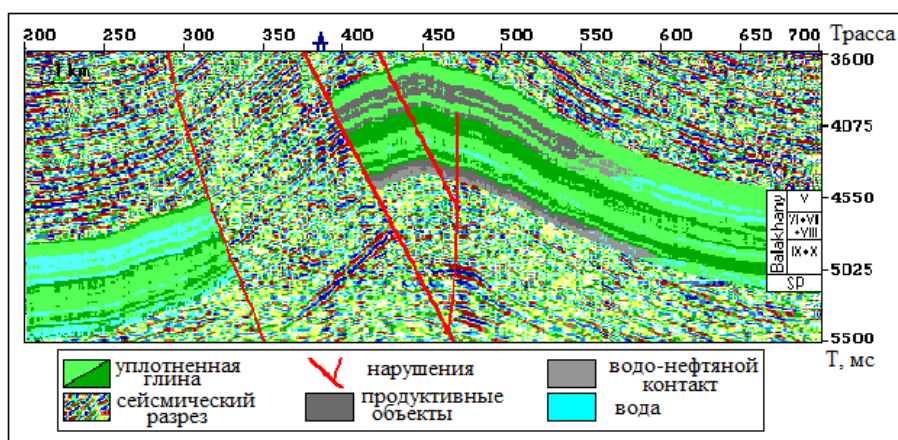


Рис. 12. Площадь Умид. Разрез распределения продуктивных объектов

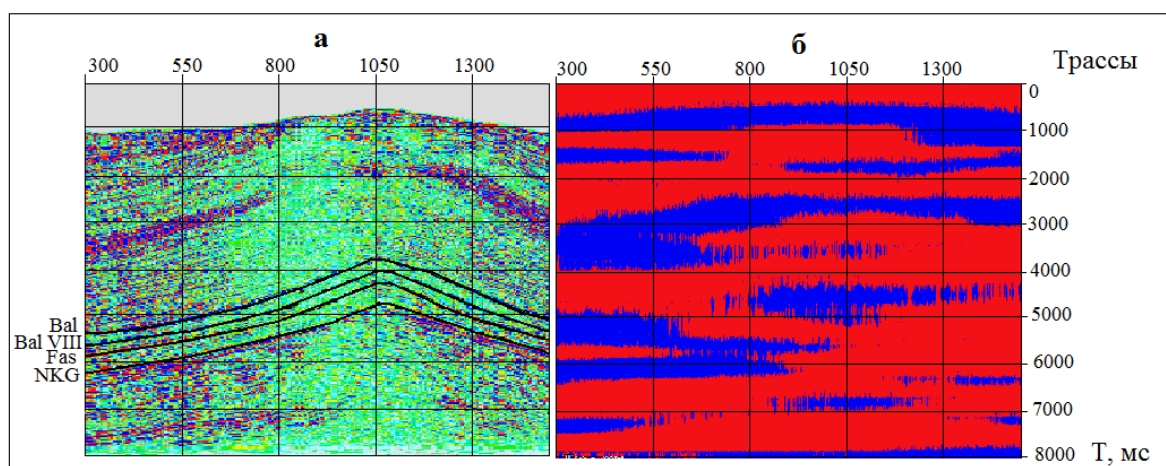


Рис. 13. Площадь Зафар-Машал. Фрагмент сейсмического временного разреза (а) и разрез с соответствующим распределением зон аномальных поровых давлений (б)

Первая самая верхняя зона аномальных давлений охватывает глубины 400-600 м, а иногда доходит до 1000 м. Она здесь, хотя является протяженной, имеет относительно небольшую мощность. Вторая зона охватывает интервал 1500-3000 м, (иногда до глубины примерно 4 км), где значения градиента давлений стабильно высокие. И, наконец, третья зона, самая протяженная и наиболее мощная, отмечается в пределах глубин 5,5-9,0 км (рис.13б).

Прямая диагностика зон развития аномальных поровых давлений в ЮКВ по сейсмическим данным показала хорошую согласованность ее результатов с теоретическими разработками и фактическими замерами давлений. Так, выявленная самая верхняя зона избыточных давлений (интервал менее 1000 м) может быть связана с верхней биохимической зоной газообразования, особенно при скоплении этих газов в песчаных линзах, ограниченных со всех сторон непроницаемыми породами. Важно отметить, что зоны высокого газонасыщения в плейстоценовых отложениях ЮКВ обнаружены по результатам бурения уже с глубины 400-600 м (Юсуфзаде и др., 1976), а также отмечаются по данным газового каротажа.

Происхождение выявленной по сейсмическим данным второй зоны (до глубины около 4 км) связывается с неравновесным уплотнением пород.

Выявленная третья, наиболее интенсивная зона, уровень которой зависит от мощно-

сти глинистой толщи, концентрации в глине органического вещества, его типа и температурных условий преобразования в УВ, хорошо увязывается с установленной вертикальной зональностью нефтегазообразования в ЮКВ (Фейзуллаев, Тагиев, 2008). В этой зоне наибольший риск 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты апробации разработанных методик выявления по сейсмическим данным петрофизических параметров (пористости, проницаемости, песчанистости/глинистости) пород-резервуаров, прогнозирования аномально-высоких поровых давлений и нефтегазоносности отложений на примере хорошо изученных нефтегазоносных структур Шахдениз и Чыраг показали на их высокую эффективность в геологических условиях ЮКВ и возможность применения при изучении перспективных структур в ее глубоководной части. Это служит убедительной основой для рекомендации разработанных методик в практике поисково-разведочных работ в перспективной глубоководной части ЮКВ.

Даны первые результаты применения разработанных методик на таких перспективных структурах, как Ялама-Самур, Абшерон, Умид и Зафар-Машал.

ЛИТЕРАТУРА

- БАГАНИК, Г.Н., ГУРВИЧ, И.И. 2006. Сейсморазведка. АИС. Тверь. 744.
- БУРЯКОВСКИЙ, Л.А., ДЖЕВАНШИР, Р.Д., АЛИЯРОВ, Р.Ю. 1986. Геофизические методы изучения геофлюидальных давлений. Элм. Баку. 147.
- ГОГОНЕНКОВ, Г.Н. 1987. Изучение детального строения осадочных толщ сейсморазведкой. Недра. Москва. 221.
- ГУЛИЕВ, И.С., АЛИЕВА, Э.Г.-М., ФЕЙЗУЛЛАЕВ, А.А., ГУСЕЙНОВ, Д.А., ШЫХАЛИЕВ, Ю.А., КАДИРОВ, Ф.А. 2007. Оценка перспектив нефтегазоносности структуры Ялама-Самур на основе фациального, структурного и геохимического анализов разрезов суши и моря и их корреляции. Отчет в 4-х томах. Фонды Института геологии НАНА. Баку. 379.
- ДАХНОВ, В.Н. 1982. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. Недра. Москва. 448.
- ДОБРЫНИН, В.М., СЕРЕБРЯКОВ, В.А. 1989. Геолого-геофизические методы прогнозирования аномальных пластовых давлений. Недра. Москва. 287.
- МИХАЛЬЦЕВ, А.В., МУШИН, И.А., ПОГОЖЕВ, В.М. 1990. Обработка динамических параметров в сейсморазведке. Недра. Москва. 189.
- МУШИН, И.А., БРОДОВ, Л.Ю., КОЗЛОВ, Е.А., ХАТЬЯНОВ, Ф.И. 1990. Структурно-формационная интерпретация сейсмических данных. Недра. Москва. 229.
- МУШИН, И.А., КОРОЛЬКОВ, Ю.С., ЧЕРНОВ, А.А. 2001. Выявление и картирование дизъюнктивных дислокаций методами разведочной геофизики. Научный мир. Москва. 120.
- ПТЕЦОВ, С.Н. 1989. Анализ волновых полей для прогнозирования геологического разреза. Недра. Москва. 135.
- 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.
- ШЫХАЛИЕВ, Ю.А. 2005. Методика углубленного анализа комплекса данных сейсморазведки и ГИС; поиск и оценка продуктивных объектов. *Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле*, 2, 82-88.
- 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.
- ARCHIE, G.E. 1942. The electrical resistivity as an aid in determining some reservoir characteristics. *J. Pet. Tech.*, 5, 1.
- BLOML, F., BACON, M. 2009. Application of direct hydrocarbon indicators for exploration in a Permian-Triassic play, offshore the Netherlands. *First break*, 27, 37-44.
- DVORKIN, S. and ALKHATER, S. 2004. Pore fluid and porosity mapping from seismic. *First break*, 22.
- DUTTA, N.C. 2002. Geopressure prediction using seismic data: current status and the road ahead. *Geophysics*, 2012-2041.
- HILTERMAN, F.J. 2003. What's next for Pore-Fluid Estimation? Invited Talks. *GSH Luncheon*.
- MAVKO, G., DVORKIN, J., WALLS, J. 2005. A Rock physics and attenuation analysis of a well from the Gulf of Mexico. *Proceedings SEG Intl. Exposition and 75th Annual Meeting*, Houston, TX, 6-11.
- ÖZ, YILMAZ. 2001. Seismic data analysis. *SEG book*, 1, 2027.
- RAPOPORT, M.B., RAPOPORT, L.I., RYJKOV, V.I. 2004. Direct detection of oil and gas fields based on seismic inelasticity effect. *The Leading Edge*, 23(3), 276-278.
- SHYKHALIYEV, YU.A., GAUZER, H.Y., KUTUYEVA, N.Y. 1994. Construction the 2D and 3D models of reservoirs structure and their distribution on the seismic prospecting and log data. *Proceedings of 10th Petroleum Congress of Turkey*, Ankara, 15-21.
- WALLS, J., DVORKIN, J. 2004. Properties of pore fluids at very high pressures from equations of state. *Society of Exploration Geophysics meeting* (abs).
- WYLLIE, M.R.J., GREGORY, A.R., and GARDNER, G.H.F. 1958. An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in POROUS MEDIA. *Geophys.*, 2B, 3.