



Высокоразрешающая сейсморазведка - инновационная технология поисков месторождений нефти и газа

Баранский Н.Л., Иноземцев А.Н., ООО "Парадайм Геофизикал", г. Москва
Колесов С.В., Потапов О.А., "ВНИИГеофизика", г. Москва

ИННОВАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технология высокоразрешающей сейсморазведки (ВРС) характеризуется комплексностью подхода к повышению разрешенности сейсмических материалов на всех этапах работ - при получении в поле, обработке и интерпретации результатов. На каждом этапе сейсмических работ ВРС имеет свою специфику, которая является необходимым, хотя и не достаточным условием получения высокоразрешенных разрезов (кубов данных). Сложившаяся практика сейсморазведки характеризуется скорее применением отдельных, не всегда связанных между собой, приемов ВРС, и только комплексный выбор параметров работ на всех этапах может дать "сверхсуммарный" эффект повышения качества результатов. Использование ВРС в промышленном масштабе потребует определенных дополнительных затрат, которые должны окупиться повышением точности и надежности геологических построений. Переход к ВРС могут санкционировать только заказчики - нефтедобывающие компании, которые должны знать, что им может дать ВРС на уровне решения геологических задач и реализации разработки месторождений. Чтобы промышленное использование ВРС было реальным, следует базироваться на современную технику, распространенную в нефтяной сейсморазведке, уделяя основное внимание методике полевых работ и обработке.

Введение

Повышение разрешенности сейсмических материалов - актуальная задача методики нефтегазовой сейсморазведки. Оснащением сервисных геофизических компаний современной техникой и компьютерными обрабатывающими комплексами не исчерпываются возможности улучшения качества результатов сейсмических работ. Необходим переход в промышленном масштабе к использованию методики высокоразрешающей сейсморазведке (ВРС).

Технология ВРС - это разработка ВНИИГеофизики, начало которой положено еще в 80-х годах прошлого столетия в отделе сейсморазведки. Необходимость этой разработки определялась задачами сейсмических исследований в условиях тонкослоистых сред, которые характерны практически для всех районов России и ближнего зарубежья. Расчленение Ачимовской пачки песчаных тонкослоистых коллекторов юга Европейской части России, надсолевой толщи в условиях солянокупольной тектоники - это задачи, требующие существенного повышения разрешающей способности сейсморазведки.

К настоящему времени завершены разработки ВРС с возбуждением зарядов ВВ малого веса и с вибраторами. Технология опробована во всех регионах России и ближнего Зарубежья, в Эфиопии и Китае.

В общих чертах технологию ВРС можно разбить на три этапа:

1. полевые работы,
2. кинематическая обработка данных,
3. интерпретационная обработка с решением обратных динамических задач.

На всех этих этапах главной задачей является возбуждение и регистрация сигналов в широкой полосе частот и использование таких процедур обработки, которые бы сохранили зарегистрированный спектр частот с целью выделения тонких пластов.

Из всех факторов, определяющих качество полевых сейсмических работ, следует особо выделить два: выбор условий возбуждения сигналов и качество установки сейсмоприемников. Если контроль приемной расстановки обычно (хотя далеко не всегда) осуществляется, то в выборе параметров возбуждения повсеместно наблюдается стремление использовать усредненные, стандартизованные для того или иного региона "оптимальные" величины, и опытные работы становятся формальным выполне-

нием пункта проекта работ. Вместе с тем для ВРС - тонкого, адаптивного и весьма эффективного инструмента исследования сейсмогеологического разреза - усредненность и стандартизация губительны.

Геологические задачи

В соответствии с общими тенденциями развития поисков и разведки месторождений нефти и газа в последнее время повысились требования к "временной и динамической разрешенности", а также надежности получаемых сейсмических данных, что обусловлено необходимостью картирования малоамплитудных и сложнопостроенных объектов, поисками неструктурных ловушек углеводородов. Ставятся задачи по установлению границ залежи, по сейсмическому мониторингу месторождений и интенсификации нефтеотдачи. Все это требует дальнейшего повышения качества получаемых сейсмических разрезов.

Геофизикам давно известна высокоразрешающая сейсморазведка, которая продолжает развиваться по мере совершенствования общего уровня методики и техники геофизических работ. Но она как бы отошла в сторону на фоне широкого распространения новейших комплексов компьютерной обработки данных и современных телеметрических сейсμοстанций.

В настоящее время в России методика ВРС с взрывным возбуждением в полном объеме реализована, возможно, только в ЗАО "НП Запприкаспийгеофизика" [3]. В большинстве же геофизических сервисных организаций страны из всего набора взаимопределяющих приемов и способов, составляющих ВРС, в практике сейсморазведки используются отдельные, не всегда связанных между собой, элементы полевых работ и обработки. Вместе с тем большее внимание к использованию уже известных методик ВРС, к тому же на новой технической и алгоритмической базе, является важным фактором повышения эффективности сейсморазведки при поисках месторождений нефти и газа.

Если подходить к определению ВРС через решаемые ею структурные задачи, то:

- разделение тонкослоистых пачек;
- выявление малоамплитудных разрывных нарушений;
- прослеживание зон выклинивания, - все это задачи ВРС в целом.

Термины "тонкослоистые", "малоамплитудные", сами по себе привязаны к какому-то уровню разрешенности сейсмических материалов.

который был достигнут на то время, когда эти термины стали широко использоваться. Чтобы было от чего оттолкнуться, рассмотрим частотный диапазон сейсмической записи, с которым имеют дело специалисты-интерпретаторы. Оказывается, как правило, верхняя граница частот находится вблизи 70 Гц: такова вся "технологичная" (по Н.Н. Пузыреву [1]) сейсморазведка.

Возможность динамической интерпретации сейсмических данных (определение параметров среды по динамическим характеристикам отраженных волн) некоторое время назад считалась одним из характерных, определяющих свойств материалов ВРС [2]. Как показал опыт применения различных способов динамической интерпретации (при которой анализируются динамические параметры, то есть амплитуды и форма импульсов сейсмической записи), при ширине рабочей полосы частот РПЧ (частот, где полезный сигнал превышает помеху) в 40-50 Гц возможно осуществить картирование и прогноз физических свойств пластов с минимальной мощностью 12-16 м. Для прогнозирования физических свойств пластов мощностью 6-8 м требуется уже расширение РПЧ до 80-100 Гц. Если границей ВРС/не-ВРС считать (условно!) 70 Гц, то прогнозирование физических свойств пластов мощностью менее 10 м требует перехода к высокоразрешающей сейсморазведке.

Методика ВРС может успешно решать следующие задачи, связанные с использованием динамики:

- поиск и картирование малоамплитудных структур, а также неантиклинальных ловушек нефти и газа;
- оценка подсчетных параметров залежей в межскважинном пространстве и определение запасов на этапе разведки нефтяных и газовых месторождений (в комплексе с данными геофизических исследований скважин - ГИС и вертикальным сейсмическим профилированием - ВСП);
- изучение детального строения месторождений на этапе проектирования и разработки;
- обнаружение и картирование карстовых зон, погребенных русел, малоамплитудных разломов при инженерно-геологических работах;
- поиск и разведка рудных и угольных месторождений.

Технология ВРС

В основе методики ВРС лежит способ общей глубинной точки (ОГТ). Используемая при этом аппаратура и оборудование должны подвергаться контролю и наладке в соответствии с сопроводительной документацией изготовителя и технической инструкции по сейсморазведке. Методики контроля хорошо известны, четко разработаны и для обеспечения ВРС требуется только их аккуратное выполнение. Специфические требования ВРС относятся лишь к границам изменения настраиваемых параметров, таким как границы частотного диапазона регистрации, различных фильтров, сейсмическим параметрам вибраторов (действующей силы, фазовой ошибки и коэффициента гармоник для излучаемого сигнала) и т.п.

Общую задачу полевой методики ВРС можно сформулировать следующим образом: получить наиболее широкий спектр сейсмического сигнала на полевых сейсмограммах в диапазоне времен, соответствующих целевым интервалам геологического разреза, при соотношении сигнал/помеха не ниже заданной величины, имеющихся технических средств и ограниченной стоимости работ. Способы решения этой задачи -

повышение временной и динамической разрешенности сейсмической записи.

Специфической особенностью полевой методики ВРС является применение специальных приемов полевых работ. Задача методики полевых работ ВРС является расширение рабочей полосы частот (РПЧ), то есть диапазона частот, в котором, после применения углубленной обработки, достигается превышение сигналов над уровнем помех. Специальные способы и приемы обработки данных ВРС направлены на то, чтобы сохранить динамические характеристики волнового поля и обеспечить максимальную временную разрешенность сейсмических сигналов при требуемом уровне отношения сигнал/помеха. Особенностью способов динамической интерпретации является полное использование информации о форме записи отраженных волн, а также привлечение данных ГИС и ВСП с целью получения наиболее детальных сведений о строении и физических свойствах слоев геологического разреза.

Для успешного применения методики ВРС при решении таких сложных задач, как поиск ловушек неантиклинального типа, разведка месторождений нефти и газа, необходимо, чтобы на площади работ или в непосредственной близости от нее имелась глубокая скважина, в которой выполнен полный комплекс ГИС и ВСП. Работы по ГИС должны включать АК по возможно более протяженному интервалу разреза (но менее 1000 м), пересекающему объекты исследования, а также плотностной ГГК, кавернометрию, различные виды электрокаротажа.

Расширение рабочей полосы частот необходимо для повышения разрешенности сейсмического материала. Чем выше частота сигнала на сейсмограммах, чем шире РПЧ - тем выше временная разрешенность, то есть точность отсчета времен положения сейсмических границ.

Однако точность отсчета времен еще не определяет полностью положение геологических границ. Положение пика на сейсмограмме и его амплитуда, сопоставляемые с какой-то геологической границей, могут быть изменены вследствие наложения разного рода помех. Здесь следует говорить о динамической (амплитудной) разрешенности сейсмической записи, которая определяется соотношением амплитуд сигнала и помехи и зависит от нескольких факторов, среди которых следует отметить: 1) форму полезного сигнала и ширину его РПЧ; 2) характеристики помех.

Известно, что при прочих равных условиях наилучшую разрешенность имеют сейсмические разрезы с симметричным ("нульфазовым") сигналом. При взрывном возбуждении образуются несимметричные сигналы, которые в результате обработки приводятся к симметричному виду, тогда как вибросейсмические сигналы - первоначально симметричные. В таком случае динамическая разрешенность сейсмических разрезов, помимо уровня помех, зависит от соотношения амплитуд главного (среднего) и ближайших (самых сильных) побочных максимумов сейсмического сигнала, которые, по сути, следует отнести к помехам.

Это соотношение зависит от ширины рабочей полосы частот и нижней (верхней) ее границы, точнее от ее "октавности", определяемой по отношению верхней частоты РПЧ к нижней. Иначе говоря, наилучшую разрешенность дают сейсмические сигналы с рабочей полосой, расширенной как в сторону низких, так и в сторону высоких частот. При этом в полученной

ИННОВАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

РПЧ должно достигаться не просто превышение сигнала над помехой, но **определенная мера этого превышения**, чтобы проводить интерпретацию динамических особенностей сейсмических материалов и прогнозировать физические свойства пород разреза.

Таким образом, расширение рабочей полосы частот позволяет решать более тонкие кинематические задачи, тогда как достижение определенных значений отношения сигнал/помеха в этой полосе позволяет решать динамические задачи сейсморазведки. И та и другая задача требуют существенных дополнительных затрат, в частности на использование более плотных систем наблюдений (с меньшим шагом пунктов приема - ПП и возбуждения - ПВ) - не 50м и 100м при профильных работах, а 25м и 50м и менее, и с большей кратностью.

Помимо телеметрических сейсмостанций при ВРС нужна также другая техника - акселерометры (вместо геофонов-велоциметров - для работ с взрывным возбуждением), специально изготовленные заряды ВВ и мощные вибраторы (20 и более тонн) с четкой настройкой сейсмических параметров и правильно спланированным нелинейным (НЧМ) свипом. Из всех возможных способов возбуждения в приложении к ВРС целесообразно рассматривать только взрывной и вибрационный - имеются в виду электрогидравлические вибраторы.

Использование акселерометров вместо велоциметров обусловлено особенностью взрывного возбуждения состоящей в том, что в спектре взрыва наиболее интенсивны низкочастотные составляющие, а в сторону высоких частот спектральная энергия плавно убывает, причем скорость этого убывания тем больше, чем больше заряд.

Выравнивание спектра сигнала на записи частично достигается с помощью акселерометров, которые имеют АЧХ в виде наклонной прямой, выходящей из начала координат. При регистрации АЧХ акселерометра "умножается" в частотной области на спектр импульса взрыва и в итоге на записи спектральные составляющие ослаблены тем больше, чем ниже их частота.

Использование специально изготовленных малых зарядов (единицы и десятки грамм тротила [3]) по сравнению с более крупными зарядами (сотни и тысячи граммов) приводит к уменьшению доли низкочастотных составляющих в спектре сигнала, что позволяет, во-первых, лучше выровнять спектр за счет использования на приеме акселерометров и, во-вторых, уменьшить низкочастотные волны-помехи, которые непропорционально быстро возрастают при росте величины заряда.

При вибрационном возбуждении акселерометры уже не столь эффективны, поскольку спектр вибросейсмического сигнала на записи можно получить выровненным за счет соответствующего выбора параметров нелинейно - частотно - модулированного (НЧМ) свипа сигнала. Вместо того чтобы "срезать" энергию низкочастотных составляющих с помощью акселерометров, вообще не следует возбуждать излишек энергии на этих частотах.

Основная особенность системы наблюдений при ВРС - более плотный шаг пунктов приема (ПП) и величины "бинов" - 3D) и пунктов возбуждения (ПВ). В связи с этим повышаются и требования к позиционированию ПП и ПВ: здесь уже нужна точность до 1-2 м в плане и не хуже 0.1-0.2 м по высоте, а главное - аккуратность работы полевых бригад при раскладке кос и установке

сейсмоприемников, особенно на снегу. Деятельности супервизора здесь явно не достаточно, нужны специальные организационные меры.

Длина годографа выбирается обычным для ОГТ способом, поскольку средняя частота сигналов здесь будет выше (период колебаний - меньше) и длина годографа может быть меньше. При этом количество приборов будет все же больше и кратность суммирования может повышаться [2]. Длина годографа и повышение кратности сами по себе не способствуют повышению разрешенности сейсмического материала. Чем длиннее годограф, тем больше погрешности на его краях при введении кинематики (во время обработки). При недостаточной точности определения статических поправок большая кратность суммирования приведет к "размыванию" отражений, а не повышению динамической разрешенности (повышению отношения сигнал/помеха).

Соответственно с шагом ПП и ПВ при ВРС сокращаются группы на приеме и возбуждении. Дальнейшее сокращение шага ПП и увеличение числа каналов с какого-то момента позволит вообще отказаться от группирования на приеме с тем, чтобы делать "лабораторное" группирование при обработке. Кроме того, чем короче пауз группы, чем меньше каналов в полевом модуле, тем меньше наводок в аналоговых линиях приемной телеметрической косы.

Как правило, возбуждение при ВРС с взрывами производится из одиночных скважин или из "плотной" группы скважин. При вибрационном возбуждении источники ставятся практически вплотную, кроме того, целесообразно использовать "многопозиционные" группы с переездом (сдвигом) вибраторов после однократных воздействий при обработке одного ПВ. Это позволяет и осреднить условия установки вибраторов на ПВ и улучшить характеристику направленности группы, в частности лучше согласовать ее с частотным диапазоном свипа [5].

Взрывное возбуждение при ВРС требует тщательного выбора величины заряда и глубины его заложения (иногда с точностью до дециметров!), что почти полностью определяет ширину рабочей полосы возбуждаемого сигнала. Здесь необходимо специальное изучение ВЧР, результаты которого используются также для построения скоростной модели верхней части разреза и расчета "априорных" статических поправок (см. ниже). Выбор глубины заряда, согласующейся со строением ВЧР - необходимое условие для ВРС. Задавая одну и ту же глубину заложения заряда по профилю (площади) мы не выходим за границы среднечастотной сейсморазведки.

Для вибраторов выбор параметров возбуждения сводится к выбору оптимальных параметров нелинейно-частотно-модулированного свипа с возможно более широкой полосой частот, в пределах которой после обработки сигнал будет превышать помеху в заданное число раз [4]. При этом сигнал должен излучаться компактной группой мощных вибраторов, "сбитых" по сейсмическим параметрам в пределах полосы частот излучения. Здесь также необходимо специальное изучение ВЧР, результаты которого используются для определения с заданной точностью "априорных" статических поправок.

Наилучшая разрешающая способность ВРС по латерали обеспечивается за счет адаптации параметров источника к меняющимся условиям возбуждения, и направлена на стабилизацию характеристик сейсмического сигнала, посылаемого в среду. Имеется в виду адаптация к

меняющимся сейсмогеологическим условиям по профилю (площади), вплоть до изменений параметров возбуждения от ПВ к ПВ.

При взрывном возбуждении глубина и величина заряда "привязываются" к определенным сейсмическим границам и породам в ВЧР, глубина которых может заметно меняться по профилю (площади). При вибрационном возбуждении адаптация реализуется с помощью варьирования параметрами вибрационных сигналов, возбуждаемых вибраторами, построения группы вибраторов и распределения функций между отдельными вибраторами в группе. Частотный диапазон не меняется и стабилизация отношения сигнал/помеха реализуется за счет изменения энергии свипа (длительности и степени компенсации частотно-зависимого затухания в среде).

Полученный в поле первичный сейсмический материал нужно обработать так, чтобы сохранить полученную рабочую полосу и расширить ее при обработке. Вместе с тем, согласно выводам Н.Н. Пузырева [1], в современной "технологичной" сейморазведке (читай "стандартной") РПЧ после обработки почти вдвое уже, чем должна бы быть для получаемого полевого материала. Иначе говоря, при обработке не реализуются возможности обеспечения качества результатов, заложенные в полевом материале. Чаще всего это происходит из-за несинфазного суммирования сейсмограмм по ОГТ, то есть из-за недостаточно точных статических поправок, как правило "среднечастотных" (в том числе - априорных). Несинфазное суммирование будет в том случае, когда статический сдвиг превышает четвертую часть периода импульса. Если, например, в спектре рабочей полосы нам нужны частоты до 120 Гц, то ошибка статики должна быть не больше 2-х миллисекунд.

Для обеспечения высокого разрешения, нужно изучать ВЧР с помощью специально поставленных работ (обычно - МСК - микросейсмокаротажа и ЗМПВ - зондирования методом преломленных волн). Одно "попутное" определение статических поправок и скоростной модели ВЧР с помощью использования первых и последующих вступлений преломленных волн, регистрируемых при работах ОГТ, для ВРС не дает нужной точности: задачи сейморазведки становятся сложнее. Поэтому, в частности, возможность использования результатов работ предыдущих лет здесь ограничена: требуется большая точность определения скоростной модели ВЧР. Уровень грунтовых вод меняется со временем, нужно учитывать промерзание и т.д. В последнее время в Западной Сибири осознается необходимость специального изучения ВЧР до глубин залегания многолетне-мерзлых пород [8] с целью повышения эффективности нефтегазовой сейморазведки.

Опытные работы при ВРС не должны быть формальными, здесь также есть своя специфика и в порядке проведения и в оценке результатов. В соответствии со спецификой программа опытов должна охватывать все стороны методики ВРС.

В полевых условиях геофизики привыкли оценивать сейсмограммы визуально, однако качество и правильность оценки сильно зависят от квалификации и от знания ими местных сейсмогеологических условий. При визуальной оценке большую роль играют способы нормировки отсчетов перед выводом, характер вывода сейсмограмм на бумагу. Кроме того, широкополосный сейсмический материал может иметь несколько непривычный вид.

Одной визуальной оценки здесь явно недостаточно. Необходимы определенным образом подобранные полосовые фильтры и спектральный анализ участков сейсмограмм, причем спектры должны вычисляться в единой амплитудной нормировке, чтобы было можно анализировать влияние различных параметров опытов на спектральные амплитуды заданных участков спектров, в том числе отношения сигнал/помеха. Желательно, конечно, и другие способы оценки качества исходного материала и результатов его экспресс-обработки. В любом случае анализ результатов опытных работ должен производиться подготовленными специалистами на современных полевых вычислительных комплексах со специальным математическим обеспечением.

Обработка полевых данных, полученных по методике ВРС, должна строиться по графу ВРС, основные особенности которого:

- сохранение диапазона частот полевой записи (полностью - при вибрационном возбуждении и максимальное - при взрывном);
- сохранение "динамики" записи для решения динамических задач;
- выравнивание спектра сейсмического импульса.

Разумеется, такие задачи обработки, как борьба с помехами, повышение величины отношения сигнал/помеха, тщательная работа по вводу и коррекции кинематических и статических поправок в несколько итераций, также должны решаться, но с учетом вышеприведенных особенностей и в целом более точно, по сравнению с рядовой стандартной обработкой.

Также необходимо использовать специальные способы коррекции среднечастотных поправок, такие как, например, ISA [6] или ФОСП [5], и программы расширения спектра вибросейсмической записи (как ФИЛМЕМ) которые не всегда входят в состав распространенных пакетов обработки.

На рис. 1 показано влияние обработки на окончательный вид разреза. Профиль был отработан с взрывами малых зарядов из группы скважин. На рис. 1А показан первый вариант обработки, полученный по стандартному графу. Для получения рис. 1Б в графе обработки были использованы дополнительные процедуры, подавляющие волны-помехи и спектр сейсмического сигнала был выровнен в рабочей полосе 15 - 160 Гц.

Рис. 2 иллюстрирует возможности ВРС с вибрационными источниками. Профильным работам ОГТ (разрез рис.2 Б) предшествовало тщательное изучение достаточно сложно устроенной верхней части разреза с помощью МСК и зондирования МПВ. Коррекция статики

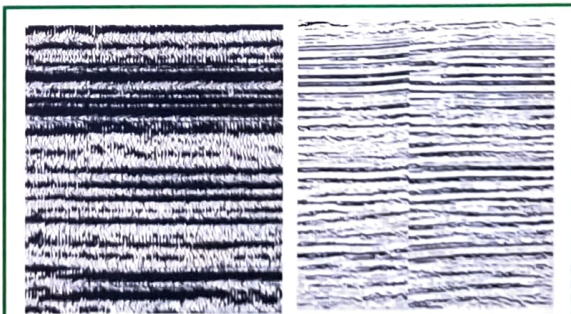


Рис. 1 Сопоставление двух близких участков одного профиля, полученного по методике ВРС с взрывами, в интервале времен 1.3-1.9 с, обработанного по стандарту (слева) и графу ВРС (справа)



была проведена по способу ФОСП.

Решение динамических задач

Под прямым прогнозом или прямым поиском углеводородов с помощью сейсморазведки понимается определение местоположения и формы контура коллектора углеводородов по результатам анализа амплитудных, фазовых и частотных характеристик полезных отраженных сигналов. Наиболее информативным и теоретически корректным из всех известных на сегодняшний день способов прямого прогноза является AVO - анализ сигналов, который позволяет исследовать характер изменения амплитуд отраженных сигналов в зависимости от удаления (углов выхода) сейсмических волн [9]. Изменение амплитуд считают аномальным, если оно превышает 2дБ (26%) при вариации угла (удаления) от минимального значения до максимального.

Выделяя и анализируя AVO - аномалии, удается с достаточной точностью оконтурить зоны изменения физических свойств среды, в том числе связанные с наличием углеводородов. Для успешного прогноза получаемые результаты сейсморазведки должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Удаления ПВ от ПП должны обеспечивать равномерное распределение углов падения сейсмических волн в пределах не менее чем от 0 до 25 градусов - во всем временном интервале анализа;

2. Обработка должна проводиться с сохранением амплитуд и последующей коррекцией их искажений, в том числе за поверхностные условия возбуждения и приема, при этом важная роль принадлежит коррекции статических поправок;

3. Сейсмограммы ОГТ после полного цикла временной обработки должны пройти процедуру "глубинной" миграции до суммирования с помощью способов, которые не вносят амплитудных искажений в итоговые сейсмограммы.

Последнее требование является необходимым [10], так как "глубинная" миграция сейсмограмм до суммирования позволяет учесть сейсмический "снос" отраженных сигналов и тем самым корректно отобразить глубинную или временную границу перед AVO - анализом. Именно использование глубинной миграции до суммирования позволило повысить достоверность AVO-анализа с 50 до 80% (в работах ОАО "Парадайн").

Ограничения стандартной сейсморазведки и перспективы перехода к ВРС для прямого прогноза углеводородов были оценены с помощью моделирования AVO-эффектов с использованием реальных значений плотности и скоростей продольных и поперечных волн, полученных по данным широкополосного акустического каротажа, проведенного в одной из продуктивных скважин [11]. Коллектором нефти с примесью растворенных газов являлся пласт трещиноватых песчаников мощностью 11 метров. Скорость продольной волны в нем - 2520 м/с, поперечной - 1220 м/с, плотность пород - 2,52 г/см³. Отмечено повышение скорости поперечных волн, в то время как скорости продольных волн и плотность имеют пониженное значение по сравнению с вмещающими породами.

AVO-эффект для такого типа коллектора выражается на сейсмограмме ОГТ в увеличении амплитуд с ростом удаления (угла падения).

При полосе 10 - 70 Гц AVO-эффект

практически отсутствует. Для спектра 10-100 Гц уже можно говорить о наличии эффекта, хотя он не достаточно четок. Если же расширить эффективную полосу до 10 - 150 Гц, то AVO-эффект уже ярко выражен и характеризуется увеличением амплитуд (от минимальных до максимальных углов) в 6дБ.

На Рис.3 приведен пример повышения разрешенности сейсмического разреза и надежности выделения аномалии флюид-фактора на разрезе AVO-атрибута, которая связана с продуктивным участком терригенного коллектора при переходе от стандартной к высокоразрешающей сейсморазведке (обработка проведена в системах Focus, Geodepth и Probe в Московском представительстве Компании Paradigm). Выделенная аномалия соответствует продуктивному участку, подтвержденному бурением.

Приведенные результаты достаточно наглядно показывают, что выделять и прогнозировать с помощью AVO - анализа наличие флюидов в рамках стандартной сейсморазведки при мощности коллектора (для терригенного разреза) менее 16м достаточно трудно. Для карбонатного разреза минимальная мощность может быть значительно больше - до 20 и более метров. Вместе с тем при переходе к высокоразрешающей сейсморазведке это делать удается.

Учитывая то, что количество месторождений нефти с коллекторами большой мощности становится все меньше и прирост запасов углеводородов в будущем связан с обнаружением и выделением коллекторов небольшой мощности, переход к ВРС становится крайне актуальным. Необходимые технологические и методические предпосылки такого перехода в настоящий момент имеются.

Внедрение ВРС

Значимое улучшение качества результатов сейсморазведки, достигнутое при переходе от обычных сейсмостанций к телеметрическим, применение более совершенных пакетов компьютерной обработки, а также большой объем ранее проведенных сейсмических работ, вызвал у заказчиков геофизических работ и многих геофизиков нефтеносных регионов ощущение, что хотя бы некоторое время можно не обращать внимания на совершенствование методики полевых работ.

Другой причиной меньшего внимания к методике является коммерциализация отрасли, изменение характера отношений между производителем работ (геофизической организацией) и заказчиком (нефтедобывающей компанией). Переходный период становления сервисных геофизических компаний, когда на первый план выступает необходимость выживания, явно не способствует улучшению качества их работы.

Одним из следствий такого положения явилось появление и распространение в России супервайзерского контроля всех стадий геофизических работ и в первую очередь - полевых. Соответствие параметров аппаратуры заданным в проекте пределам может успешно контролироваться представителем заказчика работ - супервайзером.

Однако в большинстве случаев супервайзер по своему статусу должен следить лишь за адекватным исполнением утвержденного (как правило, без его участия) проекта или технического задания на контролируемые им работы. Конечно работа супервайзера способствует повышению качества сейсмических

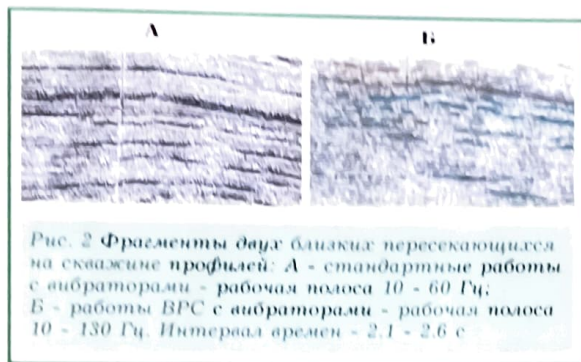


Рис. 2 Фрагменты двух близких пересекающихся на скважине профилей: А - стандартные работы с вибраторами - рабочая полоса 10 - 60 Гц; Б - работы ВРС с вибраторами - рабочая полоса 10 - 130 Гц. Интервал времен - 2.1 - 2.6 с

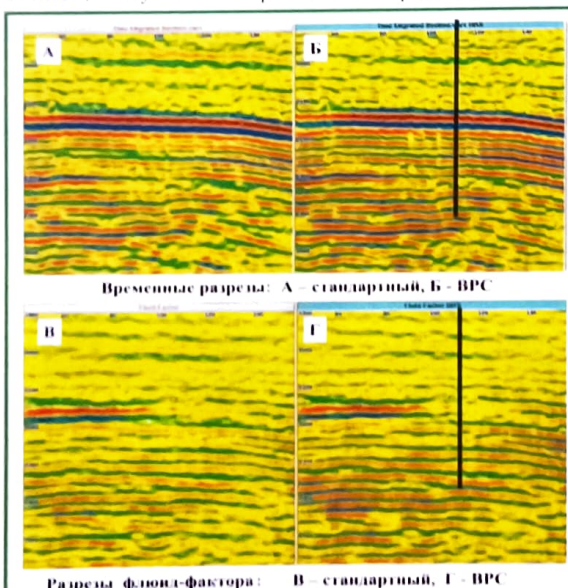
работ, однако вмешательство в методику, да еще связанное с какими-то дополнительными затратами, которые может потребовать реализация ВРС, разрешается только на уровне взаимоотношений заказчик - исполнитель и это должно быть задокументировано в проекте. На заметные дополнительные затраты заказчик как правило не идет.

Переход к высокочастотной сейсморазведке потребует несколько больших экономических затрат, но при дальнейшем повышении требований к эффективности и достоверности прогноза месторождений углеводородов по данным сейсморазведки такие затраты должны рассматриваться как необходимые. Помимо, что они могут быть санкционированы только заказчиком, который должен знать, что это ему может дать на уровне решения геологических и технологических задач.

Выводы

В настоящее время сейсморазведка (в том числе ВРС) не обеспечена выбором оптимальных параметров. Из всех методических аспектов, необходимых для реализации ВРС, выделим те, которым сейчас в практике сейсмических работ уделяется не достаточно внимания:

1. изучение верхней части разреза, позволяющее с одной стороны оптимизировать условия возбуждения при использовании взрывов, а с другой - определить априорные статические поправки с такой точностью, чтобы при обработке реализовать весь частотный диапазон записи, полученный при полевых работах;



Временные разрезы: А - стандартный, Б - ВРС

Разрезы флюид-фактора: В - стандартный, Г - ВРС

Рис. 3 Пример повышения разрешенности сейсмического разреза и надежности выделения аномалии флюид-фактора на разрезе AVO-атрибута

2. тщательный подбор параметров возбуждения с использованием специально подобранных зарядов, а в случае вибрационной сейсморазведки - с применением мощных вибраторов, возбуждающих нелинейные свипы с оптимальными параметрами, - с адаптацией параметров возбуждения под меняющиеся сейсмогеологические условия;

3. комплексный системный подход к планированию и проведению полевых работ и обработки материалов, направленный на увеличение соотношения сигнал/шум и расширение рабочей полосы частот сигналов, используемых при построении суммарных разрезов;

4. повсеместный переход на методику ВРС в ближайшее время вряд ли целесообразен, но постановка специальных работ, результаты которых могут служить ориентиром для сервисных компаний, вполне оправдан.

Литература

1. Пузырев Н.Н. О некоторых проблемах современной технологичной сейсморазведки. "Геофизика", № 5-6, с.10-14, 1996 (ЕАГО)
2. Методические указания по высокоразрешающей сейсморазведке (методика полевых работ). МинГео СССР, НПО "Нефтегеофизика", МинНефтеПром СССР, Центральная геофизическая экспедиция, Москва, 1988
3. Колосов Б.М., Кобылкин И.А., Голиченко А.М. Особенности возбуждения, регистрации и оценки слабых сейсмических сигналов при минимизации взрывной технологии. //Тезисы доклада на Международной геофизической конференции и выставке SEG-2003, Москва
4. Колосов С.В., Потапов О.А., Иноземцев А.Н., Захарова Г.А. Использование нелинейных свипов при высокоразрешающей вибросейсморазведке. //ЕАГО, "Геофизика" № 1 2002г., стр.18-28
5. Иноземцев А.Н. Колосов С.В. Кынин В.А. Потапов О.А. Новые возможности группирования в сейсморазведке. Сб.реф.докл. Международной геофиз. конференции SEG-EAГО M:1993г.
6. Захарова Г.А., Колосов С.В., Потапов О.А., Иноземцев А.Н. Определение среднечастотной компоненты остаточных статических сдвигов сигналов по фрагментам отраженных волн. //ЕАГО, "Геофизика" № 1 2000г., стр.19-24
7. Козырев В.С., Жуков А.П., Коротков И.П. и др. Учет неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке. //Современные технологии. М. Недра, 2003г.
8. Бевзенко Ю.П., Долгих Ю.Н., Зозуля В.А., Шулик С.И. Многоуровневая высокоточная сейсморазведка: решаемые задачи, технология и результаты применения на севере Западной Сибири. //Геолого геофизическая научно практическая конференция ЗапСибОЕаго, Тюмень, 2001г.
9. Иноземцев А., Колосов С., Баранский Н., Потапов О. Повышение надежности прямого прогноза углеводородов при использовании высокоразрешающей сейсморазведки. //Тезисы доклада на Международной геофизической конференции и выставке SEG-2003, Москва.
10. Баранский Н.Л., Старобинец М.Е., Королев Е.К., Иноземцев А.Н., Козлов Е.А. Миграция и AVO - соседство или марьяж ? //М. ЕАГО, "Геофизика" №2, 2000 г.
11. Иноземцев А., Колосов С., Баранский Н., Потапов О. Повышение надежности прямого прогноза углеводородов при использовании высокоразрешающей сейсморазведки //Тезисы доклада на Международной геофизической конференции и выставке SEG-2003, Москва, 2003г.