

Супервайзерство в методе ВСП: пределы возможного

Шехтман Г.А., ВНИИГеофизика, г. Москва

Введение

Метод вертикального сейсмического профилирования (ВСП) сейчас используется во всем мире. Отличительной особенностью метода является тот факт, что исследования в нем проводятся исключительно трехкомпонентными зондами, причем с использованием различных типов волн. В отличие от наземной сейсморазведки, где трехкомпонентная регистрация сейсмических колебаний вовсе не означает, что используют не только продольные волны, метод ВСП уже давно превратился в *многоволновой* метод, в котором наряду с продольными волнами используют обменные и поперечные волны. Однако на пути к полноценному использованию тех возможностей, которые сулит неискаженная регистрация волн внутри среды, стоит низкое качество полевых записей, которое, к сожалению, всё больше становится правилом, чем исключением [4]. Поэтому супервайзерство в методе ВСП потенциально может стать долгожданной альтернативой той *независимой экспертизе*, о создании которой пока ведутся лишь разговоры.

Справедливо считают, что компетентность супервайзеров и техруков сейсмических партий должна быть сопоставима между собой. Если в проведении работ оба они принимают участие, помогая друг другу, то уместна поговорка о том, что «одна голова – хорошо, а две – лучше». Существенно, однако, что работа супервайзера оплачивается заказчиком (напрямую или через сервисное предприятие), а работа техрука – исполнителем работ. Поэтому в далекой от идиллии сегодняшней реальности высокое качество материалов может быть достигнуто лишь при условии реальной независимости супервайзеров от исполнителей. Конечно, при условии подлинного стремления к высокому качеству результатов всех тех, кто задействован в подготовке и проведении работ ВСП, - и супервайзера, на которого возложена функция контроля за проведением работ, и сотрудников исполнителя.

Мне пришлось много лет проработать в качестве техрука, а в нынешнее рыночное время - супервайзером и консультантом на различных этапах работ ВСП, начиная с подготовительного этапа. Накопившийся опыт позволяет дать полезные советы тем, кто заинтересован в получении качественных записей в поле и надежных выводов при обработке и интерпретации. Речь пойдет, в основном, о *подводных камнях*, о существовании которых могут даже и не подозревать довольно грамотные геофизики, не сталкивавшиеся с ними в своей практике. В целях удобства я расположил идущий далее текст по разделам, соответствующим этапам проведения работ.

Участие в тендерах и подготовка к проведению работ

Конкуренция, появившаяся в условиях рыночной экономики, обострилась настолько, что в 2004 году потребовалось решением правления ЕАГО ввести «Этический кодекс геофизиков России». Однако общение с коллегами приводит к выводу о том, что практика проводившихся до настоящего времени тендеров кодексу этому явно не соответствует. Высокая квалификация потенциальных подрядчиков во внимание подчас вообще не принимается. В геологические же задания нередко нарочито вписываются такие

явно невыполнимые позиции, которые способны либо отпугнуть грамотных, но достаточно ответственных, профессионалов, либо подтолкнуть иных полуголодных людей, давно не имевших контрактов, к выполнению явно авантюрных для них проектов. О такой же мерзости, как «откаты», вообще говорить не хочется, но не знать о ней могут только те, кто знает этого не желает. Имеет место и такой изощренный способ получения мзды чиновниками, как перенаправление потоков контрактов от заказчика тем подрядчикам, которые этих чиновников прикармливают. Это еще раз приводит к мысли о необходимости независимой экспертизы результатов тендеров, причем в интересах тех же заказчиков.

Профессионально составленные геологические задания должны опираться на необходимость выполнения актуальных для заказчика задач при помощи современных технологий, которыми уверенно владеет подрядчик. Применение в производственных работах неустоявшихся пока технологий, не опирающихся на прозрачный физический смысл, явно нецелесообразно из-за невысокой надежности результатов, некорректность получения которых нередко прикрывается всякими «ну-хау».

На этапе проведения тендеров будущий супервайзер предстоящих работ должен основательно вникнуть в геологическое задание, оценить выполнимость поставленных задач непременно с учетом конструкции скважин, в которых намечаются работы ВСП. Он должен отчетливо представлять возможности каждого из потенциальных подрядчиков, прежде всего – применяемую им скважинную сейсмическую аппаратуру, источники колебаний и математическое обеспечение, используемое для обработки и интерпретации данных ВСП. Остановимся подробнее на некоторых из этих вопросов.

Конструкция скважин. Идеальной для работ ВСП является обсаженная скважина, качественно зацементированная от забоя до устья. Цемент в ее затрубном пространстве должен заполнять все каверны и обеспечивать надежный жесткий контакт обсадки с окружающими породами. Отсутствие цемента на значительных интервалах глубин приводит к появлению на записях трубных волн, вибрационных трубных волн, гидроволн и других помех [1]. В таких скважинах в наибольшей степени страдает качество записей, регистрируемых горизонтальными компонентами скважинного прибора. В старых обсаженных скважинах, даже незацементированных, качество контакта обсадки с окружающей средой может быть хорошим благодаря тому, что пластичные окружающие породы, заполняя пустоты вокруг скважины, начинают контактировать с обсадкой. В необсаженных скважинах надежный контакт приборов зонда ВСП обеспечивается лишь в крепких породах. В терригенных же породах наличие каверн и некруговое сечение ствола приводят к неустойчивому контакту зонда с породами, изменяющемуся от точки к точке.

Плохая для проведения ВСП конструкция скважины ставит под вопрос выполнение ряда задач, являющихся стандартными для метода. Прежде всего – это методические и геологические задачи, опирающиеся на использование обменных и поперечных волн: определение пластовых скоростей распространения поперечных волн, изучение структуры околоскважинного

пространства и др. Это требует серьезной корректировки геологического задания, составленного ранее без учета конструкции скважины. Однако и в «усеченном» варианте проведение ВСП в таких скважинах может быть крайне полезным для наземной сейсморазведки, обеспечивая ее важной информацией на продольных волнах. Приведу пример.

На рис. 1 приведена сейсмограмма ВСП, полученная с шагом 10 м по стволу скважины при возбуждении колебаний с ближнего пункта возбуждения (ПВ). Скважина имела сложную конструкцию: кондуктор опущен на глубину 1000 м, первая и вторая технические колонны – до глубин 2700 м и 4700 м, соответственно. Цемент в затрубном пространстве этих колонн поднят до устья, однако данных о качестве этого цемента не имеется. Эксплуатационная колонна опущена до глубины 6000 м и цемент в ней поднят лишь до глубины 3800 м. Можно видеть, что отсутствие контакта эксплуатационной колонны со стенками скважины на значительных интервалах глубин привело к формированию сильных трубных и вибрационных трубных волн, а также мощной гидроволны.

Вынос ПВ на расстояние 500 м привел к полному ослаблению гидроволн, но вибрационные волны и трубные волны, искажающие первые вступления прямой волны, остались, однако их относительная интенсивность уменьшилась настолько, что стало возможным проследить отраженные волны в пределах почти всего вертикального профиля (рис. 2). На горизонтальных компонентах записи оказались кондиционными лишь в нижней (зацементированной) части скважины, где удалось выделить обменные отраженные волны. Однако интенсивность их при столь небольшом отношении вынос/глубина оказалась небольшой. На продольных волнах результаты обработки в этой скважине оказались вполне кондиционными.

Конструкция скважинной аппаратуры. Обеспечение силы прижима, на порядок превышающей вес снаряда, достигаемое путем использования достаточно жестких управляемых прижимных устройств, позволяет в современной скважинной аппаратуре добиться практически неискаженного приема упругих колебаний, направление смещения которых близко к направлению оси скважинного снаряда. Однако в случае значительных углов подхода волн к скважинному прибору, а также при регистрации обменных и поперечных волн условия их неискаженного приема существенно ужесточаются. Даже когда прижимное усилие на контакте снаряда со стенкой скважины достаточно велико для предотвращения паразитных продольных колебаний снаряда, а также для ослабления натяжения кабеля, на котором висит зонд, остается опасность возникновения паразитных вращательных колебаний снаряда. В более общем случае, когда наблюдения проводят в необсаженной скважине с шероховатыми стенками, а прижим снаряда осуществляется не по всей его длине, могут иметь место колебания и относительно других осей вращения, произвольно ориентированных в пространстве в различных точках приема.

Искажения сигналов, регистрируемых горизонтальными сейсмоприемниками зонда, происходят из-за возникновения вращательных колебаний относительно линии касания корпуса прибора со стенкой скважины. Паразитные вращательные колебания прибора удается устранить посредством жесткого крепления к прибору двух опор, позволяющих достичь контакта со стенкой скважины в трех рассредоточенных по окружности точках (конец прижимного рычага и еще две точки на ребрах опор). Такого же результата достигают путем крепления к корпусу прибора жесткой пластины со стороны, противоположной прижимному рычагу, либо посредством башмаков специальной формы, прикрепленных к прибору.

К сожалению, качественные записи, кондиционные с точки зрения требований многоволновой скважинной сейсморазведки, продолжают оставаться скорее исключением, чем правилом, так как редко кто из исполнителей, берущихся за выполнение полевых работ, предпринимает действительные усилия для применения упомянутых простых приемов избавления от помех. Тем самым возможности последующей обработки, нацеленной на изучение тонких кинематических и динамических характеристик сейсмических волн, остаются, как правило, нереализованными. Существующие же способы количественной оценки качества записей ВСП, как показано ниже, крайне несовершенны. Поэтому первым же вопросом к потенциальным исполнителям работ следует считать вопрос о том, насколько они в состоянии обеспечить высокое качество записей в скважинах с хорошей конструкцией.

Что касается методики проведения ВСП в конкретной скважине, то она определяется в зависимости от поставленных задач и средств, выделенных на обработку скважины. Вопрос о выборе модификаций метода [2, 3] решают скорее при помощи консультантов, а не супервайзеров, хотя в функции последних и входит своевременная коррекция выбранной методики в процессе проведения работ.

Работы на скважине

В поле зрения супервайзера при обработке скважины методом ВСП должны находиться

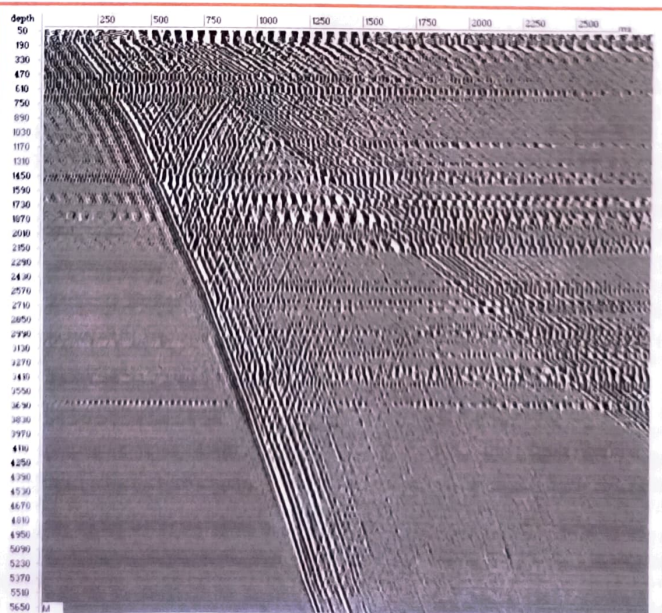


Рис. 1. Сейсмограмма ВСП, зарегистрированная с ближнего ПВ на z-компоненте в скважине со сложной конструкцией.

СУПЕРВАЙЗИНГ В РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ РАБОТЫ

параметры систем наблюдений с точки зрения их формального соответствия проекту, а также своевременная оценка качества получаемых записей. За формальным соответствием методики и техники работ пунктам проекта могут быть скрываться прямо-таки чудовищные отклонения от параметров наблюдений, фиксируемых в рапортах операторов. Так что, не следует стесняться отслеживать потенциально слабые места непосредственно во время проведения наблюдений. Приведу поучительные примеры из своей практики.

Глубина зонда: можно ли ей доверять?

Наивно полагать, что глубину скважинных приборов при проведении ВСП измеряют практически точно. Несоответствие показаний глубин на счетчике подлинной глубине, обусловленное растяжением кабеля под своим весом, невелико (порядка метра). Однако нередко имеет место неконтролируемое проскальзывание кабеля при его движении через блок-баланс, в результате чего показание счетчика в начале спуска зонда в скважину и при подъеме могут различаться, причем различаться существенно. Эту невязку в глубинах, достигавшую обычно нескольких метров, мне удавалось видеть неоднократно в тех работах, в которых я принимал непосредственное участие, однако ни в одном из рапортов операторов я подобной информации никогда не встречал.

Опишу один случай, когда эта невязка оказалась прямо-таки чудовищной, и работы пришлось частично повторить. Работы проводились поздней осенью 30 лет назад международной компанией на плавучей платформе, расположенной на шельфе Балтийского моря. Отряд ВСП, в котором я выполнял функции техрука, сразу же начал работу, как только появилось соответствующее окно. Существенно, что по плану в этом окне намечалась прострелка скважины перфораторщиками, но они оказались к работе не готовы. Неприятности сразу же случились с глубиной зонда. Максимальная глубина, на которую пошел зонд, оказалась на 130 м меньше ожидаемой глубины, но мы начали работать. «Чудеса» появились, когда после завершения работы мы ожидали появления зонда из скважины, а он всё не показывался. Расположенные в каротажном подъемнике счетчики глубин (их было сразу два) стали дружно показывать отрицательные глубины, и когда верхний прибор зонда оказался на устье скважины, счетчики показали величину «-130 м». Причина такого казуса была в том, что ролик, по шкиву которого двигался кабель на пути в скважину, был заполнен летней смазкой, и она замерзла. Поэтому первые 130 м кабель просто скользил по шкиву, не вращая его, а затем смазка разогрелась, шкив начал крутиться, и счетчики начали отсчет глубин. Лебедчик (подъемник обслуживала бригада из Германии) при спуске зонда, как оказалось, смотрел на устье скважины, не обращая внимания на счетчики. Можно себе представить, на какой глубине была бы проведена намеченная и не состоявшаяся перфорация!

Точны ли координаты источников колебаний? Координаты источников, как и приемников, при обработке данных считают практически точными и из этого исходят при решении обратных кинематических задач. Если на самом деле это не так, то определяемые параметры могут принимать нереальные значения. С грубыми ошибками в определении координат ПВ мне приходилось сталкиваться в то время, когда расстояния промеряли шнурами и мерными лента-

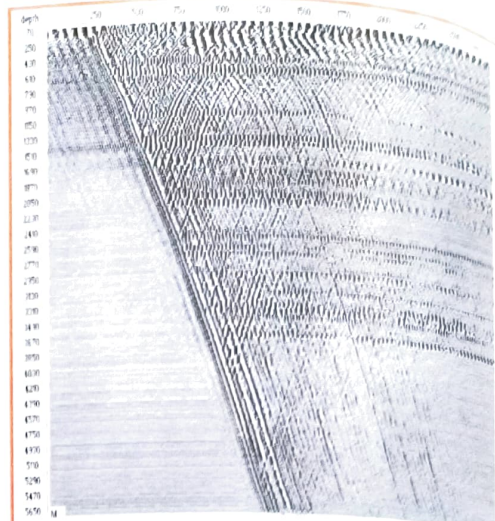


Рис. 2. Сейсмограмма ВСП, зарегистрированная с удаленного ПВ (500 м) на z-компоненте в скважине со сложной конструкцией.

ми, а также сравнительно недавно, когда для этой цели использовали спутниковую связь. Так что, всё бывает, и лучше своевременно провести контрольные замеры координат ПВ, чем на этапе обработки вынужденно определять эти координаты путем решения обратной задачи. А что же еще останется делать?..

В описанных выше работах при морском ВСП с намеченными координатами ПВ так же были недоразумения. Проявились они в том, что при проведении уровня ВСП судно с источником колебаний перемещалось не по прямолинейному профилю, а по кривой линии, что сразу же было замечено с палубы плавучей платформы. Эту часть работ также пришлось повторить.

Контроль качества записей. Эту задачу супервайзеры, находясь в поле, считают едва ли не главной своей задачей. А вот насколько корректно они решают эту задачу – еще вопрос. С записями вертикальных компонент зонда ВСП проблем обычно не возникает. По вертикальным компонентам уже на скважине формируют многоканальную сейсмограмму, по которой можно достаточно уверенно судить о качестве получаемого материала. Сложнее обстоит дело с записями горизонтальных компонент зонда из-за того, что вступления волн на этих записях меняют и свою полярность, и интенсивность, поэтому проследить регулярные волны можно лишь после ориентирования записей по первой волне, однако на скважине этого обычно не делают. Если в зонде реализован аппаратный способ ориентирования горизонтальных компонент путем, например, применения гироскопических датчиков, то задача оценки качества существенно упрощается. Чаще всего оценку качества записей горизонтальных компонент проводят, к сожалению, лишь после завершения полевых работ. И если записи эти некондиционны из-за плохого контакта зонда со средой, то остается лишь их забраковать и пересмотреть задачи, предусмотренные геологическим заданием, в сторону их сокращения.

Однако даже на начальном этапе обработки, когда проводится количественная оценка качества записей, оформляемая затем актом приемки материала, возникают большие проблемы из-за некорректности выполняемой оценки. Опишу методику автоматической оценки качества материалов ВСП, используемую в одной из очень известных зарубежных фирм, работающей

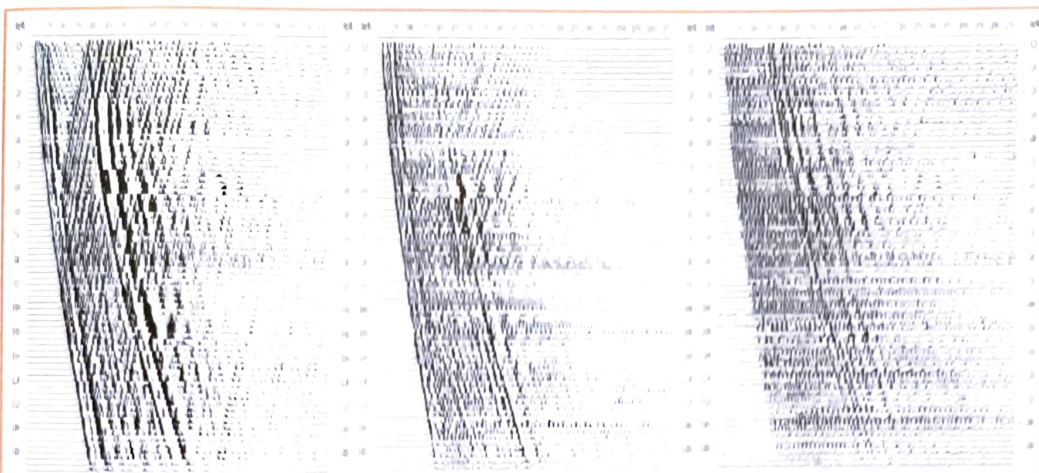


Рис. 3. Сейсмограмма ВСП на z-компоненте (слева), x-компоненте (в центре) и y-компоненте (справа). На горизонтальных компонентах сразу после первых вступлений наблюдаются сильные квазисинусоидальные помехи, вызванные паразитными враждательными колебаниями скважинных приборов.

в России. Методика эта опирается на сопоставление интенсивности записи в скользящем окне до первых вступлений и после них. При этом молчаливо исходят из того, что если на записях присутствуют помехи (шумы), то в чистом виде их можно зарегистрировать именно перед вступлениями прямой волны. Это, к сожалению, не совсем так. Если, к примеру, речь идет о промышленных электрических помехах, то их действительно можно не только увидеть в чистом виде до первых вступлений, но и уверенно вычистить их из записей, определив их параметры (амплитуду, частоту и фазу). Однако более грозные помехи, обусловленные паразитными колебаниями скважинного прибора, начинаются сразу же после прихода прямой волны. И эти помехи, наиболее опасные на записях горизонтальных компонент, при таком подходе к оценке отношения помех/сигнал можно ошибочно принять за полезный сигнал, хотя по виду они все же существенно отличаются от импульсов полезных волн тем, что имеют квазисинусоидальный характер. Пример сейсмограмм ВСП с такими помехами представлен на рис. 3. Видно, что на z-компоненте квазисинусоидальные помехи почти отсутствуют в то время, как на горизонтальных компонентах они видны почти на каждой глубине. Примечательно, что в акте приемки материалов качества всех этих записей было по упомянутой методике оценено как «отличное».

Таким образом, на сегодняшний день наиболее слабым звеном при оценке качества записей ВСП, особенно записей на горизонтальных компонентах скважинных приборов, является количественная оценка. С точки зрения качественной оценки записей больших проблем не видно. Ясно, что если на горизонтальных компонентах видны такие помехи, как на рис. 3, то записи эти надо рассматривать как сплошной брак, а соответствующую скважинную аппаратуру для целей многоволновой скважинной сейморазведки больше не использовать.

Этап обработки и интерпретации

Этап обработки для супервайзера начинается с оценки качества полученного в поле материала с точки зрения задач, предусмотренных геологическим заданием. Если супервайзер не участвовал в полевых работах, а оценка качества записей проводилась так, как описано выше, то акт приемки полевых материалов может мало чего значить. Поэтому следует объективно оценить пределы возможного, чтобы не ожидать от обра-

ботчиков и их математического обеспечения больше того, на что они способны.

Большая часть задач, решаемых при обработке данных ВСП, стандартна. Вопрос, однако, в том, насколько корректно эти задачи решаются. Рассмотрим для примера рутинную задачу определения сейсмических скоростей. Несколько десятилетий сейсмические скорости определяли по вертикальным годографам путем приведения их к вертикали. При этом для учета влияния преломления луча разрабатывали хитроумные подходы, однако требуемой точности достичь таким путем долго не удавалось. Трудности усугублялись еще и тем, что в вертикальных годографах могли содержаться статические сдвиги различной природы, определить которые старыми способами не удавалось, и эти неучтенные сдвиги существенно искажали значения определяемых скоростей. Применение методов оптимизации для решения обратных кинематических задач ВСП позволило сделать качественный скачок в определении параметров околоскважинного пространства, а также в определении статических сдвигов в годографах. Однако и в настоящее время сейсмические скорости нередко определяют по старинке, путем приведения годографов к вертикали. Модели скоростей, не вполне точно определенные на начальном этапе обработки, используют затем для миграции записей, получая тем самым искаженные изображения околоскважинного пространства. Поэтому непредвзятое отношение супервайзера к процессу обработки, опирающееся на знание потенциально слабых мест в графе обработки, может предотвратить рождение неправомерных «открытий» на этапе интерпретации, часто объясняемых тем, что интерпретаторы слабо знакомы не только с процессом получения материалов в поле, но и с методикой обработки.

Примером, приведенным на рис. 4, иллюстрируется расшифровка на этапе интерпретации абсурдного результата, полученного при обработке. Можно видеть, что восходящие волны, распространяющиеся по обсадной незацементированной трубе, могут на разрезах сформировать ложные «наклонные границы», залегающие с несогласием по отношению к реальным границам. Отличаются трубные волны скоростями, существенно превышающими пластовые скорости. В первых вступлениях эти помехи исключают выделение прямой продольной волны, а в последующих вступлениях восхо-

СУПЕРВАЙЗИНГ В РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ РАБОТЫ

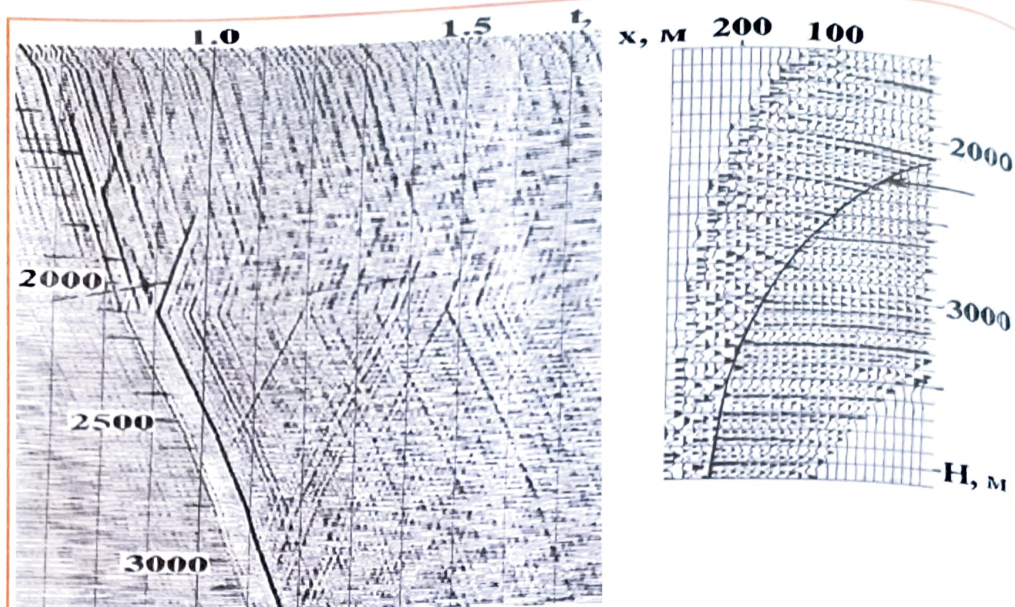


Рис. 4. Сейсмограмма ВСП (слева), содержащая в верхней части падающие и восходящие трубные волны (показаны стрелками). Справа – глубинный разрез, полученный путем миграции. Слева от линии, указанной стрелкой, из трубных отраженных волн на разрезе сформированы ложные границы.

дающие трубные волны создают иллюзию отражения прямой волны от фактически не существующей границы, расположенной на глубине 2100 м. Именно эта глубина соответствует глубине подъема цемента в затрубном пространстве обсадки.

Составление окончательного отчета и сдача его заказчику

От грамотного составления отчета (его иногда называют *Заключением*) и его оформления во многом зависит его последующая оценка заказчиком. Основная задача супервайзера на этом этапе работ – помочь исполнителям в полной мере и достаточно обоснованно изложить результаты работ, акцентируя внимание на задачи, поставленные в геологическом задании. Форма представления результатов должна быть предусмотрена заранее и согласована через супервайзера с заказчиком. Дело в том, что следование устаревшим ГОСТ'ам, далеко не всегда оправданное, способно существенно затормозить оперативное получение результатов заказчиком.

Сдача отчета заказчику влечет за собой подчас значительные осложнения, если отчет попадает к случайному лицу, имеющему очень приблизительное представление о методе ВСП. Мне как-то пришлось столкнуться с тем, как представитель заказчика распекал исполнителей за то, что они представили структурные карты, радиус которых не превышал 500 м. Он упрямо считал, что поскольку удаления ПВ достигали величины 1000 м, то и радиус структурных карт должен быть равен 1000 м. Всяческие попытки объяснить ему на пальцах вопрос о размерах участка освещенности отраженными волнами воспринимались им как попытка «вешать на уши лапшу». Таких примеров любой исполнитель мог бы привести множество.

Наличие компетентного супервайзера (или консультанта) на завершающем этапе работ способствует максимальному взаимопониманию между заказчиком и исполнителем в интересах их общего дела.

Заключение

Супервайзерство в методе ВСП еще не стало правилом. Одна из причин – нехватка необходи-

мых для этого компетентных специалистов, а также экономия средств заказчиками на привлечении специалистов для этой цели, так как оплата труда супервайзеров довольно высока. Однако всё более признаваемая необходимость в повышении качества материалов и надежности заключений, получаемых в результате работ ВСП, убеждает заказчиков в целесообразности привлечения и супервайзеров, и консультантов к выполнению намечаемых проектов. Дополнительные затраты, как показывает опыт работ различных компаний, вполне оправданы. Определенные трудности для супервайзеров, занимающихся методом ВСП, составляет отсутствие на сегодняшний день программ для оценки качества записей с учетом специфики волновых сейсмических полей, регистрируемых внутри среды. За рубежом внимание контролю качества записей ВСП в процессе проведения работ стали уделять давно [5]. Использование напрямую существующих пакетов, предназначенных для наземной сейсморазведки, не вполне оправдано. Наиболее рациональный путь – расширение функциональных возможностей таких пакетов. Это тем более оправдано в связи с тем, что все большее признание получает такое перспективное направление, как *скважинно-наземная многоволновая сейсморазведка*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шехтман Г.А., 1975. Помехи технического характера при скважинных сейсмических исследованиях и способы их подавления. Обзор ВИЭМС, 41 с.
2. Шехтман Г.А., 1994. Методика ВСП, ее современное состояние и перспективы развития. Прикладная геофизика, 131, 252-276.
3. Шехтман Г.А., Кузнецов В.М., Попов В.В., 2004. Модификации метода ВСП: какую предпочесть? Технологии сейсморазведки, 1, 75-79.
4. Шехтман Г.А., Кузнецов В.М., Редекоп В.А., 2008. Низкое качество полевых записей – причина нереализованных возможностей многоволнового ВСП: Тезисы доклада на научно-практической конференции «Гальперинские чтения - 2008».
5. Kiowski J.W., 1987, In-field quality control of VSP data, Feb 23, Oil & Gas Journal.