

Элементы технологии сейсморазведки в транзитных зонах

Шнеерсон М.Б., Шехтман Г.А., ВНИИГеофизика, г. Москва

Введение

В последние годы наметился интерес к переходным (транзитным), от суши к морю, зонам, который обусловлен открытием крупных месторождений углеводородов в прибрежных районах ряда стран. В энциклопедическом словаре по прикладной геофизике Р.Е. Шерифа дано следующее определение транзитных зон: "Районы и области, расположенные вдоль границы земля-море, в пределах которых ни сухопутные, ни морские съемки не могут быть проведены без значительных изменений технологии работ. Они могут включать топи, мелкие лагуны, зоны прибой и морские участки, глубина которых слишком мала для нормальных работ с буксируемыми косями".

Рассматривая транзитные зоны как объекты изучения, отметим, что пожалуй первыми в этой области были работы, проведенные в сороковых годах прошлого столетия на одной из площадей в прибрежной зоне Апшеронского полуострова (Цветаев А.А. и Шапировский Н.И., 1945). В результате наземных работ на Карачухур-Зыхской антиклинали было установлено, что структура уходит в море и для ее окуптуривания необходимо провести съемку в условиях неглубокого моря. Она была успешно выполнена в прибрежной зоне, и полученные материалы оказались достаточными для замыкания выявленного ранее поднятия. Опыта подобных работ не было и они были выполнены с использованием методических и технических средств наземной сейсморазведки того времени: однократное профилирование МОВ, взрывное возбуждение колебаний прием колебаний тяжелыми электромагнитными одиночными сейсмоприемниками, помещенными в контейнеры из пористого материала для обеспечения их нейтральной плавучести, регистрация колебаний аналоговой 12-ти канальной станцией с дополнительными фильтрами для ослабления реверберационных волн. Станция с сейсмоприемниками и вспомогательное оборудование размещали на моторном баркасе, а для взрывных работ использовали рыболовецкие лодки.

В последующие десятилетия технология работ в транзитных зонах существенно изменилась на основе общего прогресса сейсморазведки и учета специфических особенностей работ в этих районах. Они обусловлены сложными и неоднородными условиями возбуждения и приема колебаний при работах в пределах суши, береговых зон и глубокого моря, а также необходимостью прослеживания целевых отражающих горизонтов через эти три различные по сейсмогеологическим условиям зоны. Из всего многообразия вопросов, связанных с методикой и техникой сейсморазведочных работ в транзитных зонах и особенностями обработки получаемых материалов, в обзоре по сравнительно небольшому числу публикаций рассмотрены следующие ключевые, по нашему мнению, вопросы: возбуждение и прием колебаний, системы наблюдений и корреляционная увязка целевых волн, зарегистрированных в различных зонах сейсмоприемниками и гидрофонами (прием-

никами давления).

Возбуждение колебаний

В пределах суши возбуждение колебаний проводится взрывами зарядов тротила в скважинах или вибраторами в зависимости от условий проведения работ характера местности, экологических ограничений и требований заказчика. При использовании взрывчатых веществ (ВВ) возбуждение колебаний проводят в неглубоких, до 20-25 м, скважинах зарядами ВВ массой до 10-12 кг. Группирование скважин, как правило, не применяют. В тех случаях, когда бурение затруднено, применяют групповые взрывы в мелких (до 2-3 м) скважинах для ослабления поверхностных волн. Суммарный вес ВВ в этих условиях может достигать нескольких десятков килограмм. При использовании вибрационных источников колебаний параметры возбуждения выбирают на основании общих теоретических представлений с учетом результатов опытных работ или результатов съемок в этом или близлежащих районах. Это синхронное накопление воздействий, как правило, линейное группирование источников и квази-гармонические управляющие сигналы (свины) длительностью 8-10 с в частотном диапазоне от 10-15 Гц до 90-120 Гц и выше. Параметры управляющих сигналов согласуются задачами и условиями проведения работ глубинами до целевых горизонтов и уровнем регулярных и нерегулярных помех. Для насыщения среды волнами повышенного частотного состава с целью достижения большей разрешенности сейсмических записей применяют нелинейные развертки (свины).

Непосредственно в транзитных зонах, при глубинах моря до 1-2 м, возбуждение колебаний проводят взрывами зарядов ВВ в пробуренных неглубоких одиночных скважинах или с помощью специальных погружных пневматических источников объемом до 2-3 литров, способных возбуждать колебания в обводненных приповерхностных отложениях, илах и других сходных по строению осадках. Для повышения относительного уровня целевых волн и снижения уровня помех различной природы применяют группирование пневмопушек и синхронное накопление сигналов. В морских условиях при мощности водного слоя больше 2-3 м исключительное применение получили групповые пневмопушки с суммарным объемом до 20 л и рабочими частотами 30-70 Гц. Источники колебаний и вспомогательное оборудование размещают на небольших по размерам специальных плавучих плоскодонных средствах с небольшой осадкой, способных скользить по воде, бодотам и обводненным участкам суши, часто встречающимся в переходных зонах. В качестве двигателей используют двигатели с пропеллером, вращение которого создает воздушный поток, двигающий легкую лодку.

Для работ в переходных зонах были предложены и успешно опробованы морские вибраторы, принцип действия которых аналогичен наземным вибрационным установкам. Источником колебаний является упругая круглая

ТРАНЗИТНЫЕ ЗОНЫ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

диаметром около 1 м диафрагма, которая под действием внешних сил совершает возвратно-поступательные движения плавной меняющейся частоты. Перемещения диафрагмы создают избыточное давление в водной среде, то есть возбуждает в ней волновой процесс. Морской вибратор имеет сравнительно небольшие размеры, развивает низкие мгновенные давления, обладает хорошей повторяемостью и легок в управлении, что обеспечивает его эффективное применение при небольших глубинах моря. Сравнительные испытания морского вибратора фирмы JVI (США) со стандартными источниками колебаний (пневмопушки и заряды ВВ в скважинах), проведенные в транзитной зоне штата Луизиана (США), показали, что он обеспечивает получение сопоставимых материалов и по сравнению с ними обладает рядом преимуществ: развивает низкие давления, что значительно уменьшает вредное воздействие на ихтиофауну моря; позволяет управлять спектральным составом возбуждаемых и регистрируемых волн путем применения линейных и нелинейных управляющих сигналов с различным диапазоном частот; обладает высокой повторяемостью возбуждаемых сигналов и обеспечивает контроль за их уровнем, что делает его незаменимым при мониторинге месторождений и проведении специальных исследований, требующих применения управляемых по частоте и контролируемых по интенсивности колебаний.

Системы наблюдений

Проведение сейморазведочных работ в транзитных зонах имеет целый ряд особенностей, обусловленных определенными ограничениями в выборе расположения профилей и их ориентации, зависящими во многих случаях от конфигурации береговых линий, периодических изменений уровня воды в море, наличия сооружений и др. Тем не менее, при проектировании систем наблюдений используются, в основном, те же подходы, что и при работах на море и на суше. Профильные наблюдения 2D выполняются по профилям, ориентированным, как правило, перпендикулярно береговой линии. Протяженность профилей и расстояния между ними определяются размерами изучаемого объекта и требуемой точностью построений. Шаг между пунктами возбуждения и приема и кратность наблюдений зависят от качества целевых отраженных волн и уровня помех различной природы, включая многократные отражения в воде и верхних слоях земли. Максимальный вынос выбирают равным расстоянию до самого глубокого целевого горизонта, а минимальный равен нулю или нескольким десяткам метров. При проведении специальных съемок или работ (АВО и др.) вынос увеличивают до 6-8 км.

В последние годы увеличились объемы трехмерных съемок в транзитных зонах. В основе проектирования трехмерных систем наблюдений лежат те же принципы, что и в стандартной сейморазведке 3D. Широкое применение получили машинные способы проектирования систем наблюдений на ЭВМ, которые при заданных исходных параметрах способны рассчитать оптимальную, по заложенным в программе алгоритмам, систему наблюдений, распределение кратности, выносов и азимутов по площади съемки и некоторые другие параметры. Основные принципы проектирования систем наблюдений, которые получили освещение в зарубежных работах и публикациях, сводятся к следующему. Линии пунктов приема ориентируют как правило, по продольной оси X, а возбуждение по поперечной оси Y. Расстояния между

профилями по этим осям определяются размерами разведываемого объекта из того условия, что он должен быть пересечен не менее чем четырьмя профилями.

Размер бина определяется на основе выполнения следующих трех условий: разведываемый объект должен пересекаться не менее чем тремя трассами, должны быть обеспечены оптимальное суммирование волн, отраженных от краевых точек бина и пространственная разрешенность волн, определяемая скоростью их распространения и преобладающей частотой. Из полученных оценок размеров бина по координатным осям выбирают минимальные. Удвоенные размеры бина определяют расстояния между пунктами возбуждения и приема колебаний. Кратность наблюдений может быть в 2-3 раза меньше, чем кратность съемок 3D в этих районах.

Сложная конфигурация береговых линий, непростые условия проезда по площадям съемок, наличие различных преград, а также неспокойный рельеф местности в зоне перехода от суши к морю осложняют проведение работ по регулярным системам наблюдений. Поэтому очень часто применяют квазирегулярные и случайные системы, располагая пункты возбуждения и приема колебаний в доступных и безопасных для окружающих зданий и сооружений точках, сохраняя при этом необходимую кратность наблюдений. При работах в переходных зонах очень часто возникает необходимость изучения самой верхней части разреза для расчета статических поправок. Для этого при работах с ВВ используют времена прихода волн от точки взрыва в скважине до ее устья, а в невзрывной сейморазведке времена прихода преломленных волн, прослеживаемых на сейсмограммах ОГТ. В исключительных случаях проводят специальные работы методом преломленных волн.

Рассматривая в целом системы наблюдений, по которым проводятся работы в переходных зонах, следует отметить, что на практике преобладают системы типа "широкий профиль", которые представляют собой последовательность протяженных линий пунктов приема колебаний, перекрывающих изучаемую площадь. При этом пункты возбуждения располагаются между линиями приема через определенные расстояния. В качестве примера приведем описание системы наблюдений при работах 3D в одном из районов Индонезии, в зоне перехода от суши к морю.

В области суши приемная расстановка состояла из четырех линий, отстоящих друг от друга на расстоянии 200 м. Возбуждение колебаний проводили в скважинах, которые располагались между второй и третьей линиями с шагом 50 м. Интервал между линиями возбуждения был равен 500 м. На пунктах возбуждения бурили скважины глубиной до 30 м, куда помещали заряд ВВ массой около 2 кг. Регистрацию колебаний проводили одиночными гидрофонами, которые помещали в специально пробуренные мелкие скважины глубиной до 10 м ниже приповерхностного гумусового слоя. Шаг между пунктами приема был равен 50 м.

В переходной зоне расстановка состояла из шести приемных линий, находящихся на удалении 350 м друг от друга. Источники колебаний располагали между второй и третьей приемными линиями с шагом 50 м по перпендикуляру к приемным линиям. Расстояние между линиями возбуждения было равно 250 м. Приемные устройства (гидрофоны) располагали на удалении 50 м друг от друга.

В области мелкого моря расстояние между линиями приема было равно 200 м. В процессе работ на отдельных участках оно было уменьшено до 100 м. Пункты возбуждения располагали между второй и третьей линиями приема, образуя короткие линии, отстоящие друг от друга на удалении 200 м. Расстояния между пунктами приема и возбуждения вдоль соответствующих линий были равны 50 м.

Параметры зоны малых скоростей при проведении этих работ изучали методом преломленных волн по сетке 2х2 км.

Высокие требования к качеству сейморазведочных работ привели к необходимости практически непрерывного контроля за геометрией наблюдений по каждому пункту возбуждения и приема, что при съемках в транзитных зонах представляет собой довольно сложную задачу. Возникающие при этом трудности могут быть обусловлены неверным расположением пунктов возбуждения и приема колебаний или их неучтенными смещениями из-за подводных течений и подвижек судов. Не исключены также ошибки при передаче и приеме координат. Решение этой проблемы основывается на контроле за положением каждого пункта возбуждения и приема в процессе проведения работ. В современной практике работ он основан на применении мобильных установок GPS в районах, где он может быть применен, и на использовании времени прихода преломленных волн, прослеживаемых в первых вступлениях на сейсмограммах ОГТ. Обработка и анализ этих данных позволяет автоматизировать процессы контроля за геометрией расстановки, выявлять и устранять обнаруженные погрешности, а также вносить необходимые поправки в полученные данные.

Регистрация колебаний

Совершенствование сейморазведочных технологий при работах в условиях транзитных зон в полной мере проявлялось в улучшении и расширении функциональных характеристик сейморазведочного канала.

10 лет назад при работах в заболоченных местностях и на мелководье альтернатива состояла в выборе между приемниками давления (гидрофонами) и приемниками скорости смещения (сейсμοприемниками). Со временем на мелководье стали применять комбинирование в каждой точке приема тех и других с целью подавления волн-спутников и реверберационных колебаний, обусловленных наличием водного слоя небольшой толщины.

Низкое качество материала в болотистых местностях связывали главным образом с несовершенством установки приемников. При морских работах морские косы буксировались на глубине 6-8 м, и это обеспечивало оптимальную полосу принимаемых частот, уменьшение случайных шумов и гидростатическое давление, требуемое для стабильности гидрофонов. При работе же на очень мелких участках используют утяжеленную косу, лежащую на дне. В заболоченных местностях гидрофоны устанавливают под водой на глубину менее 3 м, что приводило к ослаблению сигнала вдобав из-за наложения волны-спутника. Кроме того, оказалось, что контакт со средой приемников, установленных накануне наблюдений, может нарушаться из-за приливных течений и воздействий морских волн, в результате чего сигнал ослабляется, особенно на высоких частотах. Было установлено, что гидрофоны в условиях болот обнаруживают большую помехоустойчивость по

сравнению с сейсμοприемниками, это связывали с их лучшим согласованием со средой, сферическим направлением и гидростатическим фактором. Существенное улучшение качества материалов наблюдалось, как правило, по мере перехода от болот к более глубокой воде.

Применяют два способа установки сейсμοприемников. Первый способ — при помощи кабеля, укладываемого на дно водоема аналогично одной из технологий морской сейсморазведки. Другой способ — установка контейнеров с приемниками на дно водоема, аналогично наземной сейсморазведке, или вдавливание в илистый слой до крепких пород. Было неоднократно показано, что второй из этих способов обеспечивает более надежный контакт со средой, но этот способ является более трудоемким, чем первый.

В последние годы все чаще стали использовать трехкомпонентные приемники в сочетании с приемником давления. Обусловлено это расширением объемов работ 3D на продольных и обменных волнах, включая сейсмический мониторинг. При работах в транзитных зонах экономически более эффективны обращенные наблюдения, при которых положение приемников колебаний фиксировано, а источник перемещается. Многокомпонентный прием в сочетании с телеметрическими сейсморегистрирующими системами позволяет в полной мере воспользоваться преимуществами характеристик направленности первого рода при переходе от групп сейсμοприемников к точечному приему. Необходимость такого перехода при работах в транзитных зонах очевидна, поскольку использование погружных сейсμοприемников и придонных кос практически избавляет геофизиков от таких грозных помех, как поверхностные волны, что сразу же снижает требования к величине мгновенного динамического диапазона приемников и, соответственно, оправдывает отмену группирования, используемого в наземной сейсморазведке в качестве вынужденной меры для подавления этих помех. Именно точечный многокомпонентный прием, конечно же при достаточной плотности наблюдений, позволяет в полной мере приблизиться к давнему идеалу сейсморазведчиков — иметь сейсморазведку одновременно и пространственной, и высокоразрешающей, и многоволновой.

Применение многокомпонентных приемников требовало решения вопроса об их пространственной ориентации. Много лет назад, а нередко и в настоящее время, для ориентации сейсμοприемников использовали их задавливание в дно водоема в определенном положении при помощи специальных устройств, аналогичных устройствам для погружения на нужную глубину зарядов ВВ. Продолжительное время в морской и скважинной сейсморазведке использовали трехкомпонентные установки с кардановым подвесом, позволяющим обеспечить самоориентирование кассет с сейсμοприемниками в вертикальной плоскости. Однако эти установки, кроме их дороговизны, обнаружили в процессе их применения еще один, гораздо более существенный недостаток. Проявлялся он в возникновении собственных колебаний корпусов сейсμοприемников, закрепленных в кардановых подвесах (устные сообщения). Поэтому от них начали отказываться, переходя от принудительной ориентации каждого из сейсμοприемников, входящих в многокомпонентную установку, к расчету требуемой компоненты после определения фактического пространственного положения этой установки. *Определение пространственного положения

ТРАНЗИТНЫЕ ЗОНЫ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

корпуса прибора, содержащего многокомпонентную установку, достигается путем установки в нем компаса и инклинометра, способного определять наклон корпуса и его повороты относительно продольной оси. Кроме того, при наблюдениях 3D ориентирование трех компонентных установок в каждой точке приема оказалось возможным осуществлять на стадии обработки записей после определения пространственного положения сейсмоприемников по поляризации первых волн. Считается, что проблема позиционирования одиночных контейнеров с приемниками, успешно решаемая на этапе обработки данных при достаточно надежных координатах источников, менее важна, чем проблема контакта приемников со средой. По этой причине более качественная установка приемников в грунт при помощи контейнеров считается более предпочтительной по сравнению с их креплением непосредственно к донным кабелям.

Рассмотрим в качестве примера одну из современных сейсморегистрирующих систем (GeoRes SubSea System), позволяющих проводить многокомпонентные донные наблюдения в условиях больших глубин и на мелководье. Эта система позволяет регистрировать сейсмические сигналы, поступающие от многих тысяч 4-компонентных установок. Такая установка состоит из трех взаимноортогональных сейсмоприемников и гидрофона, помещенных вместе с 24-битным аналого-цифровым преобразователем в герметичный корпус. Цифровой блок с датчиками содержит также встроенный инклинометр, исключающий применение карданового подвеса. Чувствительность каждого из сейсмоприемников вдоль его оси не зависит от его наклона, обеспечивая тем самым точность последующих расчетов требуемых компонент волнового сейсмического поля. Содержащийся в установке гидрофон сохраняет работоспособность при глубинах до 3500 м, изменяя при этом свою чувствительность не более чем на 1,5 дБ. Такие многокомпонентные установки могут использоваться раздельно или запрессовываться в укладываемый на дно моря кабель, не содержащий разъемов, применение которых небезопасно из-за возможных утечек.

Обработка данных

Обработку сейсмических данных, полученных в транзитных зонах, проводят, как правило, в рамках хорошо известных систем обработки, с использованием стандартных и специализированных пакетов интерпретации кинематических и динамических характеристик отраженных волн (в докритической и закритической области), а также преломленных и рефрагированных волн.

Специфика обработки данных, полученных в переходных зонах, обусловлена необходимостью позиционирования приемных установок, определения ориентации содержащихся в установке сейсмоприемников, а также согласования сейсмических разрезов, полученных на стыках с транзитной зоной с использованием различных источников и/или приемников колебаний. Кроме того, значительное место в обработке занимает улучшение качества материалов путем подавления волн-помех, характерных для мелководья.

При определении координат источников и приемников колебаний в условиях транзитных зон возникает множество проблем (Wilson B., 1998). Использование первых вступлений прямых и, главным образом, преломленных волн позволяет с достаточно высокой точностью автоматически определять координаты приемника и/или источника методом наименьших квадратов путем

формирования поля скоростей в верхней части разреза.

После уточнения координат источников и приемников определяют ориентацию в пространстве трехкомпонентных неориентированных установок. Если они снабжены компасом и инклинометрами, то для этого используют их показания. Чаще всего для этой цели используют поляризацию первой волны, распространяющейся между парами источник-приемник с уже известными координатами. В случае установок с приемниками в кардановых подвесах задача упрощается и сводится к определению ориентации лишь горизонтальных компонент. В общем случае приходится определять ориентацию каждой из трех компонент. При последующей обработке знание фактического положения компонент трехкомпонентной установки в пространстве позволяет рассчитать в каждой точке приема требуемую компоненту для волн заданных типов и классов, используемых при обработке.

Согласование (стыковка между собой) данных, полученных в транзитной зоне и по обе стороны от нее, предполагает ввод соответствующей априорной и остаточной статистики, а также фазовую коррекцию. До фазовой коррекции каждый из объемов данных, полученных с соответствующим типом приемника и источника, обрабатывают путем ввода статических поправок за ВЧР применения деконволюции и ввода остаточной статистики. Оказалось, что двухэтапная фазовая коррекция, выполненная с использованием методики последовательной фазовой коррекции, описанной Хатчинсоном и Линком (Hutchinson, D. and Link, B., 1994), вначале для различных приемников, а затем для различных источников сейсмических колебаний, является более эффективной (Vestrum R. и др., 2001). Существенно, что для увязки между собой данных, полученных различными приемниками, к более надежному результату привело использование записей, полученных с виб्रोисточником, поскольку он обеспечил более высокое отношение сигнал/помеха и более широкую полосу возбуждаемых колебаний по сравнению с пневмопушкой. Проектирование постоянных по площади формирующих фильтров осуществлялось для разнотипных записей, полученных в пределах одних и тех же перекрывающихся участков (бинов).

Дальнейшие перспективы

Перспективы дальнейшего развития технологий сейсморазведочных работ в транзитных зонах связаны с общим прогрессом теории и практики сейсморазведки. Тем не менее, можно наметить следующие его направления в рамках рассмотренных в обзоре вопросов.

В области возбуждения колебаний: совершенствование существующих и создание новых эффективных невзрывных источников колебаний, позволяющих полностью отказаться от применения ВВ в транзитных зонах, опробовать морские вибраторы и оценить перспективы их применения при работах в транзитных зонах России.

В области приема колебаний: широкое применение многокомпонентных, в том числе погружных, приемников скорости и ускорения смещения; применение сверхмногоканальных регистрирующих систем с переходом на проведение работ со сверхплотными системами наблюдений без группирования.

В области систем наблюдений: использование систем, в наибольшей степени соответствующих задачам и условиям работ, а также особенностям строения разведываемых объектов; широкое

акваториях и в транзитных зонах: методика, технология и результаты. - Сейсмические исследования земной коры. Сборник докладов Международной научной конференции, г. Новосибирск. Новосибирск, изд. СО РАН, 2004, с. 184-189.

3. Шехтман Г.А. Площадная модификация метода ВСП. Геофизика, №1 1996, с. 23-28.

4. Шехтман Г.А. Обращенное ВСП в процессе бурения. Геофизика, №2 1997, с. 39-48.

5 Kevin N.J. Pelletier and Witan Odakar Ardjakusumah, Malacca 3D: A comprehensive Approach to Seismic Data Acquisition in Transition Zones. Canadian SEG annual convention, 1999

7. Garotta R., Shear Waves from Acquisition to Interpretation - 2000 Distinguished Instructor Short Course, SEG, 1999

8. Luziotti E.A., Moore D.E., Gordon E.S., Moldoveanu N., Spradley M., Brooks T., Chang M., Keys to a successful 3-D survey in the transition zone of West Bay Field, Louisiana. The Leading Edge, Vol. 14 (1995), pp. 763-772.

9. Meunier J., Chameau J.J., Bijou J., Maida J., 4C Sea-bottom receiver evaluation. 60th EAGE conference, Leipzig 1998

10. Musser J.A., Seismic Survey Designs for Converted Waves. Expanded Abstracts of SEG International Exposition and 73rd Annual Meeting, 2003

11 Moldoveanu N. Multicomponent acquisition in transition zone environment: an experimental study. Expanded Abstracts of SEG International Exposition and 68th Annual Meeting New Orleans 1998 p 738-739

12. Rolph B. Integrated 3D land, transition zone and shallow marine acquisition: Internal Publication, Seismograph Service, SSL, 1990

13. Smith J.G., Jenkerson M.R., Acquiring and Processing Marine Vibrator Data in the Transition Zone Expanded Abstracts of SEG International Exposition and 68th Annual Meeting, New Orleans, 1998, p 136-139.

14. Vestrum R., Avramovic V., Tilson R., Transition zone phase matching: A seismic processing case history. Expanded Abstracts of SEG International Exposition and 71st Annual Meeting, San Antonio, 2001. p.1820-1822

15. Wilson B., Solving Problems in Land and Transition Zone Positioning. Expanded Abstracts of SEG International Exposition and 68th Annual Meeting, New Orleans, 1998, p.129-132.

16. Yilmaz O., Seismic data processing. - Tulsa, SEG, 1994

1. Притчет У. Получение надежных данных сейсморазведки. Пер с англ. М.: Мир, 1999. - 448 с., ил.

Персональная информация о подписчике/Почтовый адрес организации

Журнал "Приборы
и системы разведочной
геофизики"

4 комплекта
6400 руб