

Скважинная сейсморазведка: эффективность, технологии и возможности

SEISMIC PROSPECTING OF WELLS: EFFICIENCY, TECHNOLOGIES AND POSSIBILITIES

D. IRKABAEV, V. LENSKY, A. ADIEV, «Geostra» SPC LLC, «Bashneftegeofizika» JSC

For exploitation and prospecting drilling «Bashneftegeofizika» Company proposes seismic prospecting of wells – (in study of bowels one of the most perspective) detailed and precise instrument of environment study and decreasing of drilling risks.

Keywords: «Geostra» SPC LLC, «Bashneftegeofizika» JSC, seismic prospecting of wells, CDP, «SlimWave» seismic apparatus

Д.Р. ИРКАБАЕВ,
начальник отдела скважинной сейсморазведки
irkabaev@bngf.ru

В.А. ЛЕНСКИЙ,
д.г.-м.н., главный геолог отдела скважинной сейсморазведки

А.А. АДIEВ,
к.т.н, директор

ООО НПЦ «Геостра»
ОАО «Башнефтегеофизика»

Компания «Башнефтегеофизика» предлагает для эксплуатационного и разведочного бурения один из самых перспективных в области изучения недр, оперативный, детальный и точный инструмент изучения среды и снижения рисков бурения – скважинную сейсморазведку.

В связи со вступлением большинства крупных нефтяных месторождений России в позднюю стадию эксплуатации прирост запасов и добычи обеспечивается преимущественно на флангах и за счет небольших месторождений, имеющих сложное геологическое строение и малую высоту нефтенасыщения. В этих условиях в дополнение к наземной сейсморазведке с целью обеспечения эксплуатационного и разведочного бурения более оперативным, детальным и точным инструментом изучения среды и снижения рисков бурения компанией «Башнефтегеофизика» предлагается применение скважинной сейсморазведки, одного из самых перспективных направлений в области изучения недр.

Основной задачей вертикального сейсмического профилирования (ВСП) и непродольного ВСП (НВСП) является уточнение геологического строения околоскважинного пространства эксплуатационных и разведочных скважин для проектирования новых эксплуатационных скважин. Решаемыми геологическими задачами также являются: выявление тектонических нарушений, прогноз развития и оценка коллекторов в околоскважинном пространстве, выявление и оценка ориентированной трещиноватости, рекомендации по последующему бурению. При благоприятных условиях может быть

выполнен прогноз геологического разреза, зон аномально высокого пластового давления (АВПД) и рапоопасных зон под забоем скважин. Одновременно решаются и задачи сейсмических наблюдений в скважинах, необходимые для успешной обработки данных наземной сейсморазведки (МОГТ-2Д,-3Д). Обработка и интерпретация скважинных сейсморазведочных данных выполняются как в собственном программном продукте «GeoSeis Pro», так и в широко известных «Geocluster», «Landmark» (CGG Veritas), Tesseract Pro (Tesseract Technologies Inc.), «VSP-POL» (ВНИИГИС).

Примеры решения широкого круга задач на основе исследований методом скважинной сейсморазведки приводятся в данной статье.

На сегодняшний день основным методом скважинной сейсморазведки в России является НВСП. На рис. 1 приведен пример структурных построений по кровле пласта нефтенасыщенного песчаника воробьевского горизонта, построенных только по данным МОГТ-3Д с опорой на две скважины (1 и 2) и по данным многолучевого НВСП в трех скважинах (1, 2 и 3). С учетом сложного сейсмогеологического строения района исследований по данным МОГТ заказчиком принято решение о дополнении комплекса геофизических работ методом НВСП. В итоге

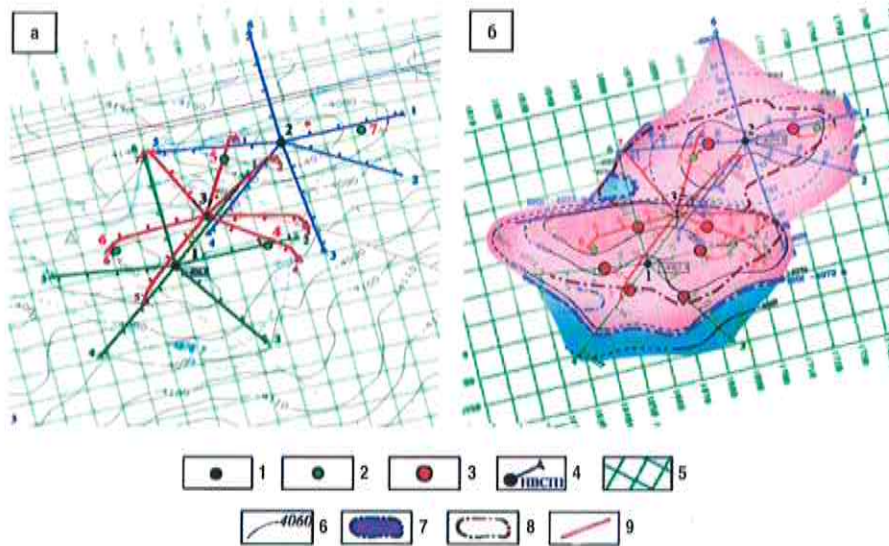


Рис. 1. Структурная карта по кровле пласта-коллектора воробьевского горизонта, по данным МОГТ-ЗД (а) и НВСП (б)

1 – пробуренные скважины; 2 – проектные эксплуатационные скважины; 3 – скважины, рекомендуемые по НВСП; 4 – профили НВСП; 5 – сеть наблюдений МОГТ-ЗД; 6 – изогипсы кровли пласта; 7 – положение ВНК по НВСП; 8 – первоначальное положение ВНК; 9 – тектонические нарушения

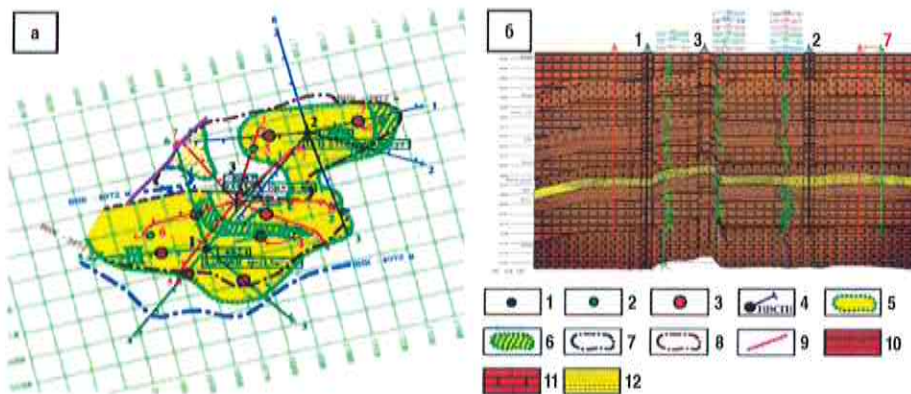


Рис. 2. Распространение пласта-коллектора воробьевского горизонта (а) и сейсмогеологический разрез через скважины №№325, 4227 и 329 (б), по данным НВСП

1 – пробуренные скважины; 2 – проектные эксплуатационные скважины; 3 – скважины, рекомендуемые по НВСП; 4 – профили НВСП; 5 – распространение нефтенасыщенного коллектора по НВСП; 6 – участки ухудшения свойств коллектора; 7 – положение ВНК по НВСП; 8 – первоначальное положение ВНК; 9 – тектонические нарушения; 10 – терригенные породы; 11 – известняки и доломиты; 12 – пласт нефтенасыщенного песчаника воробьевского горизонта

среднее расхождение структурных построений с результатами последующего бурения составило 3,5 м. Работы НВСП позволили увеличить точность структурных построений практически в 5 раз.

Прогноз развития и оценка коллекторов в скважинной сейсморазведке выполняются по результатам динамического анализа отражений на основе моделирования по данным ГИС, либо по результатам расчета разрезов акустических импедансов [2]. По материалам НВСП на рассматриваемом месторождении уточнены контуры нефтенасыщенного пласта песчаников, выполнена оценка изменения его свойств и рекомендовано сместить проектные скважины 4 и 5 в участки с более благоприятными коллекторскими характеристиками (рис. 2).

Рекомендации не были приняты во внимание, в результате скважина 5, которая, по данным НВСП, расположена в краевой части нефтяной залежи, проработала четыре месяца и обводнилась. В скважине 4, по данным НВСП, расположенной на участке коллектора с неблагоприятными свойствами, коллектор оказался водонасыщенным, несмотря на высокую гипсометрическую отметку кровли. Скважина 6, по данным НВСП, расположенная на участке хороших коллекторов в области купола поднятия, успешно работает уже не один год.

Важнейшим свойством резервуаров является трещиноватость. Скважинная сейсморазведка представляет уникальную возможность для выявления и оценки субвертикальной ориентированной трещиноватости по расщеплению поперечной волны [1]. При использовании традиционных источников возбуждения продольных волн анализируются обменные волны [2]. Для успешного решения задачи и уменьшения влияния квазианизотропии, вызванной слоистостью осадочных пород, системы наблюдений должны удовлетворять определенным требованиям. Так, на одном из месторождений Западной Сибири, по данным трехлучевого НВСП, в интервале развития пласта ЮС1 установлено наличие ориентированной трещиноватости с азимутом

325° и выполнена оценка трещинной пористости ($K_{п\text{тр}} = 0,0006$) [2]. Полученные результаты подтверждаются керновым материалом. На основании полученных данных с целью повышения нефтедобычи рекомендовано бурение двух горизонтальных стволов ортогонально направлению трещиноватости.

Применение скважинной сейсморазведки с целью интерпретационного сопровождения обработки сейсмических данных МОГТ, наряду с решением традиционных задач стратиграфической привязки отражений и определения скоростной характеристики разреза в точках скважин, позволяет решить ряд не менее важных для обработки задач:

– анализ затухания и оценку неупругого поглощения (параметр добротности Q);

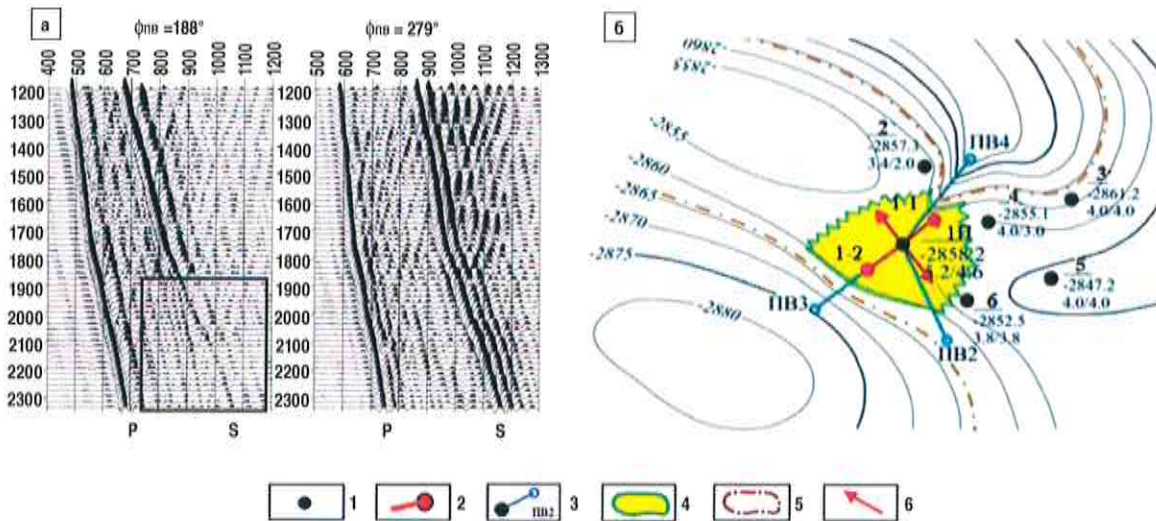


Рис. 3. Затухание S-волны в трещиноватом интервале (а) и структурный план по пласту ЮС1 с учетом данных НВСП (б)

1 – пробуренные скважины; 2 – горизонтальные скважины, рекомендуемые по НВСП; 3 – профили НВСП; 4 – распространение нефтенасыщенного коллектора по НВСП; 5 – положение ВНК; 6 – направление трещиноватости

- определение основных границ образования кратных и частично кратных волн, а при НВСП и обменных волн;
- оценку истинной фазы данных сейсморазведки;
- характер изменения средней скорости по исследуемой площади;
- оценку точности скорости суммирования (среднеквадратичной скорости V_{RMS});
- выявление ошибок расчета длиннопериодных статических поправок и их причин по различию временного сдвига трасс МОГТ и ВСП в разных скважинах;
- при многолучевом НВСП оценку квазианизотропии скорости, вызванную тонкослоистостью осадочных толщ.

Решение перечисленных задач иллюстрируется на примере данных ВСП по 10 скважинам на площади работ МОГТ-ЗД, расположенной в акватории Каспийского моря. Вскрытая скважинами часть разреза представлена (сверху вниз) терригенными отложениями кайнозоя, преимущественно карбонатными отложениями верхнего мела, преимущественно терригенными отложениями нижнего мела, содержащими газо- и нефтенасыщенные пласты, преимущественно карбонатными отложениями верхней юры и терригенными отложениями средней и нижней юры.

Анализ затухания в ВСП выполняется по первым наиболее интенсивным фазам продольной проходящей волны, в меньшей степени искаженным вторичными волнами. Регулярными причинами затухания амплитуды проходящей волны являются геометрическое расхождение фронта, функция прохождения (суммарное влияние потерь на образование отражений и подпитки кратными падающими волнами) и неупругое поглощение. Пример расчета параметра Q для одной из скважин приведен на рис. 4, наблюдается значительное уменьшение параметра в интервале, содержащем газонасыщенные коллекторы. В остальной части среднее по всем скважинам значение параметра Q близко к 70, это значение рекомендовано для учета при обработке сейсмических данных МОГТ.

Анализ образования кратных и частично кратных волн выполняется по сейсмограммам ВСП до разделения волнового поля на падающие и восходящие волны. Основными границами образования кратных волн в рассматриваемом примере являются подошва терригенных отложений кайнозоя, резкая сейсмическая граница в верхней части разреза (на глубине около 200 м) и дневная поверхность (рис. 5).

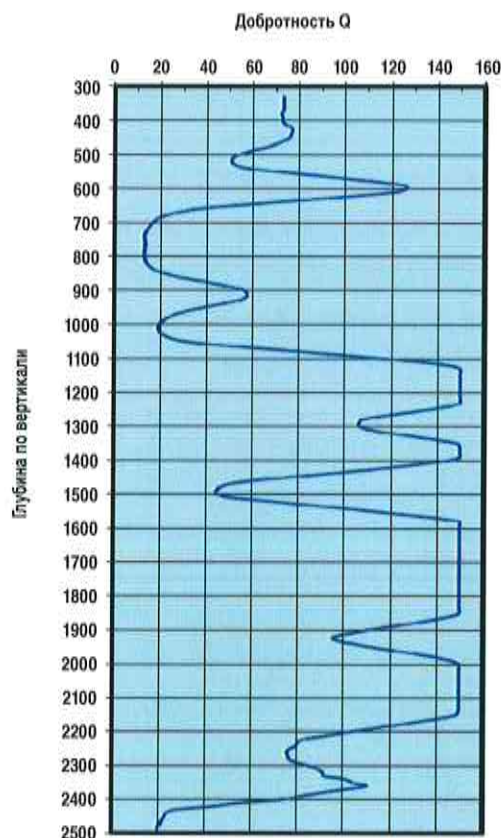


Рис. 4. График параметра Q

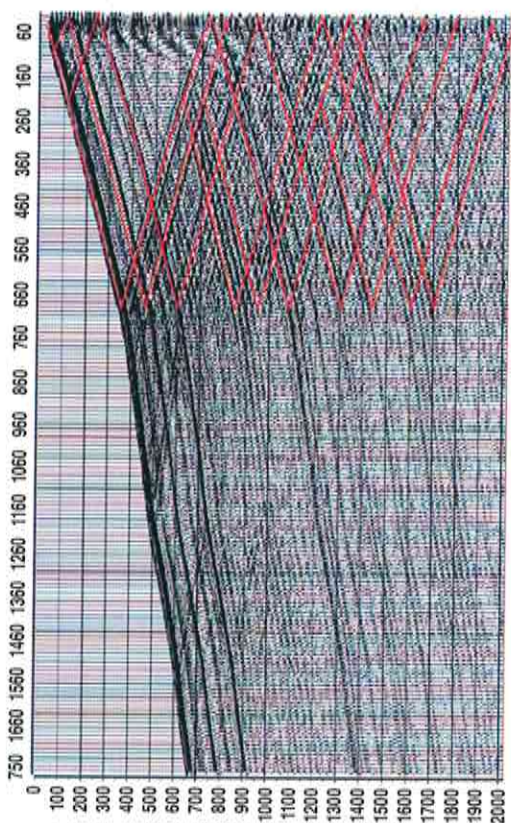


Рис. 5. Кратные и частично-кратные волны

Характер изменения скорости по исследуемой площади может быть оценен при сопоставлении данных ВСП в нескольких скважинах. На рис. 6 сопоставлены средние скорости продольных волн от уровня моря, по данным ВСП. Средние скорости увеличиваются в направлении с запада на восток и в северном направлении. В целом графики средней скорости носят почти параллельный характер с изменением наклона при смене терригенных толщ пород на карбонатные. Различие скоростей достигает 10% и более. Оно вызвано преимущественно изменением строения высокоскоростного слоя в самой верхней части разреза (на времени до 100 мс), заметное влияние оказывает также изменение строения преимущественно карбонатной толщи верхнего мела. Такое неоднородное строение отложений и их скоростных характеристик, несомненно, должно сказаться на точности структурных построений даже при плотной сети пунктов определения скоростной модели при обработке сейсмических данных МОГТ.

При многолучевом НВСП анализ лучевых скоростей позволяет оценить квазианизотропию скорости, вызванную тонкослоистостью осадочных толщ. Лучевые скорости предварительно приведены к уровню источника колебаний продольного ВСП путем введения в годограф первых вступлений поправки за рельеф (рис. 7). Поскольку лучевые скорости зависят от удаления источника, для корректного решения задачи различие удалений источника должно быть небольшим. Анализ представленных графиков скоростей указывает на наличие анизотропии, вызванной тонкослоистостью среды. Учет квазианизотропии скорости существенно влияет на эффективность суммирования данных МОГТ-ЗД.

Дифракционная составляющая данных ВСП привлекает большое внимание в течение последних нескольких лет, как в России, так и за рубежом. Вертикальное сейсмическое профилирование имеет большой потенциал для выделения неоднородностей среды с помощью сейсмической дифракции. С начала 2014 г. ОАО «Башнефтегеофизика» тесно сотрудничает в области изучения дифракционных волн с ведущими специалистами Техасского университета.

Анализ дифракции для трехкомпонентных данных ВСП, полученных в интервале сортымской свиты в Западной Сибири, позволяет произвести интерпретацию дифракционных изображений, сочетая их с разрезами мгновенных частот и амплитуд.

В геологическом плане интересующий интервал, по данным керна, состоит из терригенных отложений, которые типичны для Западной Сибири. Продуктивная часть отложений состоит из переслаивающихся песчаников и аргиллитов с характерной латеральной неоднородностью вплоть до полного выклинивания пластов.

Глубинный разрез, дифракционное изображение, разрезы мгновенных частот и амплитуд по P-SV компоненте представлены на рис. 8. Атрибуты подтверждают сложное строение околоскважинного пространства. Выделен ряд дифракторов, характеризующихся разными свойствами, на полученных материалах. Так, например, субвертикальные объекты (2,4 – 2,7 км), слабо дифференцированные на глубинном разрезе, выделяются пониженными значениями на разрезе мгновенных амплитуд, отсутствием аномалий на разрезе мгновенных частот и откликами на изображении дифракции. Предполагается, что подобные свойства могут проявлять субвертикальные трещиноватые коридоры, косвенным подтверждением, которых служит обнаруженная ориентированная трещиноватость в интервале продуктивных объектов баженовской свиты (2,8 – 2,9 км). Основная же часть объектов-дифракторов, на наш взгляд, связана с локальными неоднородностями среды.

Дополнительным преимуществом скважинной сейсморазведки является регистрация поперечных волн, которые более чувствительны к небольшим геологическим особенностям. На данном этапе исследований радиальная компонента P-SV оказалась лучшей для выделения кластеров трещин [3].

Несомненно, анализ дифракции является дополнительным инструментом к изучению околоскважинного пространства. И, в свою очередь, обеспечивает альтернативный вариант интерпретации данных скважинной сейсморазведки. Согласованность между атрибутами и дифракцией может быть ценной в сложных случаях. В то же время разногласие между двумя подходами может стимулировать интерпретатора проводить дальнейшее расследование и тем самым предотвратить возможные ошибки. Кроме того, дифракционные изображения могут подчеркнуть некоторые особенности, малозаметные при стандартной обработке и интерпретации.

ОАО «Башнефтегеофизика» является пионером внедрения в России инновационных приборов, методик и технологий. Мы первыми приступили к примене-

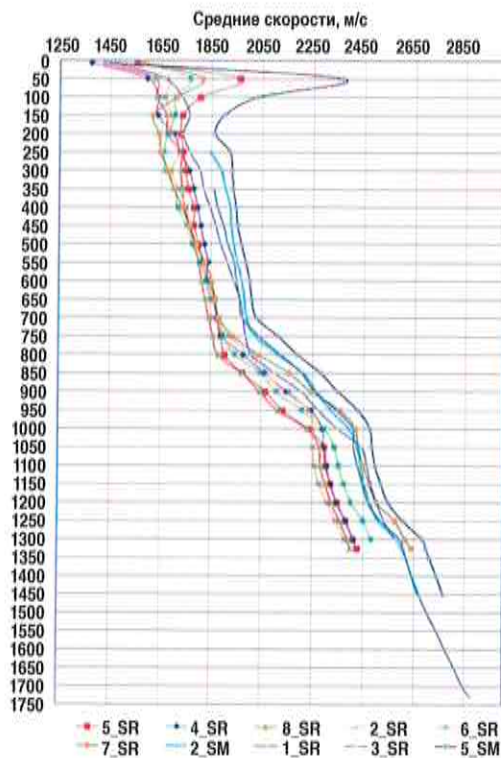


Рис. 6. Графики средней скорости продольных волн от уровня моря в масштабе времени

нию таких технологий, как «Flip flop» и «Slip sweep» при производстве наземных полевых сейсморазведочных работ. Оперативность работ методом скважинной сейсморазведки не вызывает сомнений, однако не секрет, что в современных рыночных условиях нефтегазовые компании стремятся к максимальному снижению потерь по нефти и времени задалживания скважин, к увеличению плотности использования бригад капитального и подземного

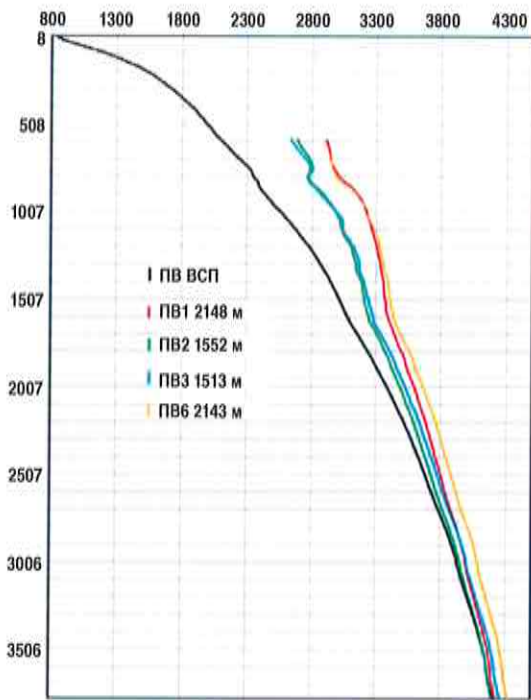


Рис. 7. Сравнение скоростей продольных волн в разных направлениях ВСП, НВСП

ремонта скважин (КРС и ПРС), при общем соблюдении условий безопасности, экологических и технологических норм при проведении геофизических работ. Проанализировав сложившуюся ситуацию в скважинной сейсморазведке, тенденции и дальнейшие перспективы развития метода, специалисты ОАО «Башнефтегеофизика» приняли решение о переходе на новый качественный уровень развития ВСП. Благодаря многолетнему огромному опыту проведения

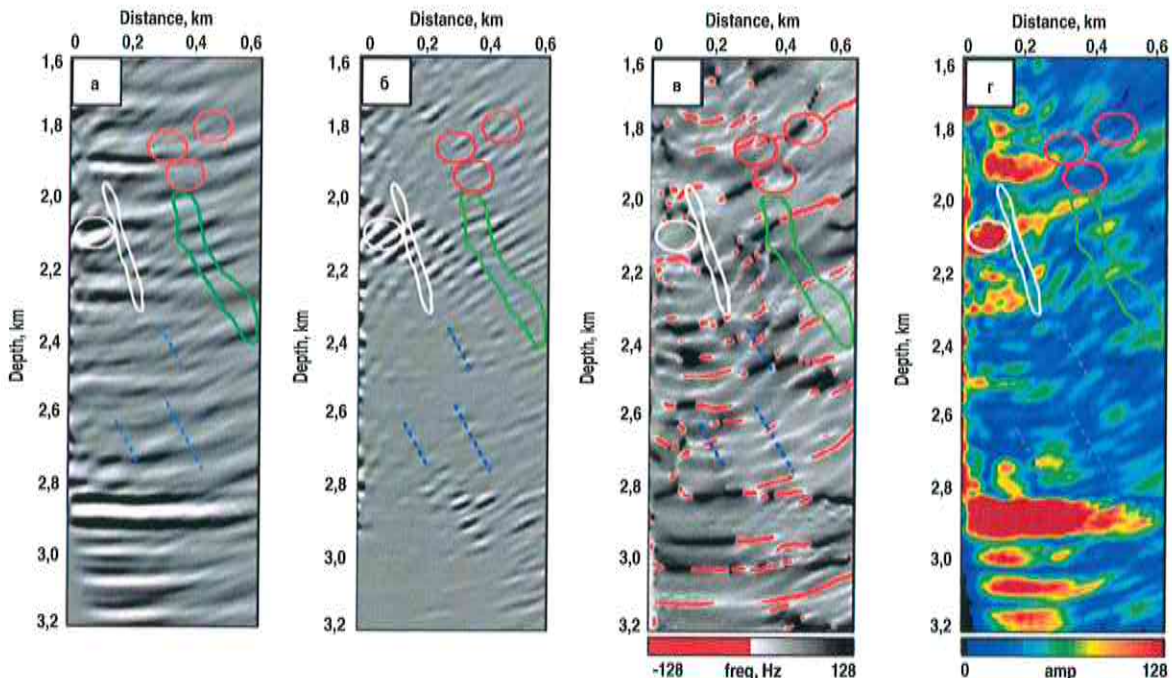


Рис. 8. Глубинный разрез (а), изображение дифракции (б), разрез мгновенной частоты (в), разрез мгновенной амплитуды (г) для P-SV компоненты



Рис. 9. Внешний вид аппаратного комплекса «SlimWave»

скважинной сейсморазведки нам удалось достаточно объективно подойти к выбору поставщиков оборудования, удовлетворяющего самым современным требованиям. Результатом анализа предложений ключевых производителей в области геофизического приборостроения стало соглашение с компанией Sercel (Франция), признанным мировым лидером по производству сейсмического оборудования, на поставку многоточечной трехкомпонентной скважинной сейсмической аппаратуры «SlimWave».

Данный комплекс характеризуется высокой производительностью – до 24 модулей в комплексе и скоростью передачи данных до 4000 кбит/с; надежностью – каждый комплект проходит испытания в скважине глубиной 3000 м при температуре 105 °С. Благодаря описанным преимуществам эффективность производства полевых работ увеличивается в 1,5 – 2 раза по сравнению со стандартной 3-модульной аппаратурой. Дополнительно «SlimWave» имеет возможность подключения модулей гамма-каротажа, локатора муфт. Датчик сжатия/натяжения и специальная муфта, позволяющие при потере питания безопасно извлечь приборы из скважины, обеспечивают предотвращение аварийных ситуаций. Немаловажным фактором выбора продукции компании «Sercel» является применение безопасных для человека и окружающей среды материалов в составе комплекса, соответствующих европейской директиве RoHS. Аппаратурный комплекс «SlimWave» также приспособлен для работы в осложненных условиях ствола скважины: диаметр прибора 43 мм, масса единичного модуля 6,5 кг (рис. 9), имеется дополнительная возможность работы на тракторе. Помимо стандартных задач ВСП приспособлен к регистрации микросейсмических проявлений, анализа гидравлического разрыва пласта и его мониторинга.

Заключение

1. Анализ результатов бурения, по данным НВСП, более 500 скважин убедительно показывает, что

скважинная сейсморазведка является наиболее эффективным средством повышения результативности бурения и прироста добычи. При этом следует учитывать, что во многих случаях данные НВСП просто необходимы как источник геологической информации для обоснования заложения новых скважин, особенно в области небольших локальных залежей. Применение метода неуклонно растет в различных нефтегазоносных районах России. Средняя точность структурных построений составляет $\pm 5,2$ м, подтвержденность прогноза развития коллекторов – 88%.

2. Получаемая по ВСП информация при достигнутом аппаратно-методическом уровне позволяет определять и корректировать целый ряд параметров обработки сейсмических данных МОГТ, таких как па-

раметр добротности, скорости суммирования, длиннопериодные статические поправки и др.

3. Применение метода скважинной сейсморазведки позволяет обнаруживать ориентированную трещиноватость, локальные скоростные неоднородности, а также малые геологические формы. Ценная информация для определения характеристик околоскважинного пространства может быть получена путем анализа дифракционной компоненты сейсмического волнового поля. В последнее время интерес к дифракции возрос, и компания «Башнефтегеофизика» не исключение. Разработан и совершенствуется ряд методик для анализа дифракции в интерпретации сейсмических данных.

Метод ВСП-НВСП постоянно совершенствуется и в части обработки, интерпретации, и в части аппаратного обеспечения.

ОАО «Башнефтегеофизика» является на сегодняшний день единственным предприятием в России, обладающим современной скважинной сейсмической аппаратурой «SlimWave». Компанией планируется предоставление услуг по проведению скважинных сейсморазведочных работ с применением всего потенциала представленной сейсмической аппаратуры.

Литература

1. Кузнецов В.М., Жуков А.П., Шнейерсон М.Б. Введение в сейсмическую анизотропию: теория и практика. Тверь: Изд-во ГЕРС, 2006. 160 с.
2. Ленский В.А., Адиев Р.Я., Адиев А.Я. Скважинная сейсморазведка. Уфа: Информреклама, 2012. 348 с.
3. Клоков А., Фомель С. Разделение и визуализация сейсмических дифракций с использованием угловой миграции. М.: Геофизика, 2012. С. 131 – 143. ■

Ключевые слова: ООО НПЦ «Геостра», ОАО «Башнефтегеофизика», скважинная сейсморазведка, МОГТ-ЗД, сейсмическая аппаратура «SlimWave»



БАШНЕФТЕГЕОФИЗИКА

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

ЛИЦА КОМПАНИИ

WWW.BNGF.RU



**ХАКИМОВА
СВЕТЛАНА ВЛАДИМИРОВНА**

ГЛАВНЫЙ ГЕОЛОГ
ОТДЕЛА СЕЙСМОРАЗВЕДКИ
ООО НПЦ «ГЕОСТРА»



**ГАБИДУЛЛИН
ДАМИР НАСИМОВИЧ**

ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОТРЯДА
СЕЙСМИЧЕСКОЙ ПАРТИИ № 11



**ЯНАХМЕТОВ
РАФИС ХИЛЯЗОВИЧ**

ГЕОФИЗИК II КАТЕГОРИИ ЭКСПЕДИЦИИ
ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ (ЭГТИ)
УФИМСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ

**СЛОЖНЫМ ЗАДАЧАМ -
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
РЕШЕНИЕ**