

ПРИМЕР ИЗУЧЕНИЯ ВЕНД-РИФЕЙСКОГО КОМПЛЕКСА РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ ТЕХНОЛОГИЕЙ 2D-9C (MBC)

В. М. Кузнецов, Г. А. Шехтман, (*ГФУПВНИИГеофизика, МОСКВА*), И.П. Коротков, А.В.Бурлаков, (*GDS, МОСКВА*),
В.А.Саловский (*ОООПермнефтегеофизика, Пермь*)

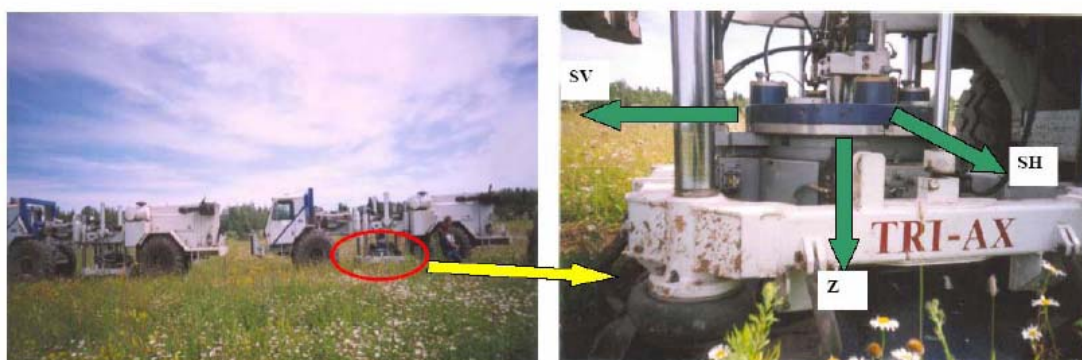
Введение

Несмотря на популярность среди геофизиков такого перспективного направления, как Многоволновая Сейсморазведка (МВС), в последнее время интерес к ней, на наш взгляд, несколько поубавился. Это вызвано рядом причин, основная из которых - отсутствие ярких геологических результатов. В то же время, развитие современных интерпретационных систем (GeoProbe Software, Stratimagic, PowerViz, Petrel и др.) вывели решение обратных задач на достаточно высокий уровень. Это формирует представление у неискушенных геологов и геофизиков о том, что по данным продольных волн при соответствующей плотности наблюдений и высоком качестве первичных материалов можно решать задачи любой сложности, выходя на петрофизические параметры без привлечения дополнительных измерений параметров волн других типов и классов. К сожалению, при этом забываются те ограничения, которые свойственны любому методу. Однако легко показать на моделях, как это сделано, например, для задач AVO [7,8], что привлечение волн других типов при использовании того же аппарата анализа повышает надежность результата на порядок. В этой статье мы приведем результаты сейсморазведочных работ, использующих практически весь спектр волн, присутствующих в волновом поле (PP,PS,PSS,SH,SV) при сопоставимом качестве их регистрации. Это позволяет использовать для интерпретации широкий набор атрибутов волнового поля, выводя решение обратной задачи на новый уровень надежности получаемой модели среды.

Аналитический обзор результатов Workshop of Multicomponent seismic (Pau,2005), сделанный в [6] показал, что наиболее успешно при комплексировании волн PP, PS решаются задачи разрешения разреза под газовой залежью по PS волнам и оценки изменения литологии по латерали. Достаточно интенсивно разрабатываются и успешно применяются способы подавления поверхностных волн при трехкомпонентной регистрации данных. Большие перспективы при некоторых методических и технологических доработках ожидаются для задач изучения трещиноватости и мониторинга залежей по волнам разных типов. Но главные проблемы для развития данного направления участниками этого семинара видятся в состоянии обработки и интерпретации данных МВС. Мы согласны с этим утверждением, хотя к нему следовало бы добавить задачу разработки универсальных источников упругих колебаний с управляемой

направленностью возбуждения. Поэтому в данной работе больше внимания мы уделили именно этим аспектам.

В 2005 году на Бедряжской площади (юг Пермской области) были проведены работы по скважинно-наземной технологии МВС с использованием стандартных вибрационных источников СВ-5-150, а также вибраторов с управляемой направленностью TRI-AX™ (AVI) (рис 1). Трехкомпонентная регистрация осуществлялась одиночными (без группирования) приборами GS-3С. Ориентация по азимуту горизонтальных компонент приема на всей площади работ была одинаковой (270°N). Работы были проведены силами ООО «Пермнефтегеофизика» при научно-методическом сопровождении ВНИИГеофизики. Источники TRI-AX™ арендовались в Спецгеофизике. Обработка полученных данных с взаимным согласованием результатов проведена в «Пермнефтегеофизике» (GEOCLUSTER), GDS (ProMAX компании Landmark и ISA3mp 2Д/3Д компании GDS) и ВНИИГеофизике (3С-INTERACT и FOCUS). Интерпретация проведена в рамках пакетов INTEGRAL PLUS («Пермнефтегеофизика») и СФА (ВНИИГеофизика).



Источники с управляемой направленностью – трехкомпонентные вибраторы TRI-AX



Трехкомпонентные сейсмоприемники для наземной регистрации GS-3C

Рис.1 Технические средства, использованные при работах МВС на Бедряжской площади.

В задачи данных работ входило:

1. Изучение структурного плана целевых отражающих горизонтов всего осадочного комплекса района работ по волнам разных типов и классов и оценка перспектив комплексирования различных по своей природе волн для разведки месторождений углеводородов в районах со сложными сейсмогеологическими условиями.

2. Оценка работоспособности и применимости при промышленных работах МВС вибраторов с управляемой направленностью возбуждения типа TRI-AX™
3. Разработка разведочных критериев обнаружения и прогноза залежей УВ по соотношению параметров волн разных типов на основе концепции многоволновой сейсморазведки [4].
4. Выделение в терригенных отложениях девона и венда песчанистых фаций на фоне вмещающих аргиллитов.
5. Прогноз зон разуплотнения и трещиноватости в карбонатных отложениях рифейского комплекса.

На этапе проектирования работ было проведено лучевое и полноволновое моделирование волнового поля на основе априорной геологической модели района работ, составленной по данным «Пермнефтегеофизика». Это позволило оценить возможный состав волнового поля, ожидаемые соотношения кинематических и динамических параметров волн разных типов для различных удалений и выбрать схему наблюдений, позволяющую оптимизировать регистрацию всех типов полезных волн. Основные сложности при проектировании вызвало отсутствие информации о надежности работы источников TRI-AX в производственном режиме и неопределенность в выборе способа оценки скоростей S волн в верхних частях разреза. Чтобы не подвергаться риску срыва работ, было принято решение ограничить объем профилей, выполняемый с использованием TRI-AX, длиной 20 п.км., тогда как общий объем работ 2D-3С (с комплексированием продольных и обменных волн) составлял 280 п.км. Что касается методов изучения ВЧР, то предполагалось опробовать три подхода:

- преломленные волны S с направленным источником при стандартной схеме регистрации МОГТ 3С с последующим решением системы уравнений для получения уравнения регрессии;
- обращенный МСК в скважинах 70-90 м с трехкомпонентной регистрацией на поверхности;
- преломленные волны P и S с ненаправленным источником по схеме МПВ-ЗМС.

Ввиду ограниченного числа трехкомпонентных приборов длина годографа при последнем способе оказалась недостаточной для корректной оценки скоростной модели ВЧР по поперечным волнам. Хотя следует отметить, что при использовании соответствующей технологии с быстрой транспортировкой косы [1] и оптимизированным источником можно добиться максимальной производительности и относительной дешевизны данного вида работ при высокой плотности наблюдений.

Результаты обработки данных: девятикомпонентное поле

В процессе обработки данных был разработан граф, использование которого позволило получить кондиционные временные разрезы по волнам PP, PS, SH и SV, а также опробовать возможности использования обменных волн других классов [5].

Первой наиболее значимой процедурой графа была ориентация в координатах ПП-ПВ компонент приема и реориентация направленности возбуждения. Место данной процедуры до ввода и коррекции статики определяется тем, что поляризация всех поперечных волн (PSV, SV_x, SH_y) должна быть определена в данной системе координат, исходя из априорного предположения об субгоризонтальности и изотропности ВЧР. Тогда максимум энергии и «чистота» импульса соответствующей волны будет наблюдаться на основной компоненте и коррекция статики осуществляется именно по ней. Если же значительная энергия преломленных и отраженных от мелких границ волн отмечена на побочных компонентах (PSH, SV_y, SH_x), это говорит о нарушении симметрии среды в ВЧР (наклон границ в направлении, не совпадающем с линией ПВ-ПП, или азимутальная анизотропия). В этом случае для коррекции статики приходится привлекать и побочные компоненты регистрации, а также компенсировать анизотропию в верхней части разреза [2]. Реориентация осуществлялась программно по формулам:

для источников

$$A_{SVX} = A_{SVX} \cos(\beta) + A_{SHX} \sin(\beta)$$

$$A_{SVY} = A_{SVY} \cos(\beta) + A_{SHY} \sin(\beta),$$

$$A_{SVZ} = A_{SVZ} \cos(\beta) + A_{SHZ} \sin(\beta)$$

где A – амплитуда (нижний индекс указывает направленность возбуждения и компоненту приема), β - угол поворота по часовой стрелке на соответствующий азимут;

для приема

$$A_x = A_x \cos \alpha + A_y \sin \alpha$$

$$A_y = A_x \sin \alpha + A_y \cos \alpha,$$

где A – амплитуда (нижний индекс указывает компоненту приема), α - угол поворота по часовой стрелке на соответствующий азимут.

Оценка априорных статических поправок для продольных волн особых трудностей не вызвала. Коррекция статических и кинематических поправок для них проводилась в несколько этапов, которые включали в себя устранение остаточного фона волн-помех и случайного шума, а также повышение когерентности сейсмозаписи по суммарным разрезам.

Попытка ввести априорные статические поправки для поперечных волн по закону $\Delta t_s = \Delta t_p / \gamma_{\text{const}}$ не принесла желаемого результата. Напомним, что для обменных волн эти поправки

вводятся в ПП. По данным обращенного МСК были рассчитаны интервальные и средние скорости V_p и V_s для ВЧР. При этом зачительной анизотропии в интервале до линии приведения (100м) для большей части профилей обнаружено не было (скорости поперечных волн, рассчитанные по x и y компонентам, совпадали). Зависимость средней скорости от альтитуды была аппроксимирована степенной функцией, на основе которой была построена карта средних скоростей волн соответствующего типа для ВЧР по площади работ и пересчитана в карту статических поправок по S волнам до линии приведения. Эти поправки и были приняты в качестве априорных. Для профилей, на которых использовались вибрационные источники с управляемой направленностью, оказалось возможным на сейсмограммах ОТВ с достаточной степенью точности прокоррелировать в первых вступлениях (при возбуждении с направленностью SH на компоненте регистрации « y ») преломленную SSS волну (рис.2). Это позволило по системе уравнений регрессии составить скоростную модель ВЧР по S волнам и рассчитать статические поправки. В дальнейшем статические поправки корректировались вручную в программе ISA3mp. Данная программа предусматривает получение поверхностно-согласованных разрезов в различных диапазонах удалений, сопоставление их по поверхностным и глубинным позициям и интерактивный учет аномалий, вызванных неоднородностями ВЧР. Величины окон для расчета операторов обратного фильтра и коррекции статических поправок при обработке S и PS волн были увеличены в соответствии с их динамическими и кинематическими особенностями. Результаты коррекции статических поправок для волн разных типов приведены на рис. 3.

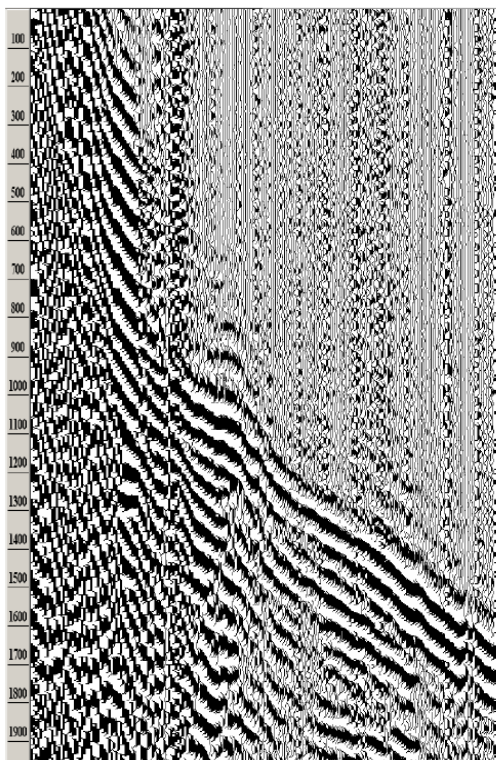


Рис.2 Сейсмограмма ОТВ при возбуждении SH и приеме Y .

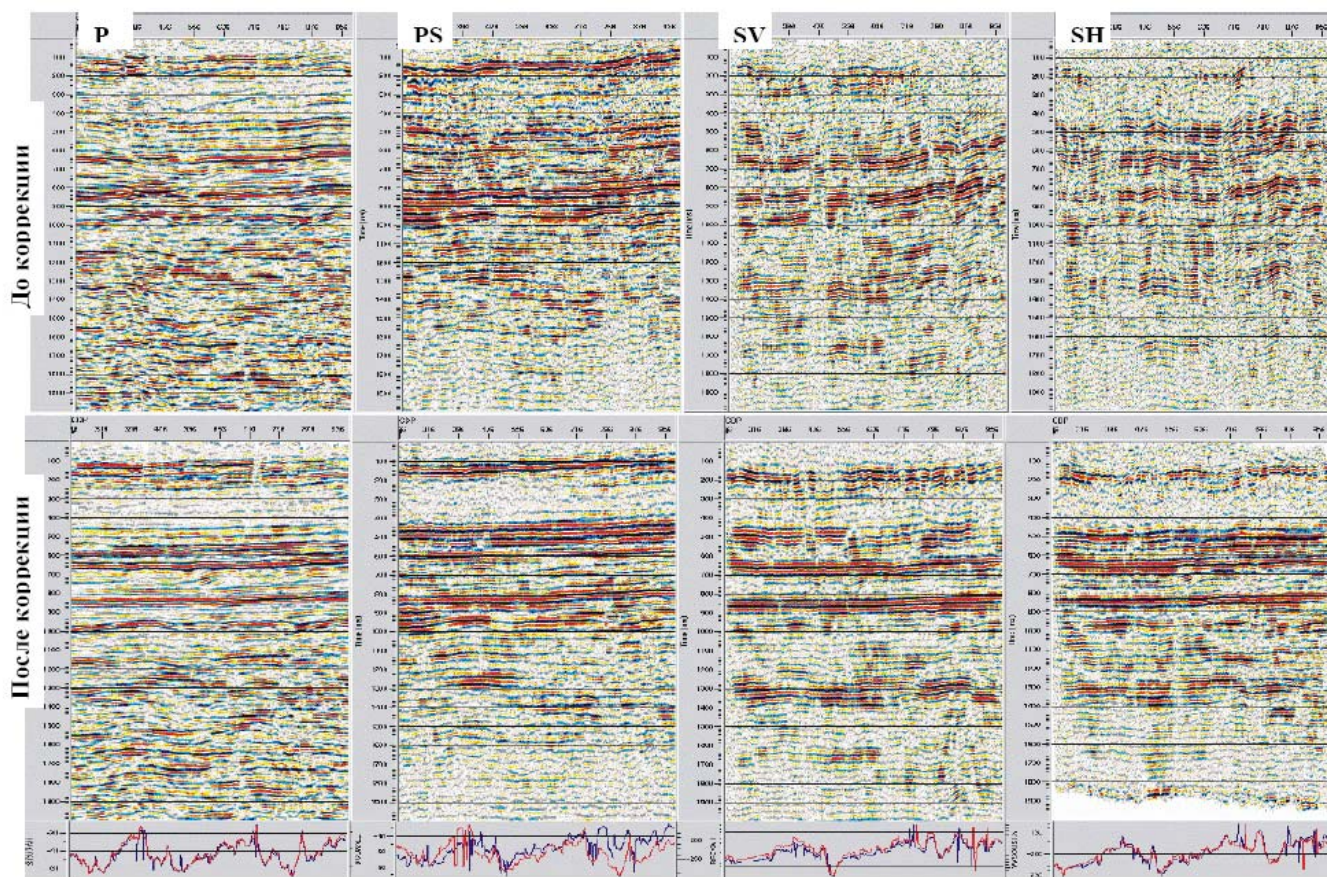


Рис.3 Результат коррекции статических поправок по волнам разных типов. Времена приведены к продольным волнам.

Несимметричность годографа PS волн учитывалась путем подборки трасс по CCP (Common Conversion Point) – общей точке обмена. Для нахождения положения точек обмена осуществлялось асимптотическое бинирование. Параметром такого бинирования является величина отношения скоростей распространения в среде продольной и поперечной волн.

В остальном граф обработки мало отличался от стандартного с учетом специфики состава помех для каждого типа волн и их частотного состава. Поскольку отношение сигнал/помеха при записи обменных волн было ниже по сравнению с волнами PP, в граф их обработки было дополнительно включено подавление волн-помех посредством преобразования Радона и фильтрации в τ -р области. Для временных разрезов было выполнено устранение остаточного фона волн-помех и случайного шума, а также повышение когерентности сейсмозаписи (f -х деконволюция). Обработка проводилась с сохранением истинных амплитуд. На последнем этапе обработки применялась процедура миграции временного разреза способом фазового сдвига.

Десятикомпонентное волновое поле, полученное в результате обработки по одному из профилей, представлено на рис. 4. Отмечается достаточно хорошая сопоставимость структурного плана по основным горизонтам для волн разного типа. С другой стороны, видны отличия в отдельных деталях отображения более мелкомасштабных объектов, связанные с различной дифференциацией по акустическим жесткостям для волн P и S и их частотным составом.

Представляют определенный интерес компоненты SVZ и SHZ. Для них волны SV и SH, возбуждаемые направленным источником в направлении «X» и «Y» соответственно, претерпевают обмен в ВЧР, и дальше распространяются, как Р. Причем, наличие таких волн на SHZ свидетельствует об азимутальной анизотропии ВЧР для соответствующей части профиля. Отметим также наличие значимых побочных (SVY, SHx и PSVy) компонент у волн соответствующего типа для отдельных участков разреза, что также является признаком азимутальной анизотропии и возможной субвертикальной трещиноватости.

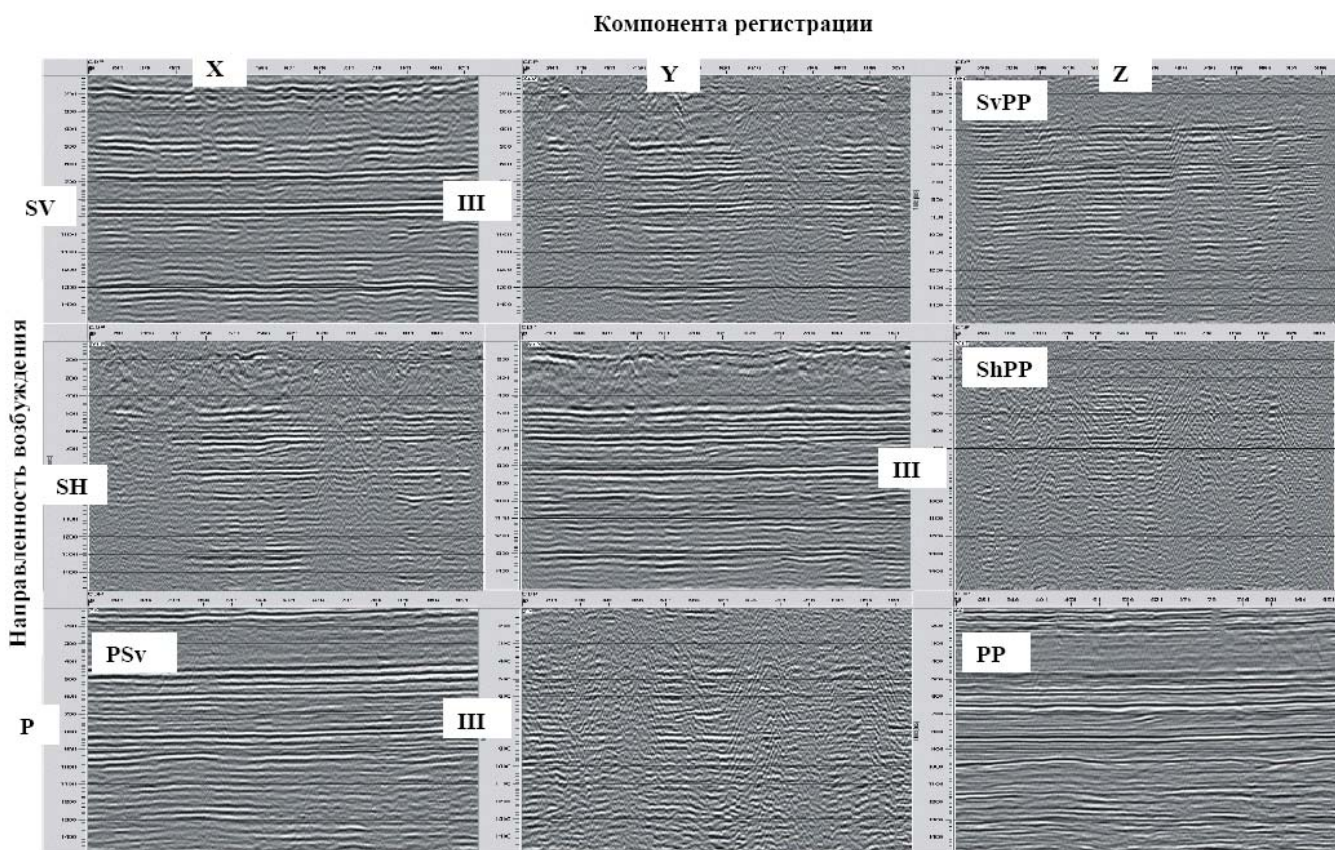


Рис. 4 Временные разрезы по ПР15 МВС. Времена приведены к продольным волнам.

Возможности кинематической и динамической интерпретации данных МВС

Основу интерпретации комплекса волн разных типов составляет отождествление их одноименным геологическим объектам. В описываемых работах это осуществлялось путем использования скважинных данных (ГИС и ВСП) с учетом знака изменения акустической жесткости отражающих границ с привлечением структурно-формационного подхода [3]. Глубинная и стратиграфическая привязка отраженных волн, регистрируемых в наземной сейсморазведке, проведена по данным МВС-ВСП и АК для продольных волн. Для отраженных волн соответствующего типа были получены трассы однократных отражений, а для продольных волн еще и синтетическая трасса в виде свертки коэффициентов отражения с импульсом проходящей продольной волны. Знак фазы отраженной волны соответствующего типа

анализировался и выбирался в соответствии со знаком изменения акустической жесткости. Поскольку при МВС-ВСП использовался ненаправленный источник упругих колебаний (СВ-5-150), для привязки монотипных отраженных поперечных волн использовались трассы однократных отражений волн типа PSS, пересекающих в качестве продольных только верхнюю (до Н~200м) часть разреза, а далее распространяющихся, как волны S. Результат миграции сейсмограмм ВСП для волн соответствующего типа во временной области сопоставлялся с сейсмограммами ВСП для отраженных волн с введенной кинематикой (с выведением на вертикаль) и временными разрезами. Результат взаимоувязки волн разных типов по глубине (вертикальный масштаб) и по времени (горизонтальный масштаб) приведен на рис. 5-6.

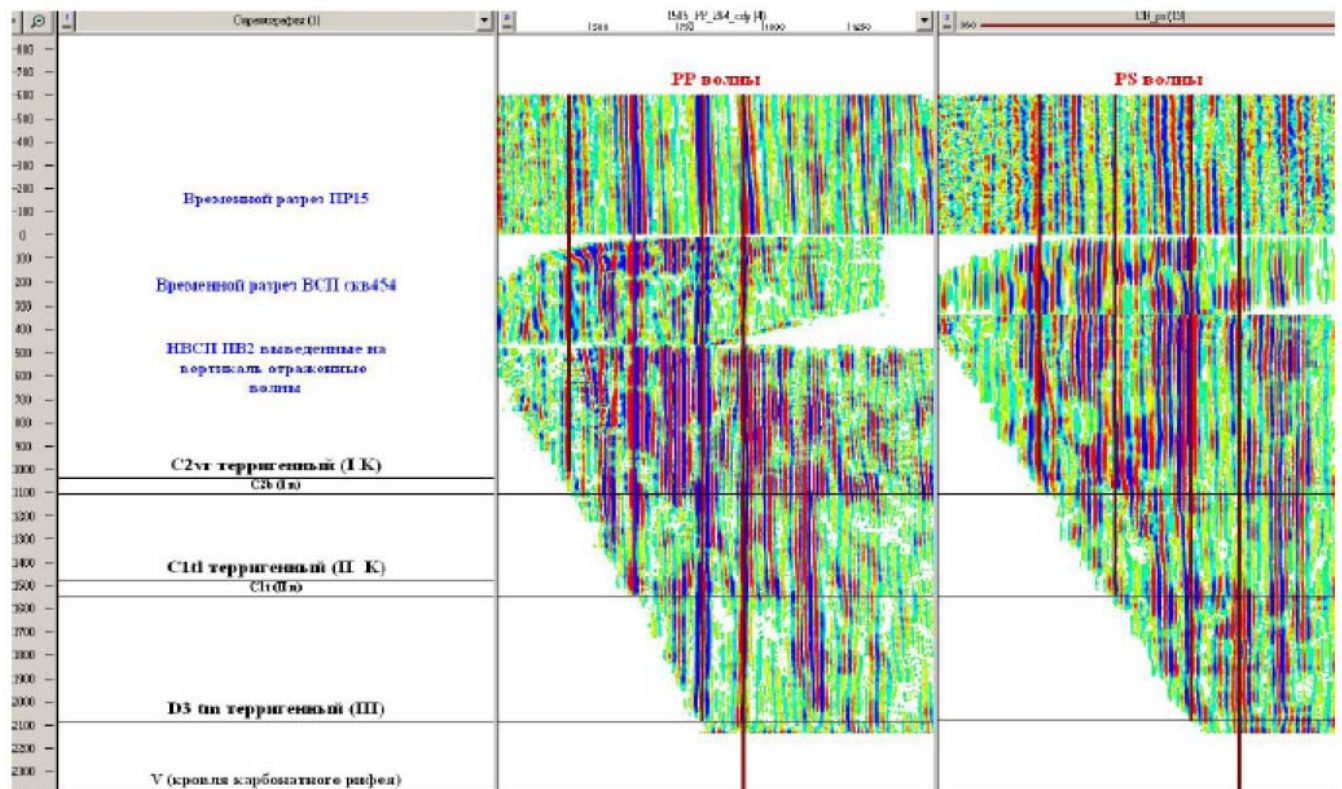


Рис. 5 Результат взаимоувязки скважинных и наземных данных МВС.

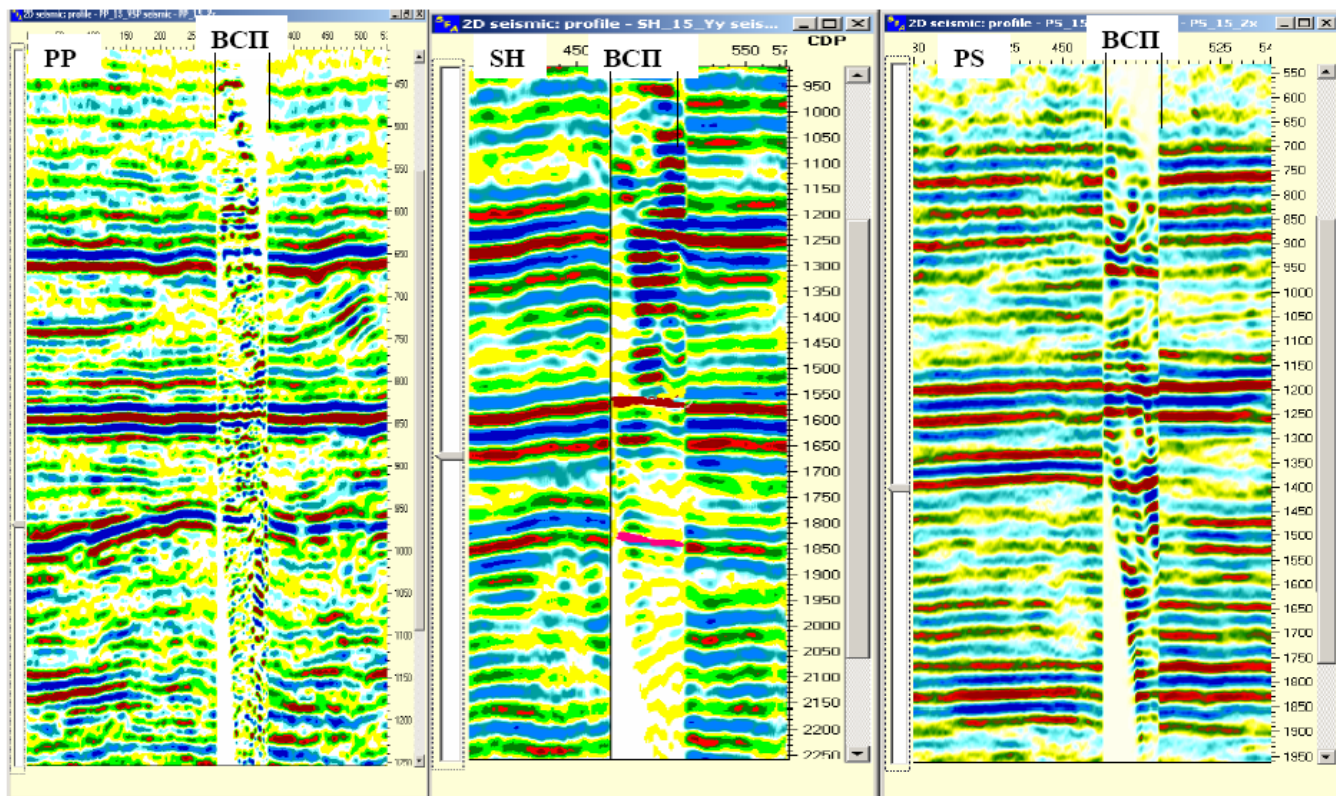


Рис. 6 Сопоставление временных разрезов ОГТ (ООТ) с временными разрезами ВСП для волн разных типов.

По результатам отождествления и стратиграфической привязки данных МВС-ВСП и взаимоувязки их с наземными данными МВС была получена структурная модель разреза по волнам разных типов. На первом этапе эта модель была толстослойной, что в значительной степени «загрубляло» оценки параметров волн разных типов для целевых объектов. Дело в том, что мощность по глубине между реперными отражениями, для которых рассчитываются интервальные параметры γ_t и γ_v , составляет минимум 50-100 метров. Мощность же объектов, для которых необходимо оценить петрофизические параметры, часто не превышает первые десятки метров.

Дальнейший переход к дифференциации разреза на более детальные объекты осуществлялся на основе аппарата спектрально-временного анализа (СВАН) в рамках интерпретационного пакета структурно-формационного анализа (СФА). При этом проводится предварительное детальное расчленение сейсмических разрезов увязанных между собой волн разных типов с выявлением объектов разного ранга и масштаба, формирующих разрезы геологических тел. Сопоставление трасс для разных типов волн осуществлялось в различных интервалах путем трансформации (растяжение, сжатие) трассы выбранного типа волны и расчета ФВК между трассами разных типов волн. При этом коэффициент трансформации (т.е. фактически γ) оценивается по изменению связанной трассы псевдоакустики: растяжение соответствует уменьшению скорости, сжатие – увеличению. Определение соответствующих локальных

интервалов для сопоставления и оценки коэффициентов трансформации выбиралось в пределах одноранговых тел и корректировалось по СВАНам для волн разных типов (тем самым осуществляется контроль по частотным рангам и выравниванию длин волн разных типов). Следует признать, что в настоящее время пакет СФА не предназначен для интерпретации данных МВС, поэтому пока приходится использовать столь трудоемкий путь для динамической интерпретации данных МВС.

Описанный выше подход позволил более корректно оценить соотношения параметров волн PP, SV, SH, PSV в рамках одноименных геологических циклов. По соотношению атрибутов волн разных типов выведены разведочные и прогнозные критерии выделения участков нефтенасыщения. В частности, соотношения временных мощностей (γ_t) и амплитудных параметров (γ_A) волн разных типов для выделенного маломощного (~ 20-30 м) интервала терригенного девона позволили дать прогноз перехода от глинистых (ариллиты) к песчаным фациям (рис. 7). Полученный результат хорошо коррелируется с данными по продуктивности имеющихся скважин и может служить разведочным критерием при продолжении поиска подобного рода объектов в данном типе разреза.

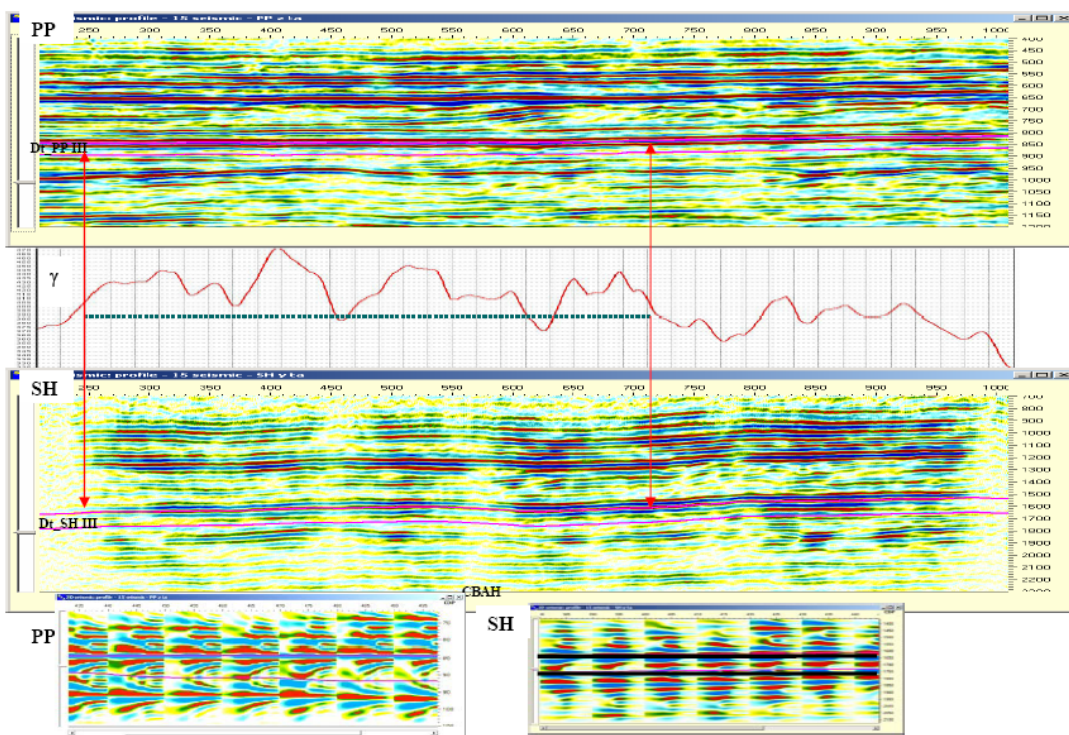


Рис. 7 Интерпретация данных МВС в рамках тонкослоистого разреза. Зона повышенных значений γ для терригенного девона соответствует нефтенасыщенным песчаникам на фоне вмещающих ариллитов.

Прогноз участков разуплотненных, возможно трещиноватых, доломитов рифейского возраста базировался на анализе соотношений временных мощностей (γ_t), амплитудных (γ_A), частотных (γ_F) параметров и поляризации поперечных волн, сгенерированных источниками

разной направленности. Учет азимутальной анизотропии в покрывающих целевой интервал частях разреза позволил сделать вывод о том, что в частях разреза рифейского комплекса, для которых проводилась обработка, отсутствует упорядоченная по направленности вертикальная трещиноватость. Тем не менее, присутствие аномальных зон для разрезов мгновенных амплитуд и фаз свидетельствует о возможном наличии разуплотненных зон с хаотическим распределением ориентации трещин. Отсутствие достоверных скважинных данных для этого интервала разреза позволяет делать прогноз, опираясь лишь на физические предпосылки обнаружения зон разуплотнения. Поскольку поперечные волны более резко реагируют на включения типа трещин, мы предполагаем, что зоны пониженных значений мгновенных амплитуд для поперечных волн должны увязываться с подобными объектами. Для этих зон также характерны пониженные значения мгновенных частот и коэффициента Пуассона.

В дальнейшем мы планируем дополнить интерпретацию этих данных в рамках AVO анализа по волнам разных типов и обработку в пакете Hampson-Russel (PRO-MS). Надеемся, что анализ полученных результатов позволит оптимизировать и дополнить граф интерпретации многоволновых данных, который в настоящее время находится в стадии разработки.

Выводы.

Проведенные исследования показали высокую эффективность МВС в освещении всего осадочного комплекса, характерного для южной части Русской платформы. Это позволило оценить независимые упругие параметры для целевых интервалов и разработать разведочные критерии обнаружения зон возможного накопления УВ для еще слабо изученных частей разреза, с которыми могут быть связаны значительные перспективы обнаружения новых залежей нефти и газа.

Использование направленных источников TRI-AX показало их достаточную эффективность и позволило получить качественные разрезы на волнах SH и SV, а также дополнительную информацию о скоростях S волн в ВЧР, и исследовать азимутально-анизотропные объекты при работах 2D. Ограниченный температурный диапазон работы и высокая стоимость не позволяют использовать данные источники повсеместно и при больших объемах работ.

Физико-геологическая обоснованность и техническое оснащение технологии скважинно-наземной многоволновой сейсморазведки (МВС) позволяют в настоящее время повышать достоверность прогноза при решении разведочных задач на нефть и газ. При этом особого внимания требует совершенствование технологии обработки и интерпретации данных МВС.

Авторы выражают глубокую признательность всем сотрудникам ООО «Пермнефтегеофизика» и GDS, принимавшим участие в данной работе, за плодотворное сотрудничество и предоставление необходимых данных.

Литература

1. Бевзенко Ю.П. Долгих Ю.Н. Применение многоуровневой сейсморазведки для изучения и учета влияния ВЧР. Тезисы конференции Геомодель 2004.
2. Кузнецов В. М., Жуков А.П., Шнеерсон М.Б. Введение в сейсмическую анизотропию: теория и практика. Библиотека журнала «Технологии сейсморазведки» М.2006.
3. Мушин И.А., Бродов Л.Ю., Козлов Е.А. и др., Структурно-формационная интерпретация сейсмических данных. Москва, Недра, 1990.
4. Сейсмическая разведка методом поперечных и обменных волн/ Пузырев Н.Н., Тригубов А.В., Бродов Л.Ю. и др.-М.: Недра, 1985.-277с.
5. Г. А. Шехтман, В. М. Кузнецов (ГФУП ВНИИГеофизика, МОСКВА), А.П.Жуков, И.П.Коротков, А.В.Бурлаков (ГСД, МОСКВА), Расширение типов и классов волн, используемых в сейсморазведке: предпосылки и результаты. Технологии сейсморазведки» №2, 2006.
6. Heloise Lynn, Simon Spitz, Pau 2005 - August 2006, The Leading Edge, pp 951-953.
7. Т. В. Нефедкина, В. В. Бузлуков. Определение упругих параметров среды по данным многоволнового AVO -анализа" "Геология и геофизика", 2002, Т. 43, №4, С. 382-394.
8. Бузлуков В.В., Нефедкина Т.В., Волков Г.В. Многоволновой AVO-анализ в тонкослоистых средах Технологии сейсморазведки. № 1. 2005. С. 16-23.