

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЦЕНТР ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ
СПЕЦИАЛИСТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО ДЕЛА**

А.С.Баянов, В.П.Меркулов, Д.Ю.Степанов

**ВЕРТИКАЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ
ПРОФИЛИРОВАНИЕ НЕФТЯНЫХ
И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

Учебное пособие

Издательство
Томского политехнического университета
2009

УДК 550.837

Б

Баянов А.С.

Б Вертикальное сейсмическое профилирование нефтяных и газовых скважин: учебное пособие / А.С. Баянов, В.П. Меркулов, Д.Ю. Степанов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 100 с.

В пособии приведены краткие сведения о применяемых аппаратурно-методических комплексах, рассмотрены вопросы методики и технологии полевых работ, изложены графы предварительной и основной обработки, дано описание алгоритмов построения временных разрезов ВСП МОВ для случаев однородной и многослойной покрывающих сред, освещены результаты изучения волнового сейсмического поля, скоростного разреза и стратиграфической привязки отражений, представлены наиболее интересные примеры решения задач изучения геологического строения месторождений.

Пособие предназначено для слушателей инновационной магистерской программы «Геолого-геофизические проблемы освоения месторождений нефти и газа» направления 130500 – НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО, может быть полезно специалистам, занимающимся проблемами разведки и доразведки нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений.

УДК 550.837

Рецензенты

Член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук,
заведующий лабораторией сейсмогеологического моделирования нефтегазовых
систем Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
Конторович В.А.

Кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник
Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
Белозеров В.Б.

© Томский политехнический университет, 2009
© Баянов А.С., Меркулов В.П., Степанов Д.Ю., 2009
© Обложка. Издательство Томского
политехнического университета, 2009
© Центр профессиональной переподготовки
специалистов нефтегазового дела, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. АППАРАТУРА И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВСП	6
2. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ	10
3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ВСП	15
3.1. Материалы, предоставляемые для обработки на ВЦ	15
3.2. Задачи и этапы цифровой обработки	16
3.3. Граф предварительной обработки	17
3.4. Основная обработка	19
3.4.1. Изучение скоростных характеристик среды	20
3.4.2. Изучение динамических характеристик волн	22
3.4.3. Выделение поля целевых волн	23
3.4.4. Приведение поля целевых волн к вертикали и построение монтажной схемы	26
3.5. Основная обработка непродольного ВСП	28
3.6. Построение временных разрезов по данным ВСП	30
3.6.1. О соотношении горизонтального и вертикального годографов отраженных волн	31
3.6.2. Структура поля точек отражения при ВСП	34
3.6.3. О закономерностях распределения скоростей V_p	39
3.6.4. Расчет и ввод кинематических поправок	40
3.6.5. Построение временных разрезов в случае многослойной покрывающей среды	42
3.6.6. Построение временных разрезов по обменным отраженным волнам	46
3.6.7. Учет инклинометрии при построении временных разрезов ВСП МОВ	50
4. ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ДАННЫМ ВСП	54
4.1. Основные особенности волнового поля, регистрируемого при ВСП	54
4.1.1. Характеристика волнового поля, наблюденного при ВСП в скважине 453-Останинской	57
4.2. Стратиграфическая привязка отраженных волн	63
4.3. Определение скоростей распространения упругих волн в покрывающей толще	70
4.4. Возможности ВСП при решении геологических задач	77
4.4.1. Решение структурно-тектонических задач	79
4.4.2. Выделение зон повышенной тектонической трещиноватости и эрозионных врезов	81
4.4.3. Выделение водонефтяного контакта	85
4.4.4. Детальное расчленение разреза	85
4.4.5. Выделение клиноформного строения	90
4.4.6. Возможности прогноза залежей УВ на основе изучения характера распределения скоростей распространения продольных V_p и поперечных V_s волн	90
4.4.7. Примеры временных разрезов, построенных с учетом многослойного характера покрывающей среды (или эффекта преломления)	93
ЛИТЕРАТУРА	99

ВВЕДЕНИЕ

ВСП – вертикальное сейсмическое профилирование – один из методов скважинной сейсморазведки, в основе которого лежит изучение особенностей волнового поля во внутренних точках среды применительно к решению целого ряда задач по геологическому строению в зоне, близлежащей к каротируемой скважине.

Метод ВСП по своим возможностям органично вписывается в комплекс ГИС и наземной сейсморазведки, играя роль связующего звена между ними. В общем комплексе скважинной геофизики данные ВСП существенно расширяют информационную представительность об особенностях геологического строения и физических свойствах среды не только по стволу скважины, но и в околоскважинном пространстве. Под околоскважинным пространством понимается некоторая субцилиндрическая область радиусом, равным половине расстояния: источник – устье скважины, и высотой равной интервалу наблюдения, совпадающему, как правило, с глубиной скважины.

В методическом отношении суть метода заключается в регистрации упругих колебаний от источника, расположенного вблизи дневной поверхности, сейсмоприемником, помещенным в каротируемую скважину и перемещаемым в процессе наблюдений с заданным шагом от забоя до ее устья. При обратном расположении источника и сейсмоприемника ВСП называется обращенным.

В обобщенном виде задача, выдвигаемая перед методом ВСП, состоит в получении опорной информации для интерпретации материалов наземной сейсморазведки, включающей в себя представления о:

- скоростной модели среды для двух типов волн: продольных и поперечных;
- составе волнового сейсмического поля, кинематических и динамических особенностях полезных волн;
- стратиграфической приуроченности доминирующих отраженных волн и отражений, связанных с зонально или локально развитыми границами, представляющими интерес для изучения продуктивных комплексов;
- детальном расчленении вскрытого скважиной разреза и соответственно возможностях картирования толщин продуктивных пластов;
- строении околоскважинного пространства.

История скважинных сейсмических исследований насчитывает уже около 70 лет. На начальном этапе они сводились к изучению времен пробега прямой продольной волны, возбуждаемой у устья скважины и принимаемой перемещающимся по стволу скважины сейсмоприемником. Эта модификация скважинных сейсмических исследований получила название сейсмокаротаж. Основная цель этого вида работ – определение скоростей распространения упругих колебаний в среде.

В 0-х гг. прошлого столетия были начаты эксперименты по регистрации волнового поля в последующих вступлениях. Были выполнены большие объемы работ по созданию глубинной и регистрирующей аппаратуры, по изучению систем наблюдений применительно к кругу решаемых задач и т. д.

Все это привело к созданию метода ВСП, основная заслуга в котором принадлежит Е.И. Гальперину. Богатейшие материалы, накопленные в процессе создания метода, обобщены, проанализированы и систематизированы в двух его монографиях, вышедших в 1971 и 1982 гг. Основы, заложенные в этих трудах, не утратили своего значения и сегодня.

Сейсмические наблюдения в скважинах методом ВСП особенно востребованы на стадии доразведки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений. Получаемая

информация о строении разреза в околоскважинном пространстве на удалениях нескольких сот метров, а в благоприятных условиях до 1...1.5 км, позволяет оптимизировать выбор точек заложения доразведочных и эксплуатационных скважин, снижая вероятность их непродуктивности.

По имеющейся информации в ряде случаев ВСП применяется на стадии мониторинга эксплуатации залежи, решая такие тонкие задачи, как изменение геометрических размеров залежи и соответственно выработки запасов и т. п.

В основных районах нефтегазодобычи нашей страны объемы скважинных сейсмических исследований методом ВСП непрерывно растут. В последние пять лет существенно расширился фронт работ этим методом в районах Западной Сибири и, в частности, на территории Томской области.

Материалы, полученные с помощью ВСП, отличаются от материалов наземной сейсморазведки как в части получения так и, особенно, в части их цифровой обработки и интерпретации. В этой связи ощущается дефицит специалистов, подготовленных к работе в области ВСП.

Настоящее пособие имеет целью дать необходимую информацию по проведению полевых работ, процедурам обработки, приемам интерпретации первичных и результативных материалов. Приводимая информация основана на компиляции имеющихся публикаций, а также на изложении опыта авторов, занимающихся в течение нескольких лет обработкой и интерпретацией материалов ВСП.

Пособие состоит из четырех разделов.

В первом разделе дано краткое описание отечественных аппаратурно-методических комплексов.

Во втором разделе рассмотрены практические вопросы методики, техники и технологии полевых работ при проведении ВСП.

Третий раздел посвящен описанию графов цифровой обработки материалов ВСП, подробно изложен алгоритм построения временных разрезов МОВ ВСП, отмечены особенности применяемого при этом скоростного закона, расположения точек отражения, учета преломления лучей в случае градиентной среды.

В четвертом разделе изложена характеристика результативных материалов обработки и интерпретации. На примерах реальных материалов в нем приводится подробное описание особенностей и состава волнового сейсмического поля, стратиграфической приуроченности наблюдаемых отражений, скоростной модели среды. Рассмотрены наиболее интересные примеры решения задач по геологическому строению в различных сейсмогеологических условиях.

Авторы выражают благодарность Е.Ф. Болговой за помощь в подборке иллюстраций и оформительскую работу.

1. АППАРАТУРА И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВСП

Аппаратурные комплексы для проведения ВСП принято разделять на глубинные и наземные. По показателям работоспособности и надежности глубинной аппаратуре принадлежит особая роль в общем аппаратурно-техническом комплексе ВСП.

Глубинная аппаратура – скважинный зонд для приема сейсмических сигналов, спускаемый в скважину на многожильном кабеле.

Основными характеристиками его являются канальность, система прижима к стенке скважины и способ передачи информации для регистрации наземной аппаратурой. Важной характеристикой скважинного сейсмического зонда является также надежность в работе в условиях высоких температуры и давления на больших глубинах.

Развитие глубинной сейсмоприемной аппаратуры пережило длительную конструктивную историю. В начальный период скважинные зонды имели ограниченную канальность с проводной передачей информации к регистрирующей аппаратуре. Они были рассчитаны, как правило, на однокомпонентный (Z) прием сигналов. Совершенствование сейсмоприемных скважинных зондов шло по пути наращивания канальности, компонентности и упрощения системы передачи сигналов.

К настоящему времени разработаны и вошли в практику скважинных сейсмических исследований методом ВСП многоточечные трехкомпонентные сейсмоприемные зонды. Конструктивно они выполнены в виде отдельных модулей, соединяемых между собой кабелем. Длина межмодульных кабельных соединителей определяется шагом пунктов приема по скважине. Общий вид и технические характеристики такого модуля показаны на рис. 1.1.

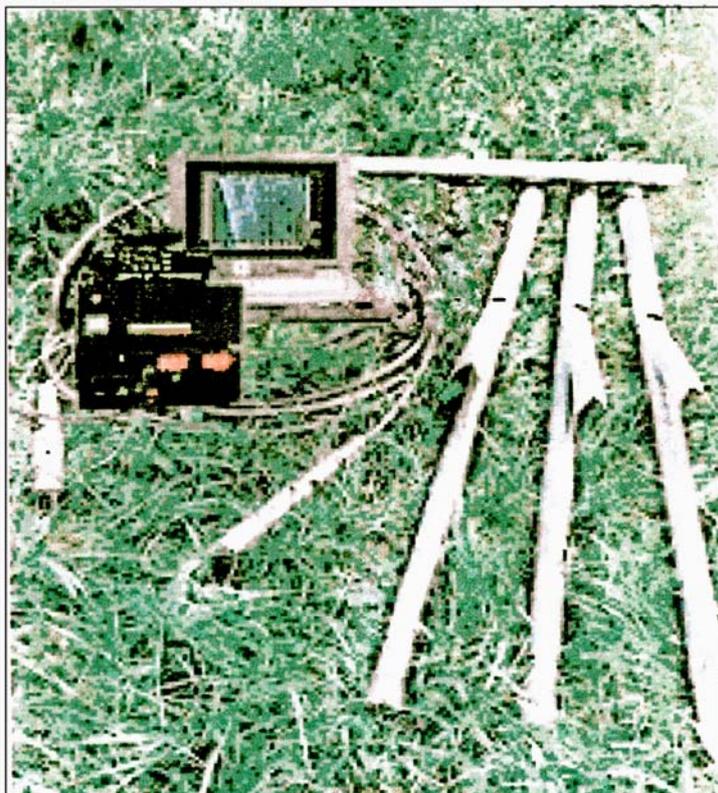
Важным элементом конструкции скважинного сейсмоприемного зонда является прижимное устройство, обеспечивающее надежный контакт сейсмоприемников со стенками скважины. Наилучшим является управляемое прижимное устройство многократного действия. Такое устройство по сигналу с поверхности надежно прижимает приборы к стенке скважины при приеме сейсмических сигналов и освобождает их при спуско-подъемных операциях. Преимущества управляемых прижимных устройств заключаются в обеспечении наиболее жесткого контакта сейсмоприемников со стенкой скважины за счет существенного превышения (до 10 раз) прижимного усилия над весом прибора.

Применяются также зонды с неуправляемыми прижимными устройствами скользящего типа, сконструированными по принципу рессоры. Такие приборы менее жестко прижимаются к стенке скважины, но также как и зонды с управляемыми прижимными устройствами, могут свободно перемещаться вверх и вниз по стволу скважины. Возможность свободного перемещения зонда и производства наблюдений, как при его спуске, так и при подъеме является важным фактором, обеспечивающим высокую технологичность процесса наблюдений с многих пунктов возбуждения.

Показанный на рис. 1.1 аппаратурно-методический комплекс АМЦ-ВСП-3-48М5 снабжен отдельно управляемыми прижимными устройствами электромеханического типа. Устройства этого типа обеспечивают по команде с поверхности отдельные прижим и освобождение каждого модуля, как на спуске, так и на подъеме всего снаряда.

Модули рассматриваемого комплекса оснащены тремя ортогонально расположенными сейсмоприемниками, оси чувствительности которых, ориентированы в вертикальном (Z-компонента) и горизонтальном (X,-Y-компоненты) направлениях. Ориентирование горизонтальных компонент в направлениях на ПВ в комплексе не

предусмотрено; оно осуществляется в процессе обработки материалов путем преобразования системы координат.



Аппаратура может работать с различными системами синхронизации сейсмических возбуждений типа ССВ-1, ССВ-2, ГСР, SGS-S, SGD, WSI, Pelton и иными системами.

Технические характеристики

Число модулей в зонде	3+20
шаг дискретизации, мс	0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0
Динамический диапазон преобразования дБ мгновенный (в пределах одной сейсмотрассы) полный	90 150
Инструментальный шум мкВ	0,06±0,1
Число каналов регистрации наземных каналов	до 8
Электропитание, В, Гц	220, 50
Максимальная температура эксплуатации, °С	120±160
Максимальное гидростатическое давление, Мпа	100
Габаритные размеры приемного модуля, мм диаметр	48
длина	1500
вес приемного модуля, кг	11
Усиление на конце рычага, кг	не менее 85
Длина межмодульных кабельных соединителей	по согласованию с заказчиком

Рис. 1.1 Аппаратно-методический комплекс АМЦ-ВСП-3-48М5



Назначение

Модульная программно-управляемая цифровая аппаратура предназначена для высокочувствительной трехкомпонентной скважинной сейсморазведки в обсаженных и необсаженных скважинах диаметром от 76 до 340 мм, при температуре от минус 40 до плюс 85 град С и давлением до 80 Мпа

Технические характеристики

Вес приемного модуля	11 кг
Усилие на конце рычага прижимного устройства	85-100 кг
Конструкция узла сейсмоприемников	трехкомпонентная ортогональная
Шаг дискретизации сигналов	0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 мс
Длина регистрируемой сейсмотрассы	7000 отсчетов
Мгновенный динамический диапазон	110дБ
Количество разрядов аналого-цифрового преобразователя	23 плюс знак

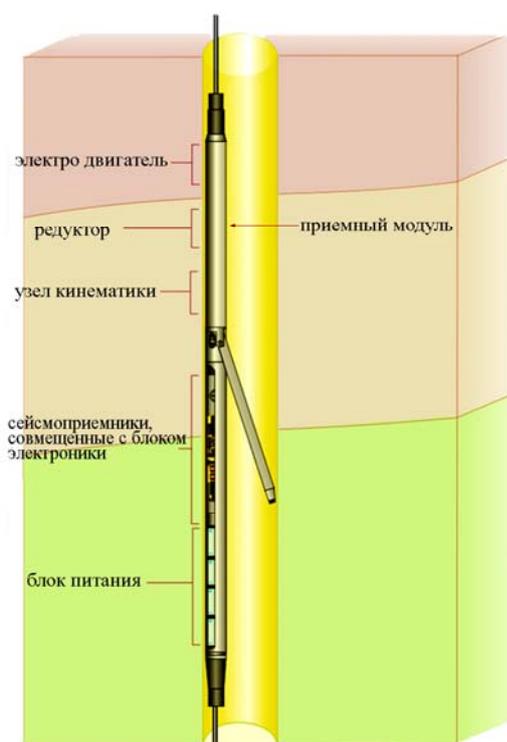
Программное обеспечение аппаратного комплекса

Работа аппаратного комплекса осуществляется под управлением бортовой программы VSP-GTS2, которая обеспечивает выполнение следующих основных технологических операций:

1. Установка и просмотр исходных технологических параметров комплекса;
2. Корректировка технологических параметров комплекса в процессе работы;
3. Управление электропитанием скважинных модулей;
4. Тестирование и контроль работы скважинных модулей;
5. Управление механическими прижимными устройствами скважинных модулей;
6. Взаимодействие с сейсмическими источниками, инициализация возбуждения и регистрации, прием данных, визуальный контроль данных и их запись на жесткий диск компьютера;
7. Переформатирование данных из внутреннего формата в сейсмический формат SEG-Y;
8. Автоматическое ведение и документирование рапорта оператора;
9. Экспресс-анализ зарегистрированных данных (спектральный анализ, полосовая частотная фильтрация, амплитудная регулировка).

Рис. 1.2. Аппаратурный комплекс скважинной сейсморазведки ГТС-ВСП-3-48

Скважинная часть аппаратурного комплекса ГТС-ВСП-3-48



Включает набор приемных модулей, соединенных между собой кабельными переключками. Трехкомпонентные телеметрические регистраторы, включающие X, Y, Z сейсмоприемники и блок электроники, выполняют предварительное усиление сигналов от сейсмических датчиков, аналого-цифровое преобразование, накопление, временное хранение и передачу информации в цифровом виде по двухпроводной линии связи. Буферизация данных перед их передачей происходит внутри каждого приемного модуля. Механическая часть приемных модулей выполнена в ОАО НПШ "ВНИИГИС". Прижимное устройство механическое, рычажного типа с приводом от электромотора. Управление прижимом производится компьютером. В качестве приемников сигнала используются малогабаритные термостойкие сейсмоприемники GMT-12.5 (ОЙО-ГЕО ИМПУЛЬС).

Наземная часть аппаратурного комплекса ГТС-ВСП-3-48

1. Трехкомпонентный наземный регистратор по конструкции аналогичный скважинному и предназначен для наземных контрольных наблюдений;
2. Адаптер линии связи предназначен для организации обмена данными по двум двухпроводным линиям связи между телеметрическими зондами и USB портом бортового вычислительного комплекса, а также для управления системой синхронизации возбуждения;
3. Бортовой компьютер типа Notebook с процессором Pentium, предназначен для управления работой зондов, оперативного контроля, сбора и экспресс-анализа регистрируемой сейсмической информации.

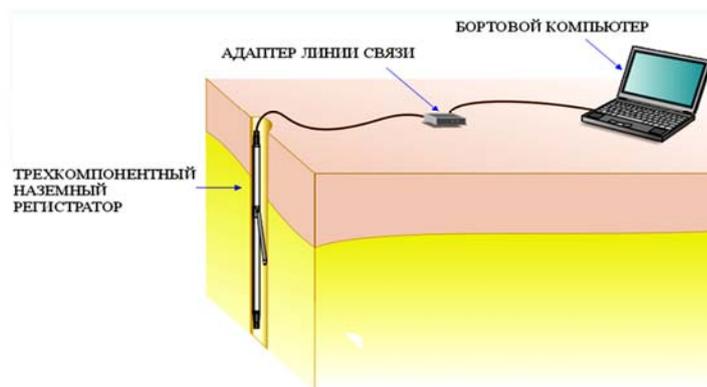


Рис. 1.3. Скважинная и наземная части аппаратурного комплекса ГТС-ВСП-3-48

2. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Система наблюдений. Также как и при наземных работах системы наблюдений при ВСП состоят из линии приема и пунктов возбуждения. От систем наблюдений на поверхности они отличаются не только расположением линии приема в скважине, но также и длиной единичных приемных расстановок.

Длина единичной приемной расстановки на поверхности соизмерима приближенно с протяженностью всего вертикального профиля, а в скважине она не превышает первых десятков метров, т. е. длины приемных расстановок при наземных и скважинных наблюдениях различаются между собой не менее, чем на два-три порядка. Формирование наблюдений на вертикальном профиле осуществляется путем перемещения сейсмоприемной линии снизу вверх при фиксированном положении одного или нескольких пунктов возбуждения.

Применяются две модификации систем наблюдения: продольное и непродольное профилирование.

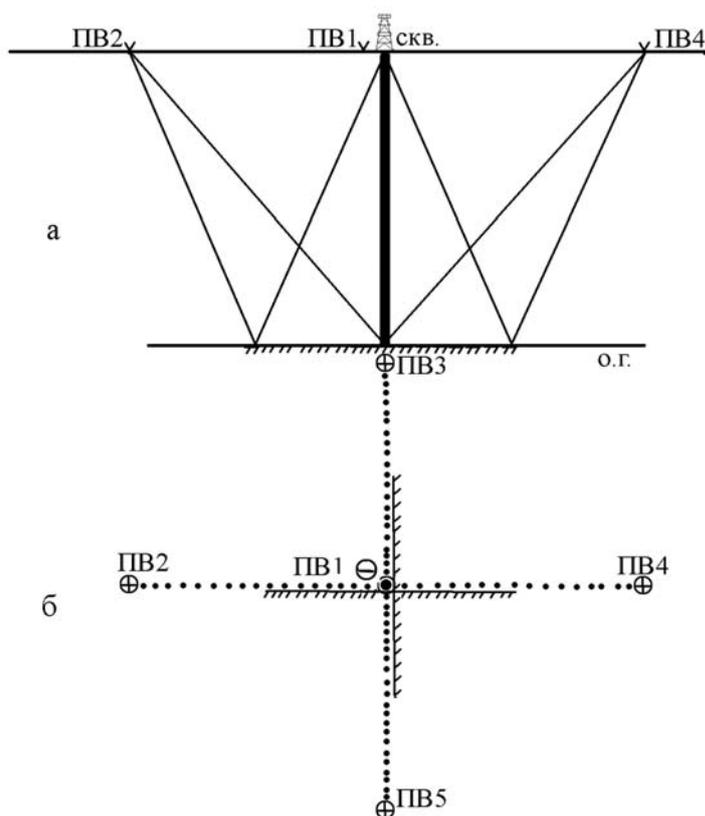


Рис. 2.1. Системы наблюдений при ВСП в вертикальной плоскости (а) и в плане (б)

- ⊖ ПВ1 пункт взрыва при продольном профилировании (ВСП)
- ⊕ ПВ2, 3, 4, 5 - Пункты взрыва при непродольном профилировании (НВСП)
- Каротируемая скважина
- ▨ Участки отражающей границы, от которых зафиксированы отражения при НВСП

Под продольным вертикальным профилированием понимается профиль, отрабатанный из ПВ, расположенного на линии профиля, в идеальном случае непосредствен-

но у устья скважины. Однако, такое расположение ПВ чревато возбуждением нежелательных помех, связанных с вибрационными явлениями в скважине. Поэтому ПВ относят обычно на небольшие расстояния (значительно меньшие длины вертикального профиля), порядка 100...150 м

Под непродольным профилированием понимается профиль, отработанный из пункта возбуждения, смещенного с линии профиля на расстояние, соизмеримое с протяженностью самого вертикального (рис. 2.1) профиля. По опыту работ в районах Западной Сибири оптимальным удалением ПВ от линии профиля считается удаление, не превышающее 0.5...0.7 глубины залегания наиболее глубоко залегающего и подлежащего картированию отражающего горизонта. Например, при регулярно картируемых горизонтах Π^a и Φ_2 , залегающих на глубинах 2.5...3.0 км, удаление ПВ принимается равным 1500...1700 м.

Системы наблюдений при ВСП выбираются в соответствии с геологическим строением района и конкретными задачами. При этом предварительно изучаются материалы, характеризующие сейсмогеологическую и орогидрографическую обстановки на участке работ; уточняются местоположение и особенности объекта, подлежащего изучению. К особенностям объекта относятся, например, тектонические нарушения, зоны выклинивания или замещения, положение свода малоамплитудного поднятия и т. п. Примеры схем расположения ПВ и скважин ВСП приведены на рис. 2.2.

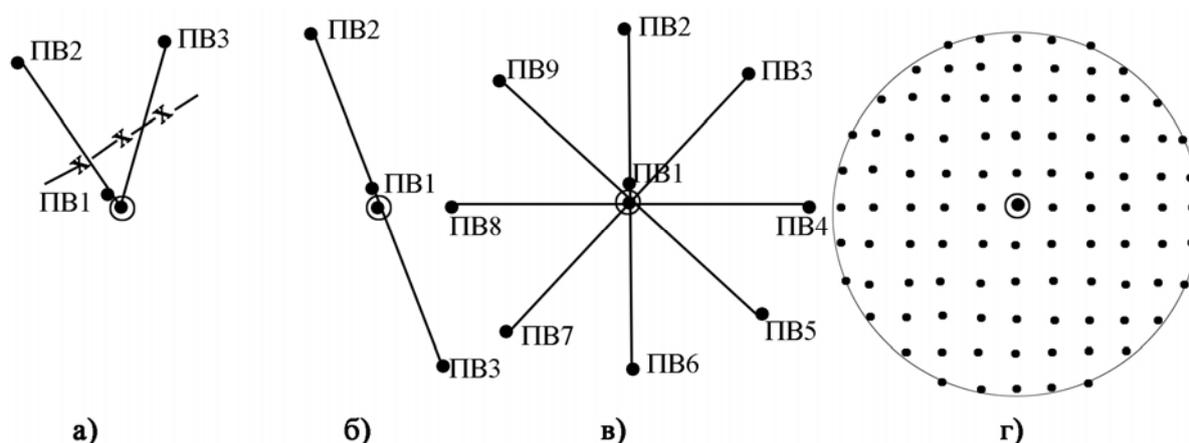


Рис. 2.2. Примеры схем расположения ПВ и картируемых скважин при ВСП применительно к решению геологических задач

- уточнение реальности ранее выделенных мало- или безамплитудных тектонических нарушений;
- изучение геологического разреза в заданном направлении;
- изучение особенностей строения в околоскважинной зоне с целью рекомендаций на заложение куста эксплуатационных скважин;
- мониторинг геометрических и добычных параметров эксплуатируемой залежи (схема 4Д ВСП).

- ⊙ Каротируемая скважина
- ПВ2 Пункты взрыва
- ↔ Тектонические нарушения

В настоящее время при проведении ВСП во всех, без исключения, случаях применяются системы наблюдений с комбинированием продольного и непродольного профилирования.

Число непродольных профилей (выносных ПВ) определяется в соответствии с поставленной задачей получения необходимых представлений о строении изучаемого объекта в околоскважинной зоне. При необходимости получить представление в одном направлении ограничиваются одним выносным ПВ. Для получения представлений в окружающем скважину пространстве целесообразно провести наблюдения минимум из трех-четырёх ПВ. Очевидно, что, чем больше число выносных ПВ, тем выше представительность и детальность получаемой информации о строении изучаемого объекта.

Системы наблюдений с массовым применением ПВ (от 100 и более) позволяют осуществлять мониторинг геометрических и промысловых параметров эксплуатируемой залежи УВ, что обеспечивает поддержание оптимального режима отбора углеводородного сырья. Такие системы практикующиеся, например, в США, получили название 4Д ВСП (четвертая координата – время) (рис. 2.2, з).

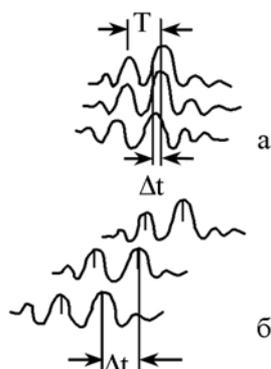


Рис. 2.3. К определению шага пунктов приема

Шаг пунктов приема вдоль вертикального профиля определяется в принципе теми же критериями, что и при наземных наблюдениях: величина его выбирается такой, при которой обеспечивается уверенное корреляционное прослеживание осей синфазности полезных волн. На рис. 2.3 показаны трассы осей синфазности при разных шагах точек приема полезных колебаний. При рассмотрении рисунков а и б можно видеть, что возможность уверенного прослеживания полезной волны создается при условии, когда разница временного положения Δt одноименных фаз на соседних трассах не превышает половины периода колебаний (рис. 2.3, а). Если $\Delta t > T/2$, то возникает опасность ошибочной корреляции (рис. 2.3, б). Поэтому шаг между точками приема выбирают таким, при котором $\Delta t \leq T/2$. Расстояние между соседними точками приема Δx с учетом кажущейся скорости определяется по формуле:

$$\Delta x \leq \frac{V_k \cdot T}{2}.$$

При изучении разрезов мезо-кайнозойского платформенного чехла Западной Сибири оптимальным признан шаг между точками приема 10 м.

Многokратное повторение взрывов при ВСП позволяет без больших затрат проводить параллельно и наземные наблюдения. В наиболее упрощенном варианте сочетание обоих видов наблюдений реализуется путем проведения наземных наблюдений на линиях между ПВ и каротируемой скважиной. Такое сочетание систем наблюдений увеличивает вдвое радиус освещения околоскважинной зоны, а также обеспечивает увязку отраженных волн, зарегистрированных при скважинных и наземных наблюдениях, по взаимным временам (рис. 2.4).

Повышение детальности изучения околоскважинной зоны можно осуществить также за счет наблюдений на лучах, не совмещенных с ПВ, образующих непродольные

профили на поверхности, и, таким образом, получать информацию о строении среды в межлучевых зонах.

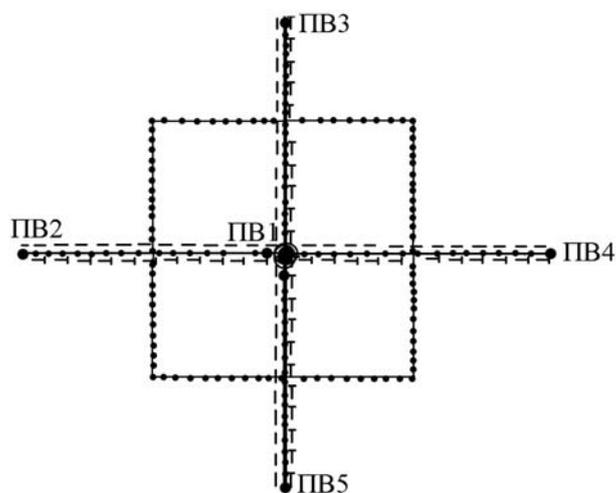


Рис. 2.4. Системы попутных наземных наблюдений

- | | |
|---------|---|
| ● | Каротируемая скважина |
| ● ПВ2 | Пункты взрывов ВСП |
| а - - - | Профили наземных наблюдений: |
| б - - - | |
| ●●●●● | Участки отражающих границ, от которых зафиксированы отражения на продольных и непродольных профилях |

В большинстве случаев ВСП проводится на площадях, хорошо изученных наземной сейсморазведкой. Поэтому при проектировании системы наблюдений при ВСП обязательно анализируются и учитываются сеть ранее отработанных сейсмопрофилей и полученные по ним результаты геологического строения.

Бурение взрывных скважин. Для бурения взрывных скважин применяются как установки механического, так и ручного бурения. В условиях широко распространенной заболоченности Западной Сибири применение типовых бурстанков возможно лишь в зимний период при наличии зимних дорог – зимников. Преимущества их применения – возможность бурения взрывных скважин заданной глубины с минимальными затратами времени.

В летний и межсезонные периоды бурение взрывных скважин производится с помощью облегченных – переносных механических установок или ручного комплекта.

Простейшая установка – мотобур, для механического привода которого используется бензиновый двигатель от мотопилы типа «Дружба». Недостаток установки – малая мощность двигателя, не способная обеспечить бурение скважин оптимальной глубины.

Отрядом ВСП Томского геофизического треста в весенне-осенне-летний период применяется комплект ручного бурения типа «Эмпайер». В качестве режущего инструмента в этом комплекте используется долото типа «РХ». С помощью комплекта обеспечивается бурение скважин глубиной до 12...15 м.

Спуск-подъем бурильного инструмента при ручном способе бурения осуществляется с помощью переносных лебедки и треноги.

С целью сохранения условий возбуждения взрывные скважины независимо от применяемого способа бурения обсаживаются облегченными обсадными трубами.

При возможности бурения взрывных скважин глубиной, превышающей на 10...15 м глубину залегания подошвы ЗМС, желательно проведение опытных работ по выбору оптимальных глубины заложения и массы заряда.

Для определения оптимальной глубины заложения заряда бурятся две скважины: взрывная и наблюдательная, расположенные друг от друга на расстоянии 3...5 м. Глубина наблюдательной скважины примерно на 5 м глубже взрывной. Во взрывную скважину опускают косичку с гирляндным расположением детонаторов с шагом между ними 1 м, а на забой и устье наблюдательной скважины устанавливают сейсмоприемники. В наблюдательную скважину опускают сейсмоприемник в герметизированном контейнере, на специальной кабеле.

Последовательно взрывая детонаторы от забоя к устью скважины, осуществляют запись колебаний, принятых заглубленным и поверхностным сейсмоприемниками при фиксированных параметрах регистрирующей аппаратуры. Оптимальная глубина заложения заряда находится по интервалу первого заметного увеличения амплитуды прямой продольной волны, расположенному ниже подошвы ЗМС.

Для выбора величины заряда производят взрывы на выбранной оптимальной глубине, последовательно увеличивая заряд (например, 0.1; 0.2; 0.4; 0.8 кг и т. д.) до тех пор, пока не будут получены достаточно четкие по амплитудной выразительности записи отраженных волн от предусмотренных для картирования отражающих границ. Во всех случаях следует стремиться к применению по возможности минимальной величины заряда, способствуя тем самым формированию относительно высокочастотного спектра возбуждаемых колебаний.

При невозможности проведения опытных работ по описанной методике оптимальные условия возбуждения устанавливаются путем анализа записей от взрывов зарядов разной величины на разных глубинах в одной взрывной скважине.

Помимо взрывных источников, имеется опыт применения вибрационных и импульсных невзрывных источников. Однако, преобладающими остаются взрывные.

Спускоподъемные операции сейсмоприемных зондов осуществляются с помощью подъемников на трехжильном кабеле. Контроль положения зонда проводится с помощью каротажных счетчиков СО-62, установленных на мерном колесе.

Глубокая скважина перед проведением наблюдений должна быть промыта, заполнена водой или буровым раствором. Готовность скважины проверяется путем шаблонирования до установленных глубин исследования. Подготовка и проверка скважины должны обеспечить беспрепятственное прохождение приемных модулей (зонда) на всю глубину вертикального профиля.

Помимо наблюдений в глубокой скважине производится регистрация колебаний контрольными сейсмоприемниками. Один из них устанавливается у устья каротируемой глубокой скважины; по записям этого сейсмоприемника судят о стабильности условий возбуждения, изменении удалений ПВ, глубины взрыва и осуществляют расчет поправок при обработке материалов. Второй сейсмоприемник устанавливается около устья взрывной скважины для записи вертикального времени t_v , по стабильности величин которого судят о постоянстве условий возбуждения зарядов.

Технология наблюдений при проведении ВСП предусматривает следующую последовательность полевых работ:

- размещение геофизической аппаратуры на скважине, ее проверка; оборудование устья скважины, шаблонирование ствола скважины; бурение взрывных скважин, расстановка контрольных сейсмоприемников на устьях глубокой и взрывных скважин;
- подбор оптимальных глубины погружения и массы заряда на основе визуальной оценки записей по данным МСК (если он проводится);
- для каждого ПВ после завершения (или в процессе) наблюдений осуществляется визуализация записей, полученных в скважине и от контрольных приборов, с целью их разбраковки, выявления интервалов, требующих повторных контрольных наблюдений.

3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ВСП

3.1. Материалы, предоставляемые для обработки на ВЦ

Извлечение полезной геолого-геофизической информации из полевых сейсмических записей осуществляется в процессе их обработки и интерпретации. Для выполнения цифровой обработки на ВЦ поступают следующие материалы:

1. Файлы записей сейсмоприемников. Представляются в форматах SEG-Y или CSC-3 и содержат последовательность записей сейсмоприемников, упорядоченных по типу сейсмоприемника и времени регистрации (рис. 3.1). Например, при регистрации сигналов, принятых тремя скважинными трехкомпонентными и тремя наземными приемниками, запись их будет представлена в последовательности, показанной на рис. 3.2.

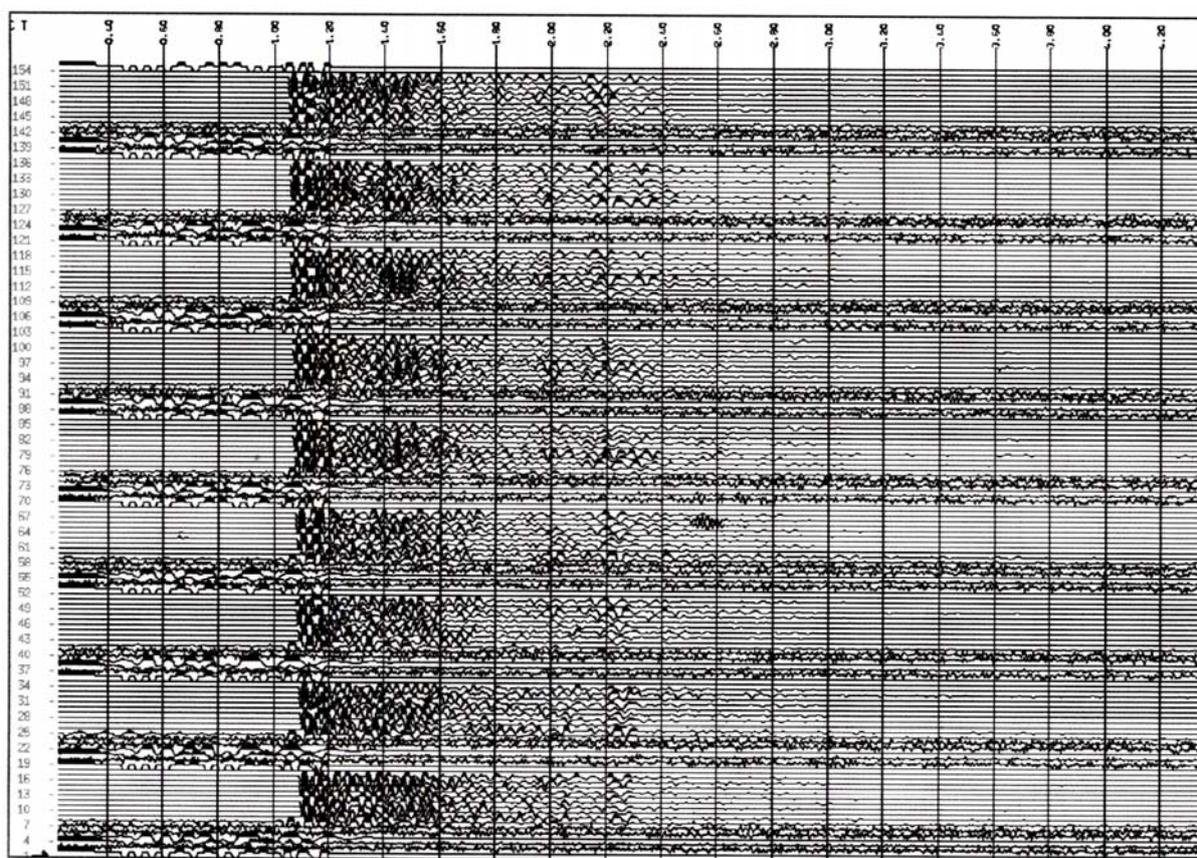


Рис. 3.1. Сейсмическая запись полевых наблюдений

2. Рапорты оператора. Являются обязательным документом проведения каждого этапа полевых работ ВСП и отображают ход проведения взрывных работ с кратким описанием характеристик каротируемой и взрывной скважин (рис. 3.3).

3. Паспорт работ. Содержит техническое описание скважин и расстановки наземных приемников.

4. Сопроводительные документы. Оформляются организацией, проводящей полевые работы, и включают: отчет о полевых работах; акт готовности аппаратуры; акт окончательной приемки материалов; акт приемки топографических материалов и данные топографических работ; справки о метрологической экспертизе, о патентных исследованиях, о стоимости полевых работ.

№	Описание
1	Трасса X-компоненты приемника № 1 на глубине h_1
2	Трасса Y-компоненты приемника № 1 на глубине h_1
3	Трасса Z-компоненты приемника № 1 на глубине h_1
4	Трасса X-компоненты приемника № 2 на глубине h_2
5	Трасса Y-компоненты приемника № 2 на глубине h_2
6	Трасса Z-компоненты приемника № 2 на глубине h_2
7	Трасса X-компоненты приемника № 3 на глубине h_3
8	Трасса Y-компоненты приемника № 3 на глубине h_3
9	Трасса Z-компоненты приемника № 3 на глубине h_3
10	Трасса X-компоненты наземного приемника № 1
11	Трасса Y-компоненты наземного приемника № 1
12	Трасса Z-компоненты наземного приемника № 1
13	Запись контрольного канала № 2
14	Запись контрольного канала № 3
15	Трасса X-компоненты приемника № 1 на глубине h)
...

Рис. 3.2. Структура файла записей сейсморейсников

ГЕРАСИМОВСКАЯ Р-200 ПВ-4 КОНТРОЛЬ
РАПОРТ ОПЕРАТОРА

Дата начала работы	– 04 – 09 – 06
Название площади	– ГЕРАСИМОВСКАЯ
Номер скважины	– 200
Глубина забоя (м)	– 2797.7
Глубина обсадной колонны (м)	– 2987
Диаметр обсадной колонны (мм)	– 146
Плотность раствора (г/куб.см)	– 1.03
Собственный номер пикета	– 4
Удаление (м) пикета	– 1584.13
Длина записи (сек)	– 6.0
Шаг дискретизации (msec)	– 1.0
Количество наземных каналов	– 3
Оператор	– ИВАНОВ А.П.

Время	№ Цикла	Глубина (м)	Усилен dB	Кол. на-коп.	Кол. выстрел.	Глуб зар. (м)	Вес зар. (кг)	Вр. SGS msec	Темп гр.С	Примечания
15:14	1	500...540	48	1	1	12	0.50	14	20	
15:54	2	1000...1040	48	1	2	12	0.50	14	35	
16:07	3	1500...1540	48	1	3	12	0.50	14	52	
16:20	4	2000...2040	48	1	4	12	0.50	15	68	
16:38	5	2500...2540	48	1	5	12	0.50	15	87	
16:52	6	2740...2780	48	1	6	12	0.50	15	97	

Рис. 3.3. Пример рапорта оператора

3.2. Задачи и этапы цифровой обработки

В процессе обработки данных ВСП предусматривается решение следующих основных задач:

- изучение кинематических и динамических особенностей целевых типов волн;
- определение скоростных характеристик разреза;

- стратиграфическая привязка отраженных волн;
- изучение геологического строения околоскважинного пространства.

Первые три задачи решаются на основе анализа сейсмической записи, полученной на продольном профиле, последняя – на непродольных профилях.

Надежность решения задач зависит от качества полевых материалов, сейсмических условий исследуемого участка и от выбора инструментальных процедур используемого программного продукта.

Весь процесс обработки условно можно разделить на четыре этапа: предварительная обработка, основная обработка данных продольного и непродольного ВСП и специальная обработка (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Общая схема этапов обработки

Обработка исходных сейсмических записей ВСП выполняется с помощью специальных обрабатывающих систем, включающих в себя целый ряд программно-алгоритмических процедур преобразования зарегистрированной информации. По своему назначению процедуры начальной обработки входят в состав графа предварительной обработки.

3.3. Граф предварительной обработки

Основная задача предварительного этапа – получение из полевых записей ВСП – сводных сейсмограмм, приведенных к одинаковым условиям возбуждения, дополнительная к первоначальной – оценка качества полевого материала, максимально возможное повышение отношения сигнала к помехе, преобразование полевых сейсмических записей в формат обрабатывающей системы для выполнения дальнейшей обработки.

Граф предварительной обработки начинается с ввода полевых материалов в программный комплекс (рис. 3.5) и определения характеристик каждой трассы: наземный или скважинный приемник, номер наблюдения (взрыва), глубина установки или порядковый номер наземного канала, X, Y или Z-компонента сейсмоприемника, приоритет записи и т. п. В случае перестрела наблюдений из общей записи удаляются трассы скважинных приемников с наименьшим соотношением сигнал-помеха (наименьшим приоритетом) и осуществляется сортировка трасс по глубине установки скважинного приемника (редактирование трасс).

Так как в одной записи присутствуют трассы, зарегистрированные с наземных и скважинных приемников, на следующем этапе обработки применяют демультимплексирование – разделение общей записи на поля контрольных сейсмоприемников и однокомпонентные сейсмограммы ВСП. Анализ первых вступлений записи контрольного приемника, расположенного вблизи или на некотором расстоянии от взрывной скважины, используется при расчете статических поправок. Особенностью процедуры расчета и ввода статпоправок ВСП является их привязанность к номеру взрыва и, соответственно, только к части трасс общей записи.

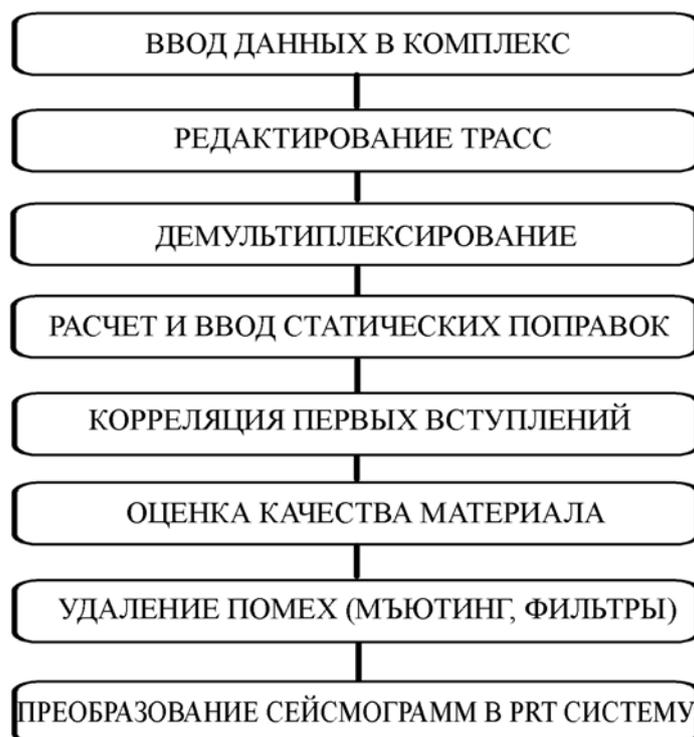


Рис. 3.5. Состав процедур графа предварительной обработки

Оценка первых вступлений по сейсмограмме ВСП используется далее в различных процедурах, начиная с предварительной оценки соотношения сигнала к шуму как отношения энергии фоновых помех к энергии колебаний, мьютинга и т. д. За время первого вступления прямой продольной волны принято брать время начала резкого изменения амплитуд перед первым значимым экстремумом (рис. 3.6). Корреляцию всех остальных волн из-за интерференционного характера записи проводят по какой-либо ее фазе.

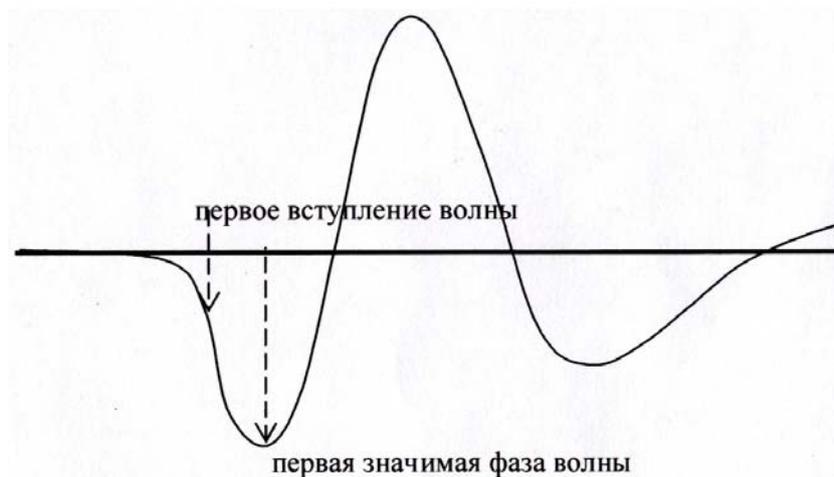


Рис. 3.6. Время первого вступления прямой продольной волны

Наибольшее распространение сейчас получили трехкомпонентные сейсмоприемники с ортогональной расстановкой и свободной ориентацией. Поэтому при наблюдении в скважине ориентация сейсмоприемников часто не соответствует желаемой: на вертикальной компоненте Z хотелось бы видеть только продольные волны; на горизонтальных компонентах X и Y – поперечные волны. На практике запись на одной из фиксированных (основной) компонент, как правило, осложняется записями побоч-

ных компонент. Пример наложения поперечной волны SV на запись продольных прямой P и отраженных PP волн показан на рис. 3.7.

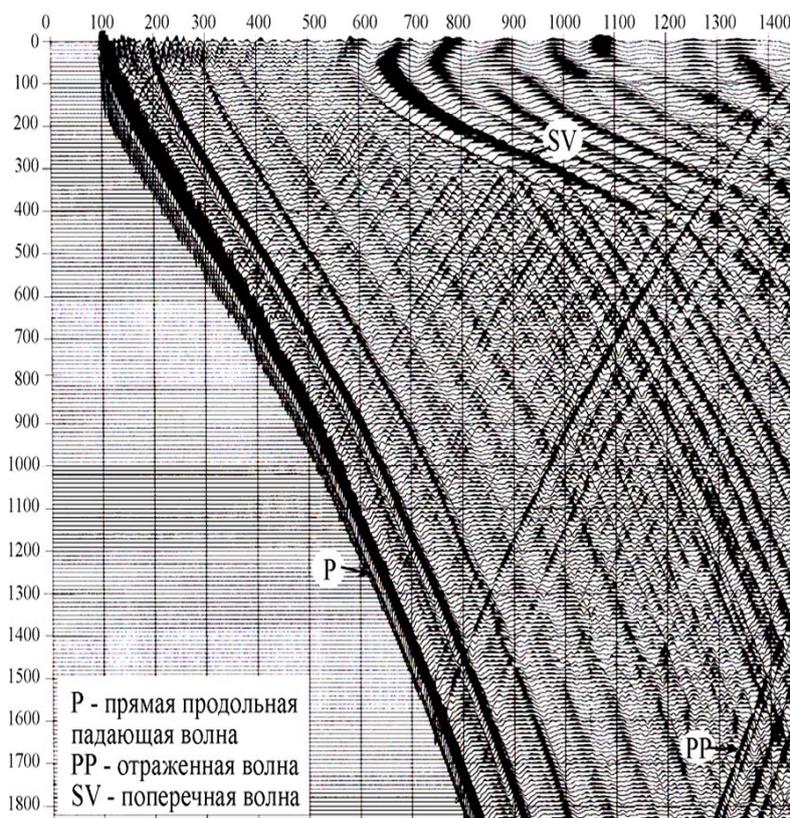


Рис. 3.7. Сейсмограмма ВСП. Z-компонента

Эти проблемы сказываются тем сильнее, чем дальше пункт взрыва от устья скважины и чем более искривлен ствол скважины. Для качественного анализа и построения поля целевых волн применяются процедуры искусственного ориентирования сейсмоприемников (поляризация) в другие системы координат: PRT – систему или XYZ-географическую систему. Такие процедуры требуют годограф прямой продольной волны и опираются на анализ амплитуд в области первого вступления. Считается, что P-волна несет наибольшую энергию и, следовательно, направление максимального отклонения сейсмоприемников даст направление продольных волн. Это предположение верно, когда глубина приема больше или сопоставима с удалением пункта взрыва. В верхней части разреза ВСП, где появляются преломленные волны и соотношение сигнала к шуму невелико, поляризационная обработка становится неэффективной. Исследование динамических и спектральных свойств помех уже на данном этапе позволяет провести различные процедуры подавления помех нерегулярного или гармонического характера.

3.4. Основная обработка

Основная обработка данных ВСП начинается с обработки материалов продольного профиля. Так как при продольном ВСП удаление ПВ незначительно по сравнению с глубиной исследуемых толщ, распространение падающих и отраженных продольных волн близко к вертикальному, что позволяет решать две задачи: построение скоростного закона и проведение стратиграфической привязки отраженных волн (рис. 3.8). Только получив скоростные характеристики среды вблизи скважины, мы можем обрабатывать и интерпретировать материалы непродольного ВСП.

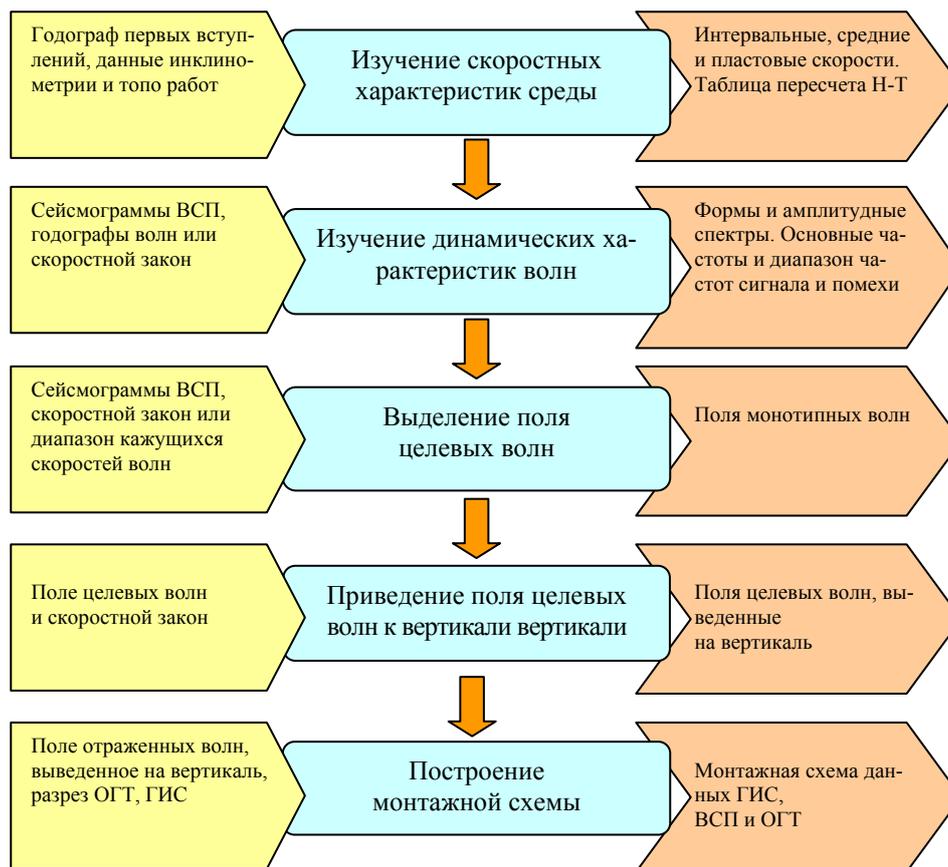


Рис. 3.8. Состав процедур обработки продольного ВСП

3.4.1. Изучение скоростных характеристик среды

Для построения скоростного закона используются годограф первых вступлений, данные инклинометрии (в случае профилирования наклонной скважины) и данные топографических работ. В основе расчета скоростей обычно используют модель однородной горизонтально-слоистой среды, в которой возбуждение производится в верхних слоях, а пункт приема находится во внутренних точках среды (рис. 3.9). На первом этапе производится расчет интервальных скоростей, затем – средних. В случае нечетких срывов, по которым проводится корреляция первых вступлений прямой волны, оценки скоростей становятся неустойчивыми (незначительные ошибки определения времени прихода прямой волны приводят к ощутимым ошибкам оценок интервальных скоростей), поэтому в последующих расчетах стараются использовать пластовую скорость, на величину которой ошибки в определении времени первых вступлений за счет большой толщины, практически не сказываются. Однако для ее синтеза необходимо задать модель расположения пластов. Выбор количества и толщины каждого пласта есть задача аппроксимации скоростного закона. Как правило, пластово-скоростная модель формируется в соответствии с посвитными стратиграфическими разбивками (см. ниже). Хотя данная задача относится к классу неоднозначных (приводящих к ряду решений, а малое отклонение исходных данных к значительным погрешностям), адекватность построенной модели среды можно контролировать по результатам выведения поля отраженных волн ближнего ПВ на вертикаль. Например, при среднем отклонении оценки интервальной скорости в 100 м/с, отклонение осей синфазности приведенных отраженных волн могут достигать 20÷40 мс (рис. 3.10, б). Основные результаты изучения скоростного закона представляются в графическом виде и в виде таблиц соответствия времен-глубин и скоростей (пример в табл. 1, 2 и 3).

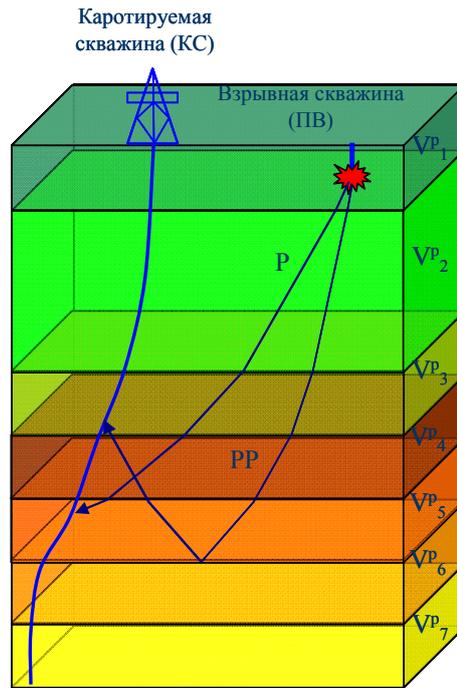
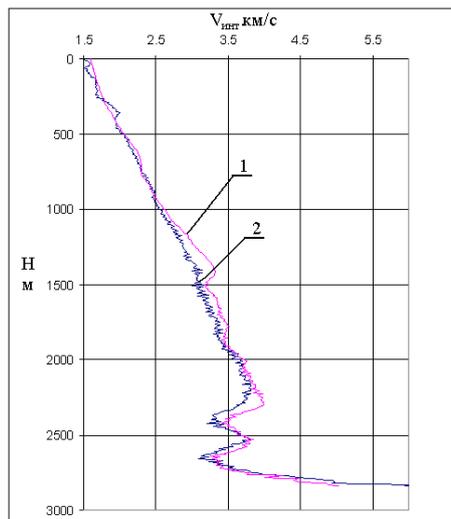
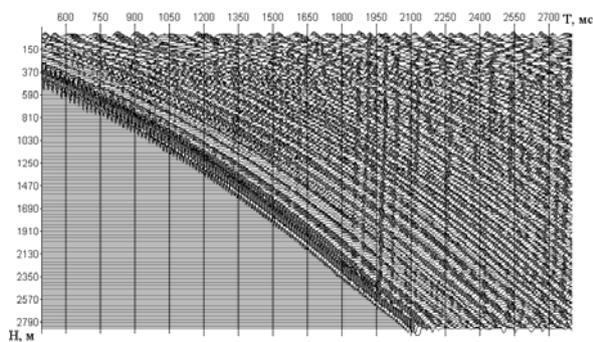


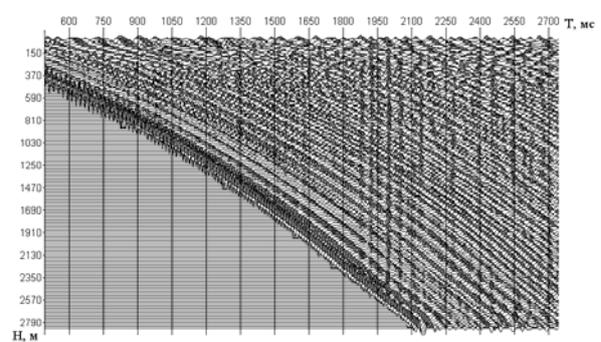
Рис. 3.9. Модель однородной горизонтально-слоистой среды



а)



б)



в)

Рис. 3.10. Скоростные законы и сейсмограммы ВСП ближнего ПВ, приведенные к вертикали согласно закону № 1 (б) и № 2 (в)

Таблица 1

Таблица соответствия времен-глубин

Глубина [м]		Время [с]			
кабельная	абсолютная	наблюденное	приведенное	удвоенное	
				a.o.= a.c.	a.o.=0

Таблица 2

Средние и интервальные скорости

Глубина[м]		Скорость [м/с]	
кабельная	абсолютная	интервальная	средняя

Таблица 3

Пластовые скорости

Глубина[м]		Скорость
кровля	подошва	

3.4.2. Изучение динамических характеристик волн

Следующим неотъемлемым этапом анализа сейсмограмм ВСП является изучение динамических характеристик целевых волн: формы волн и их спектральных свойств (рис. 3.11). Для получения таких оценок необходимо указать время первого вступления и провести криволинейное осреднение трасс в интервале одного – двух периодов волны. Следует помнить, что по мере увеличения пути, пройденного волной, в спектре волны теряются высокочастотные составляющие и осреднение необходимо проводить на небольших базах – порядка 100...200 метров.

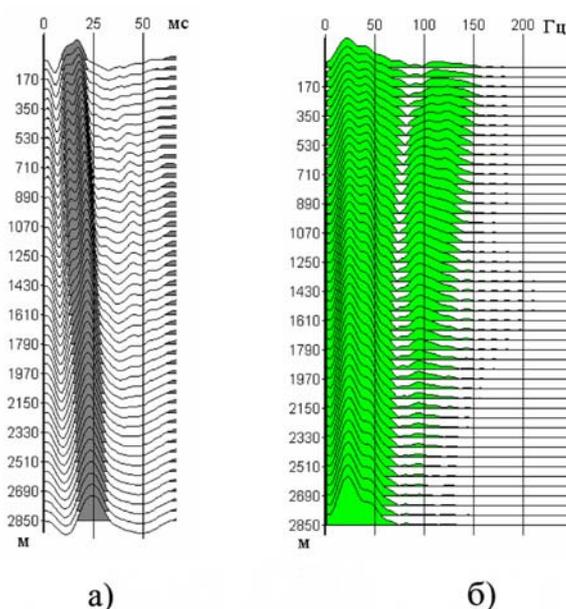


Рис. 3.11. Форма (а) и амплитудный спектр (б) прямой продольной волны

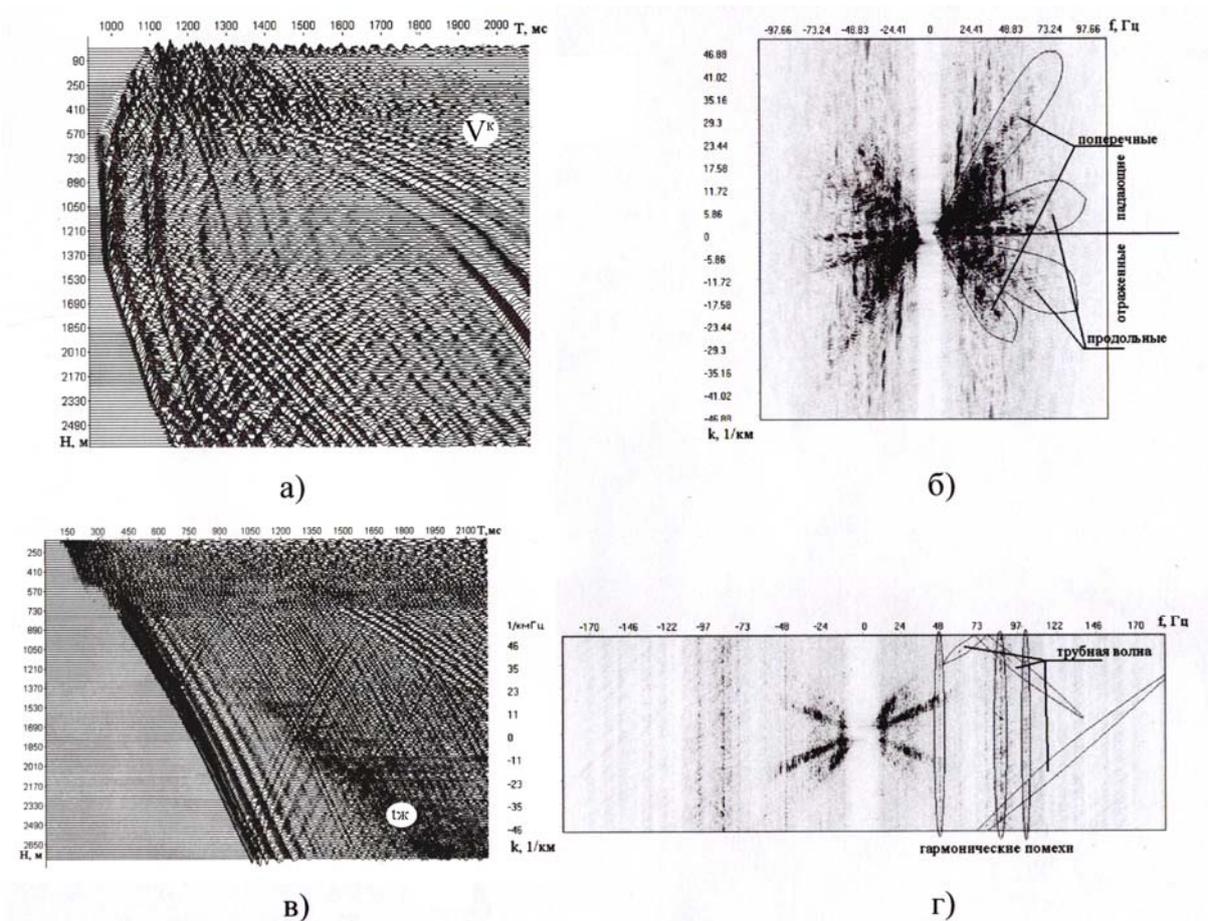


Рис. 3.12. Сейсмограмма ВСП (а, в) и ее двумерный амплитудный спектр (б, г)

Привлечение инструментов многомерного спектрального анализа во многих практических случаях позволяет правильно интерпретировать волновую картину. Основу данных средств составляет двумерное преобразование Фурье: преобразование сейсмограммы ВСП в f - k спектр (спектр временной частоты f и волнового числа k). Особенность двумерных спектров заключается в разделении спектральных характеристик волн и помех не только по частотному составу, но и по кинематическому параметру – кажущейся скорости V (рис. 3.12). Последнее дает возможность более точно определить частотный диапазон различных волн и помех и выбрать параметры последующих процедур обработки. Так, на примере рис. 3.12, а, б продольные отраженные волны характеризуются диапазоном частот $6 \div 90$ Гц и диапазоном кажущихся скоростей $-4700 \div -2100$ м/с. Этот же тип волн на сейсмограмме рис. 3.12, в обладает диапазоном скоростей $-3900 \div -1400$ м/с и осложняется гармонической помехой на частотах $46 \div 52$ Гц, а присутствие интенсивной гидроволны $t_{ж}$ не должно повлиять на результат выделения отраженных волн при работе до 70 Гц.

3.4.3. Выделение поля целевых волн

Выделение поля целевых волн в общем случае есть задача подавления помех и всех других волн (мешающих волн). Процесс выделения опирается на результат анализа динамических и кинематических параметров всех составляющих волнового поля и складывается из последовательности различных процедур, нацеленных на подавление выявленных помех и мешающих волн. К процедурам подавления помех относят различные типы одномерных фильтров: низкочастотный, высокочастотный, режекторный, полосовой, гармонический и т. п. При подавлении мешающих волн известно два основных подхода:

процедуры вычитания и пространственно-временная фильтрация. Оба подхода опираются на статистическую модель аддитивной смеси сейсмических волн. И тот и другой обладают рядом принципиальных недостатков, не позволяющих в сложных условиях приема добиться требуемой эффективности. Поэтому на практике обычно совместно используют данные процедуры.

В основе алгоритмов вычитания лежит принцип изучения кинематических и динамических характеристик мешающих волн, моделирования поля мешающих волн и его вычитания из сейсмограммы. К наиболее известным процедурам вычитания причисляют оптимальный алгоритм [Нахамкин].

Методы пространственно-временной фильтрации используют информацию о различии частотного состава, пространственных характеристик или кажущихся скоростей целевых и мешающих волн. К простейшим бинарным пространственно-временным фильтрам причисляют следующие (рис. 3.13): а – частотный, б – волно-числовой, в – частотно-волно-числовой и г – веерный. Так как область пропускания этих фильтров в сечениях двумерного спектра аппроксимируется прямоугольной функцией, им свойственны побочные эффекты фильтрации (краевой эффект и эффект Гиббса). Устранение (или точнее уменьшение) влияния нежелательных эффектов достигается за счет использования сглаживающих спектральных окон (трапециевидное окно, окно Ханна, окно Хемминга и т. п.), позволяющих аппроксимировать границы области пропускания фильтра более гладкими функциями.

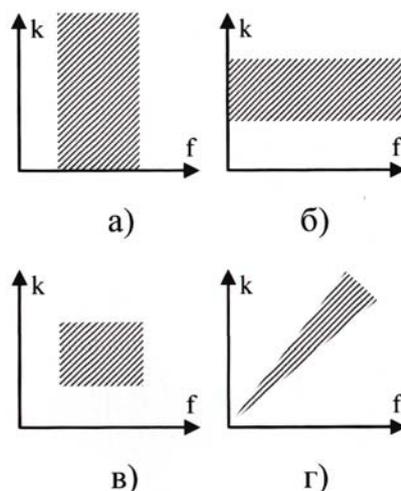


Рис. 3.13. Двумерные частотные характеристики фильтров.

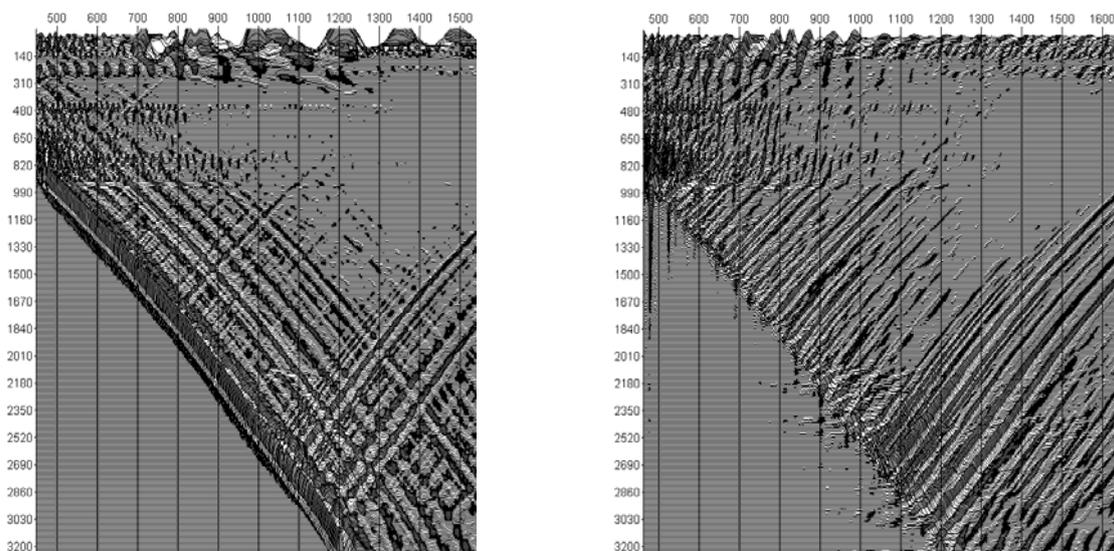
▨ - область пропускания фильтра

Рис. 3.13. Двумерные частотные характеристики фильтров.

▨ - область пропускания фильтра

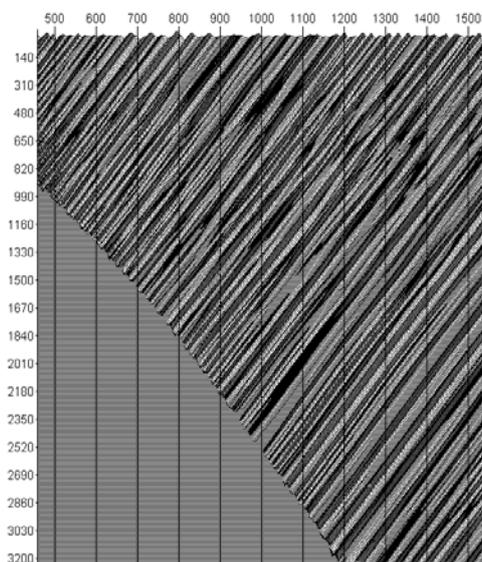
Наибольшей эффективностью среди пространственно-временных фильтров обладает веерный фильтр. Его область пропускания определяется из диапазона кажущихся скоростей выделяемых волн (рис. 3.12, б, з). В случае обработки поля большого размера, веерный фильтр реализуют спектральным методом с использованием алгоритмов двумерного быстрого преобразования Фурье (БПФ). В этом случае область пропускания фильтра может быть выбрана пользователем интерактивно. Часто на первом этапе для

подавления волн с кажущимися скоростями противоположного знака используют веерный фильтр, реализованный в пространственно-временной области (рис. 3.14) [Shenks]. Особенность таких фильтров заключается в необходимости ограничивать весовую функцию фильтра, как по времени, так и по пространству, чтобы добиться приемлемого быстродействия. Временной интервал обычно ограничивают 2÷3 периодами волн, а пространственные размеры определяют исходя из условия разрешения волн от 60 до 500 м. Следует помнить, что при уменьшении окна определения весовой функции быстродействие увеличивается, но растет искажение сигнала и падает разрешающая способность.



а) исходное волновое поле

б) результат выделения поля отраженных волн



в) поле продольных отраженных волн

Рис. 3.14. Сейсмограммы ВСП:

а) исходное волновое поле;

б) результат выделения поля отраженных волн после процедуры веерной фильтрации;

в) поле продольных отраженных волн

Часто правильно интерпретировать поле целевых волн не удастся из-за значительного наклона годографа и наличия мешающих волн с близкими кажущимися скоростями. Тогда прибегают к процедурам выведения поля отраженных волн на верти-

каль. В этом случае оси синфазности целевых волн становятся близкими к вертикали ($t(h) \approx \text{const}$), а мешающих волн – остаются наклонными (пример на рис. 3.15). Это позволяет провести более качественный анализ поля и применить дополнительные процедуры подавления помех и мешающих волн. Далее осуществляют обратную операцию вывода на вертикаль для получения поля целевых волн в исходной системе единиц.

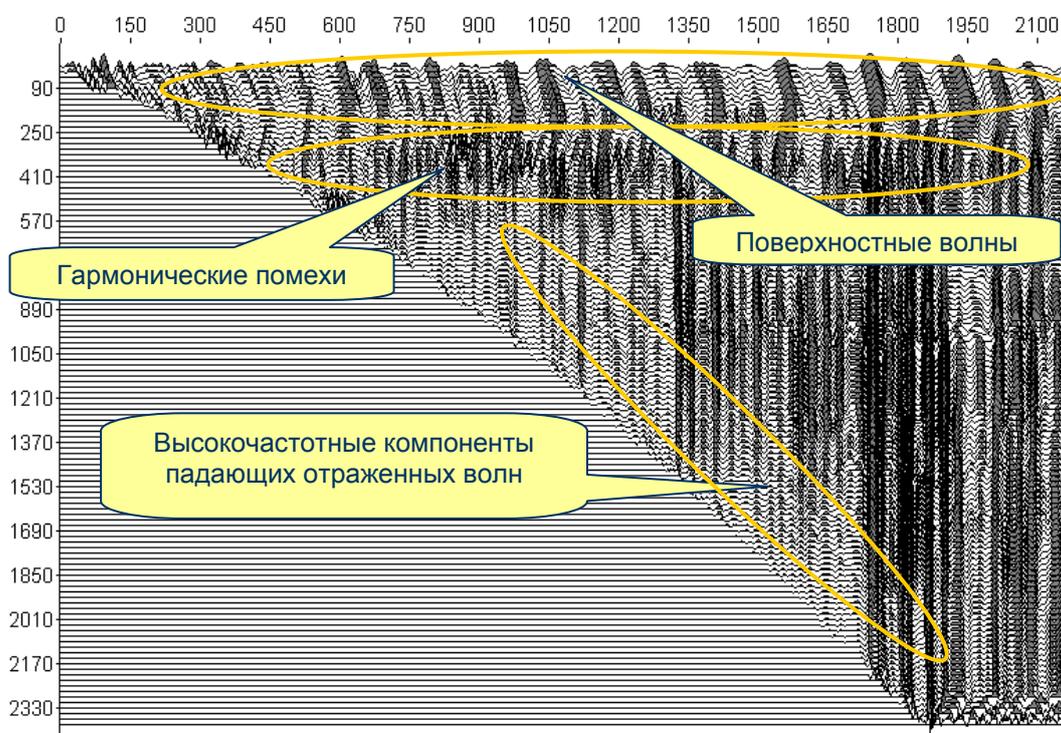


Рис. 3.15. Анализ поля продольных отраженных волн, выведенных на вертикаль

Развитие методов выделения волн связано с адаптивными и оптимальными алгоритмами, в которых используется скоростной закон или результаты корреляции интерферирующих волн, элементы многократного моделирования и оценивания погрешностей выделения.

3.4.4. Приведение поля целевых волн к вертикали и построение монтажной схемы

Для решения стратиграфических задач необходимо увязать в единую систему данные наземных и скважинных наблюдений и результаты интерпретации ГИС. Наземные измерения приводятся для условных пространственных координат в плоскости уровня приведения и двойном времени пробега волн (время прохождения волны вертикально от плоскости уровня приведения до точки отражения, обмена или преломления и обратно). Материалы ВСП измеряются в кабельных глубинах и времени пробега от пункта взрыва до точки приема. Смысл приведения волн к вертикали заключается в преобразовании сейсмограмм ВСП к условиям вертикального падения луча и прохождения ими полного пути. Для приведения к вертикали используются процедуры ввода кинематических поправок, рассчитываемых из скоростного закона. Обычно вмешательство обработчика здесь не требуется. Однако если скоростной закон подобран не правильно (или выбранная модель среды неадекватна), вывод на вертикаль может дать неудовлетворительный результат. Тогда перед обработчиком встает выбор – возвращаться к задаче подбора скоростного закона и модели среды или применять процедуры коррекции кинематических параметров.

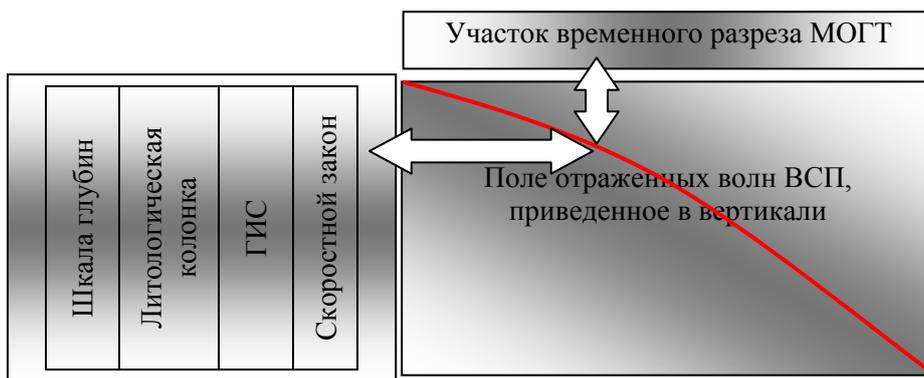
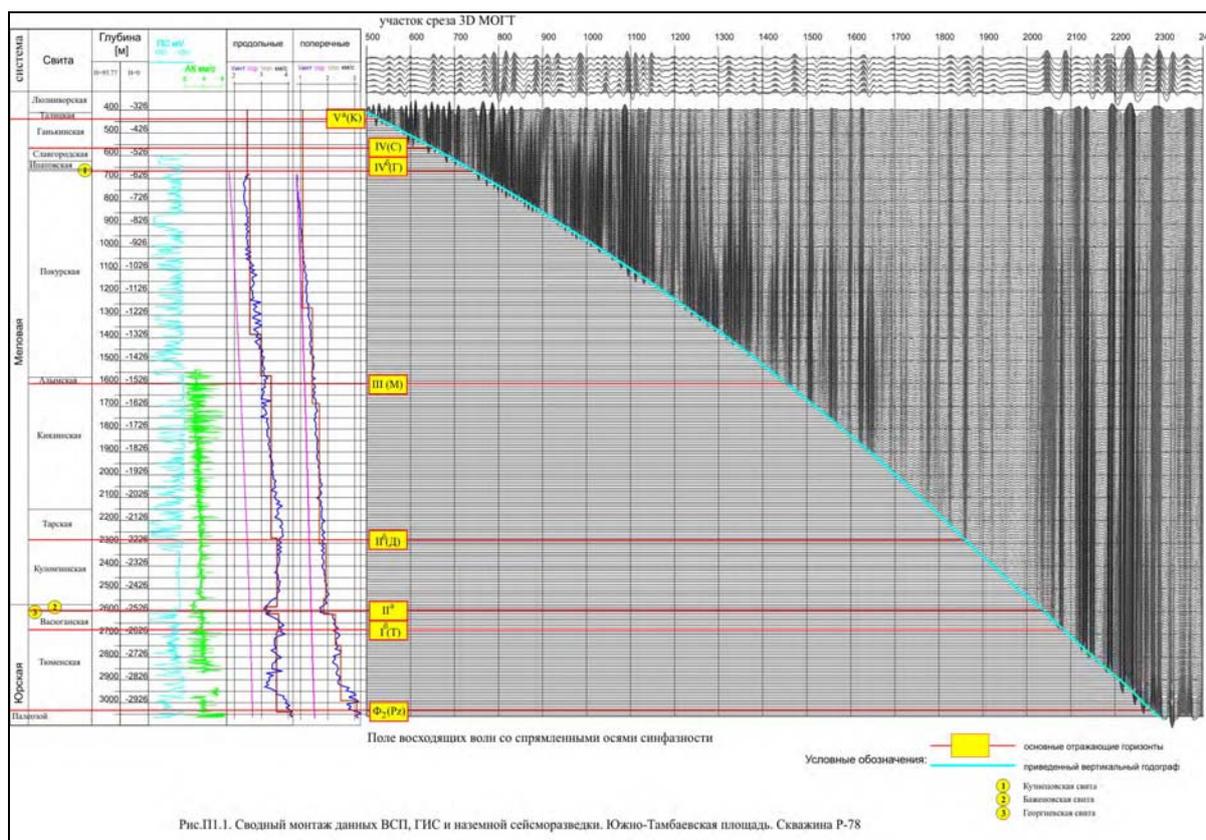


Рис. 3.16. Общий вид монтажной схемы



Монтажная схема данных ВСП, ОГТ и ГИС обычно формируется по следующему принципу (рис. 3.16). По вертикали откладываются кабельные глубины и указываются соответствующие им абсолютные. По горизонтали приводится двойное время пробега волн для одного уровня приведения. В левой части схемы располагается вся необходимая для интерпретатора информация о скважине. Поле отраженных волн, приведенное к вертикали, располагается в правой половине монтажной схемы. Соответствие глубин и времен на схеме определяется не только скоростным законом, но и годографом первых вступлений, приведенным к вертикали (красная линия на рис. 3.16). Если вблизи каротируемой скважины проходит профиль МОГТ, из соответствующего временного разреза выбирается небольшой участок в 100÷150 метров наиболее близких к скважине трасс (пример на рис. 3.17). Полного совпадения волновых картин ВСП и ОГТ ожидать не следует. Однако акустически выраженные горизонты обычно проявляются и на скважинных и на наземных

наблюдениях. Основные ошибки построения монтажной схемы связаны с выбором скоростного закона и приведения всех материалов к одному уровню приведения.

3.5. Основная обработка непродольного ВСП

При обработке материалов непродольного ВСП ставятся задачи исследования околоскважинного пространства и уточнения скоростного закона. Исследования характеристик среды, проведенные по материалам продольного ВСП, опираются на однократные наблюдения и обладают значимыми ошибками (обычно в верхней части разреза). Использование первого вступления с удаленных ПВ, позволяет повысить точность определения скоростного закона или опровергнуть модель среды с плоскогоризонтальными отражающими границами. На рис. 3.19 представлен пример, когда оценки интервальных скоростей, рассчитанные по различным ПВ, на отдельных интервалах глубин отличаются не только значениями, но и трендом (рис. 3.19, а), и пример с хорошим согласованием скоростей на всем анализируемом участке глубин со случайным отклонением, обусловленным ошибкой определения времени первого вступления (рис. 3.19, б). Если в первом случае необходимо принимать модель среды, в которой учитывается изменчивость скорости, то во втором случае можно получить более точный скоростной закон за счет осреднения по ансамблю скоростей с разных ПВ.

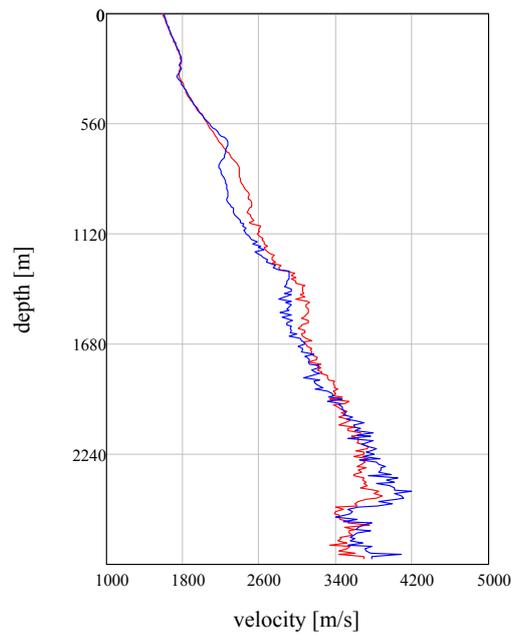


Рис. 3.18. Граф основной обработки непродольного ВСП

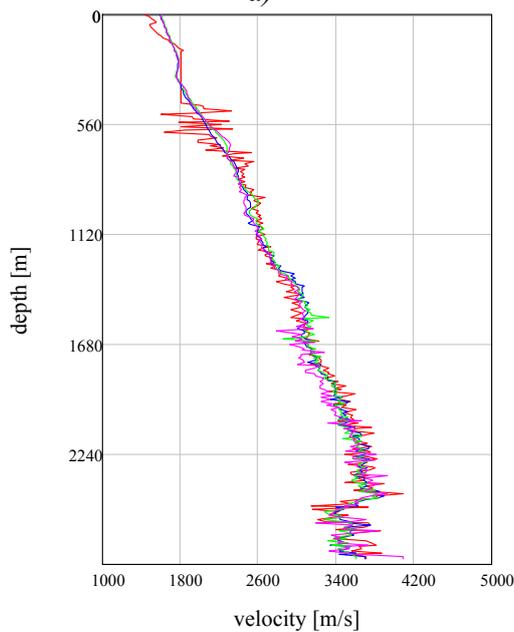
Дальнейшая обработка материалов удаленного ПВ по анализу и выделению поля целевых волн принципиально не отличается от обработки ближнего ПВ, и включает процедуры спектрального анализа, деконволюции или выравнивания спектров, АРУ, полосовой фильтрации, вычитания волн и веерной фильтрации. Особенность полей удаленных ПВ заключается в наличии интенсивных поперечных волн и более низким частотным диапазоном продольных волн.

На основе скоростного закона и полей целевых волн решается задача построения временных и глубинных разрезов МОВ ВСП. Здесь наибольшее распространение в современных комплексах получила миграция по Кирхгофу и ее модификации. Качество построения временных и глубинных разрезов в основном определяется качеством выполнения предыдущих этапов: точностью и адекватностью принятой скоростной модели среды и соотношением сигнала к шуму поля целевых волн. Наибольшие проблемы

при интерпретации временных и глубинных разрезов возникают при неудовлетворительном выделении целевых волн: существует возможность принять остаточные мешающие волны за нарушения. Не малую роль в правильной интерпретации могут играть методы визуализации разрезов. Так, при отображении разреза методом отклонений часть нарушений регулярности волновой картины можно было бы принять за наклонное нарушение (рис. 3.20, а). Однако при отображении этого же разреза методом градации цвета, становится очевидным, что данное проявление связано с некачественным подавлением мешающих волн (рис. 3.20, б). Проведение детального анализа динамических и кинематических параметров целевых и мешающих волн, и использование его результатов при разделении полей, позволяет получать временные разрезы по разрешающей способности превосходящие разрезы наземных наблюдений (рис. 3.20, в, г).



а)



б)

Рис. 3.19. Интервальные скорости, полученные с разных ПВ

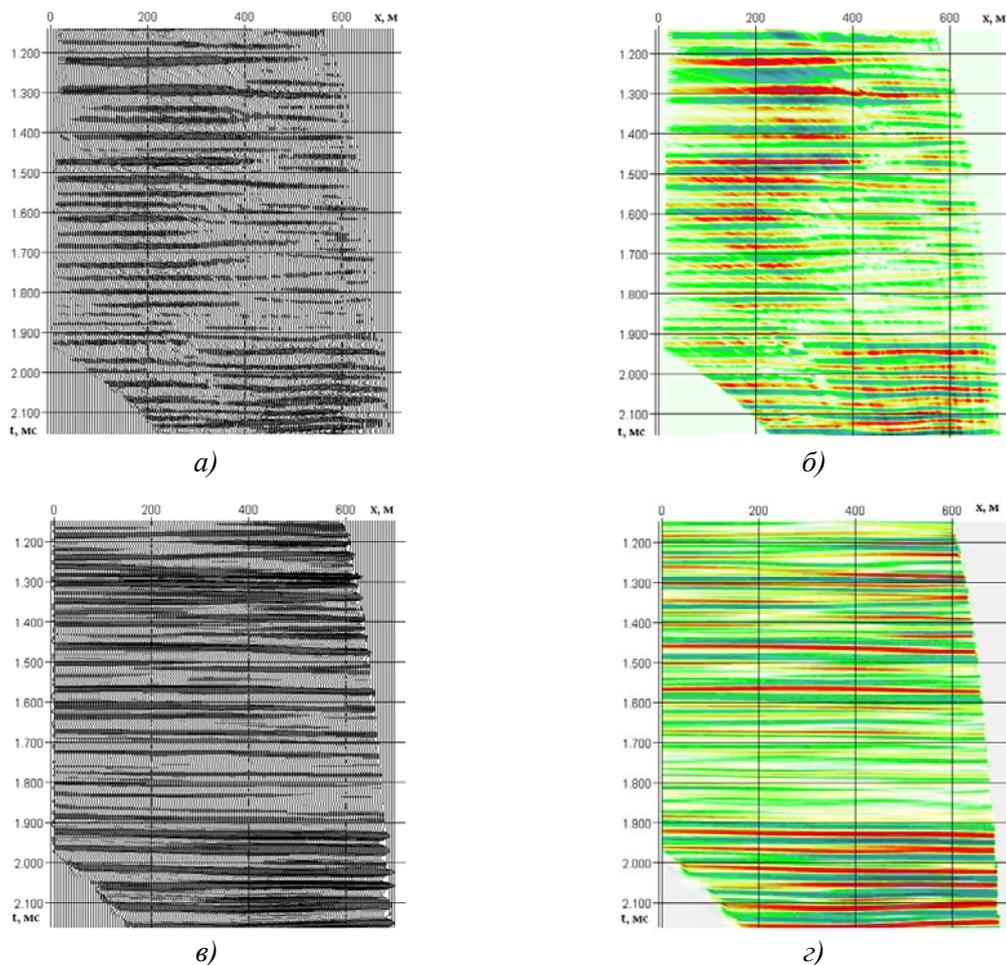


Рис. 3.20. Временные срезы ВСП МОВ, полученные на одном удаленном ПВ

3.6. Построение временных разрезов по данным ВСП

При комплексной интерпретации материалов ВСП и наземной сейсморазведки принципиально важное значение имеет идентичность формы их представления. Такой формой являются временные разрезы, для построения которых по данным ВСП используются наблюдения с удаленных ПВ. По своим форме и содержанию они аналогичны временным разрезам, получаемым по однократным наземным наблюдениям МОВ, отличаясь от них лишь несколько повышенной разрешенностью записи.

Построение временных сейсмических разрезов по данным ВСП МОВ является важнейшей процедурой этапа основной обработки; оно имеет существенные отличия от построения разрезов по материалам наземных работ. Эти отличия обусловлены следующими факторами:

- сложной структурой поля точек отражения, как по латерали, так и в вертикальном разрезе;
- изменением средней скорости отраженных волн в зависимости от глубины точки приема;
- отклонением точек приема от вертикали в случае заметных искривлений ствола глубокой скважины.

В применяемых в настоящее время программных комплексах построение временных разрезов ВСП МОВ является обязательной их составной процедурой. Однако как в сопровождающих эти комплексы описаниях, так и в учебных пособиях изложение алгоритмической основы построения разрезов отсутствует. Поэтому мы сочли необходимым привести

здесь описание алгоритма, положенного в основу разработанного и промышленно апробированного нами программного комплекса по построению временных разрезов ВСП МОВ.

Ниже рассматривается алгоритм построения временных разрезов ВСП МОВ для модели с однородной покрывающей средой. В основе алгоритма лежит приведение вертикального годографа отраженных волн к горизонтальному.

3.6.1. О соотношении горизонтального и вертикального годографов отраженных волн

На сейсмограммах ВСП, наблюдаемых с удаленных ПВ, зарегистрированные отраженные волны несут информацию об участках отражающих границ протяженностью, равной в случае субгоризонтального залегания, половине удаления ПВ от устья каротируемой скважины.

Специфичность обработки данных ВСП в части построения временных разрезов вытекает, прежде всего, из отличия уравнений годографов отраженных волн на вертикальном и горизонтальном профилях. Поэтому сначала необходимо получить представление о соотношении этих годографов. С этой целью рассмотрим лучевую схему падающих и отраженных волн (рис. 3.21), составленную для следующих условий.

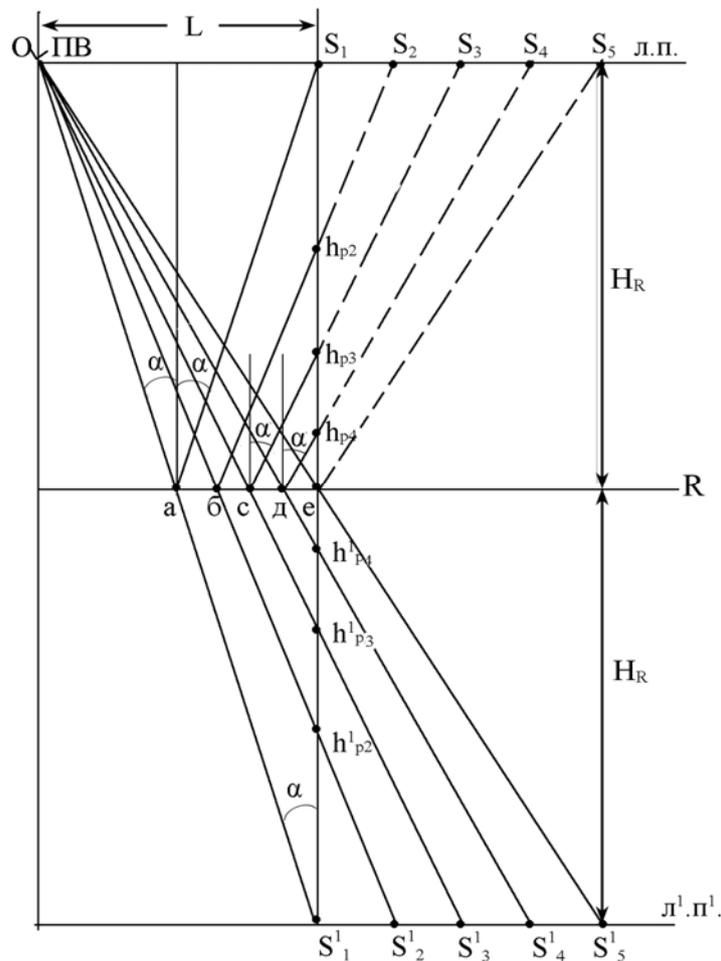


Рис. 3.21. Лучевая схема падающих и отраженных волн на вертикальном и горизонтальном профилях

л.п. и л¹.п¹. - линии приема на реальной и мнимой дневной поверхности;
 $h_{p2}, h_{p3}, h_{p4}, h^1_{p2}, h^1_{p3}, h^1_{p4}$ - реальные и мнимые ГП на вертикальном профиле;
 $S_1, \dots, S_5, S^1_1, \dots, S^1_5$ - ГП на реальной и мнимой дневной поверхности;

Пусть в скважине, расположенной в точке S_1 , проведено ВСП. Источник возбуждения (ПВ) удален от скважины на расстояние L (точка O). Отражающая граница R расположена на глубине H_R и характеризуется горизонтальным залеганием ($\varphi=0$). Наблюдения проведены по всему стволу скважины, не имеющему отклонений от вертикали. При принятых условиях отражения будут получены от участка границы R длиной $L/2$, причем лучи от крайних точек этого участка будут зафиксированы соответственно на устье скважины (луч Oa S_1) и на пересечении границы R стволом скважины (луч Oe). Лучи, отразившиеся от промежуточных точек b, c, d будут зарегистрированы на глубинах h_{p2}, h_{p3}, h_{p4} (рис. 3.21). Для удобства дальнейшего анализа развернем зеркально восходящие линии отраженных волн вниз. Развернем также вниз и линию скважины и, отложив на этой линии глубину залегания границы H_R , проведем горизонтальную линию и назовем ее мнимой линией приема. Точки приема на развернутой схеме обозначим как h_{pi}^1 .

Уравнение вертикального годографа можно получить, определив время пробега по лучам $OS_1^1, Oh_{p2}, \dots, Oe$. Длина лучей, как видно из рис. 3.21 будет равна:

$$Oh_{pi}^1 = \frac{2H_R - h_{pi}^1}{\cos \alpha}, \quad (3.1)$$

где $\cos \alpha$ – косинус угла падения-отражения отраженной волны, который согласно тому же рисунку, находится из выражения:

$$\cos \alpha = \frac{2H_R - h_{pi}^1}{\sqrt{L^2 + (2H_R - h_{pi}^1)^2}}, \quad (3.1'),$$

где h_{pi}^1 – глубина точки приема на зеркально развернутой лучевой схеме.

Время пробега волны по лучу Oh_{pi}^1 будет равно:

$$t_B = \frac{Oh_{pi}^1}{V_{pi}}, \quad (3.2),$$

где V_{pi} – скорость распространения волны по лучу Oh_{pi}^1 ; подставляя в (3.2) значения Oh_{pi}^1 (3.1) и $\cos \alpha$ (3.1'), получим:

$$t_B = \frac{\sqrt{L^2 + (2H_R - h_{pi}^1)^2}}{V_{pi}}. \quad (3.2^1).$$

Теперь продлим лучи волн в верхней и нижней половинах рис. 3.21 до пересечения с горизонтальными линиями, имитирующими реальную и мнимую дневные поверхности, тогда получим лучевую схему отраженных волн, адекватную схеме горизонтального профиля. Если бы на пути отраженных лучей не было линии наблюдения, расположенной по стволу скважины, они были бы приняты в пунктах приема ($S_1^1, S_2^1, \dots, S_5^1$). Назовем их мнимыми ПП.

Путь пробега волны от ПВ до мнимых ПП будет равен $2H_R/\cos \alpha$, а время $t_T = 2H_R/(V_{cp} \cdot \cos \alpha)$, где V_{cp} – средняя скорость распространения продольных волн, величина которой принята постоянной для данной границы R . Подставляя в это равенство выражение для $\cos \alpha$ (3.1'), получим:

$$t_T = \frac{2H_R \cdot \sqrt{L^2 + (2H_R - h_{pi}^1)^2}}{V_{cp} \cdot (2H_R - h_{pi}^1)}. \quad (3.3).$$

Это выражение представляет собой уравнение горизонтального годографа.

Отношение времен горизонтального и вертикального годографов, имеющее вид выражения:

$$\eta = \frac{t_{\Gamma}}{t_{\text{В}}} = \frac{2H_{\text{R}} \cdot V_{\text{pi}}}{(2H_{\text{R}} - h_{\text{pi}}^1) \cdot V_{\text{cp}}} \quad (3.4),$$

мы назвали коэффициентом трансформации.

В этом выражении V_{cp} – средняя скорость до отражающих границ R (границ построения разрезов), значения которой определяются как отношение $V_{\text{cp}} = H_{\text{R}}/t_{\text{R}}$ по вертикальному годографу продольного профиля (годографу прямой волны, наблюдаемому с ближнего ПВ); V_{pi} – меняющаяся по глубине и по времени лучевая скорость, величина которой определяется из выражения:

$$V_{\text{pi}} = \frac{2H_{\text{R}} - h_{\text{p}}^1}{2t_{\text{OR}} - t_{0\text{pi}}^1}.$$

Подставляя в (3.4) выражения для V_{cp} и V_{pi} , получим:

$$\eta = \frac{t_{\Gamma}}{t_{\text{В}}} = \frac{2}{1 + \Delta t_0 / t_0}, \quad (3.4^1),$$

где t_0 – время пробега волны до отражающей границы R , а Δt_0 – разность между этим временем и временем на i -ой глубине приема h_{pi} , т. е. $\Delta t_0 = t_0 - t_{0\text{pi}}$

С помощью коэффициента трансформации η времена вертикального годографа $t_{\text{В}} = t(h)$ приводятся к временам горизонтального годографа $t_{\Gamma} = t(x)$, иными словами говоря, трансформация $t_{\text{В}}$ в t_{Γ} представляет собой переход от системы координат: глубина-время, к системе координат: расстояние-время.

Отметим особенности коэффициента трансформации.

Из анализа формулы (3.4¹) следует, что при $h_{\text{pi}} = H_{\text{R}}$, т. е. когда глубины наблюдения и залегания отражающей границы R совпадают $\eta = 2$ – время пробега по лучу Oe , зарегистрированное на вертикальном профиле, для приведения к горизонтальному профилю необходимо удвоить (рис. 3.21).

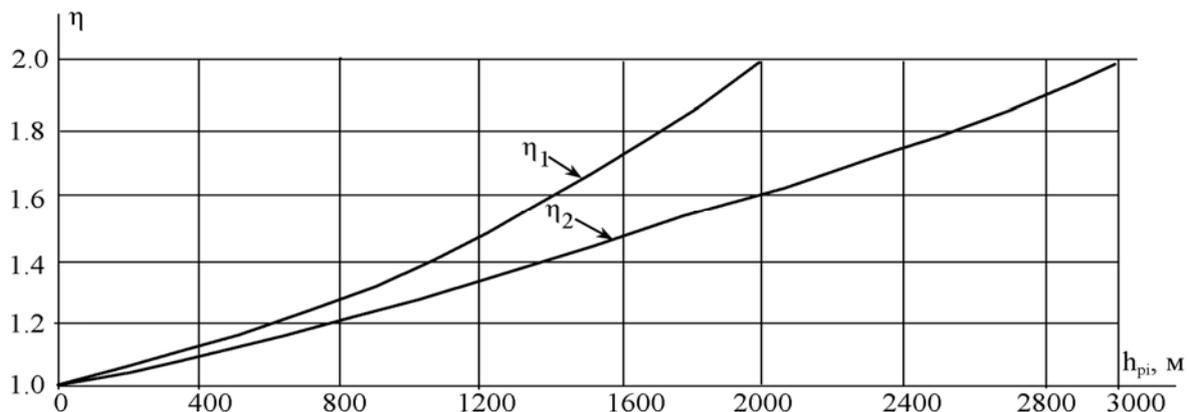


Рис. 3.22. График изменения коэффициентов трансформации $\eta = t_{\Gamma}/t_{\text{В}}$ вертикального годографа в горизонтальный для отражающих границ, залегающих на газных глубинах

При $h_{\text{pi}} = 0$, когда наблюдения регистрируются на устье скважины, т. е. на дневной поверхности $\eta = 1$. В этой точке, как видно из того же рис. 3.21 времена пробега на

вертикальном и горизонтальном профилях совпадают. Заметим, что скорости V_{cp} и V_{pi} в этих предельных случаях совпадают.

Таким образом, коэффициенты трансформации η времен пробега отраженных волн на вертикальном профиле во времена пробега на горизонтальном профиле лежат в пределах от 1 до 2. На рис. 3.22 представлен график $\eta = \eta(H_R, h_{pi})$. Как видно зависимость $\eta = \eta(H_R, h_{pi})$ имеет форму, близкую к линейной.

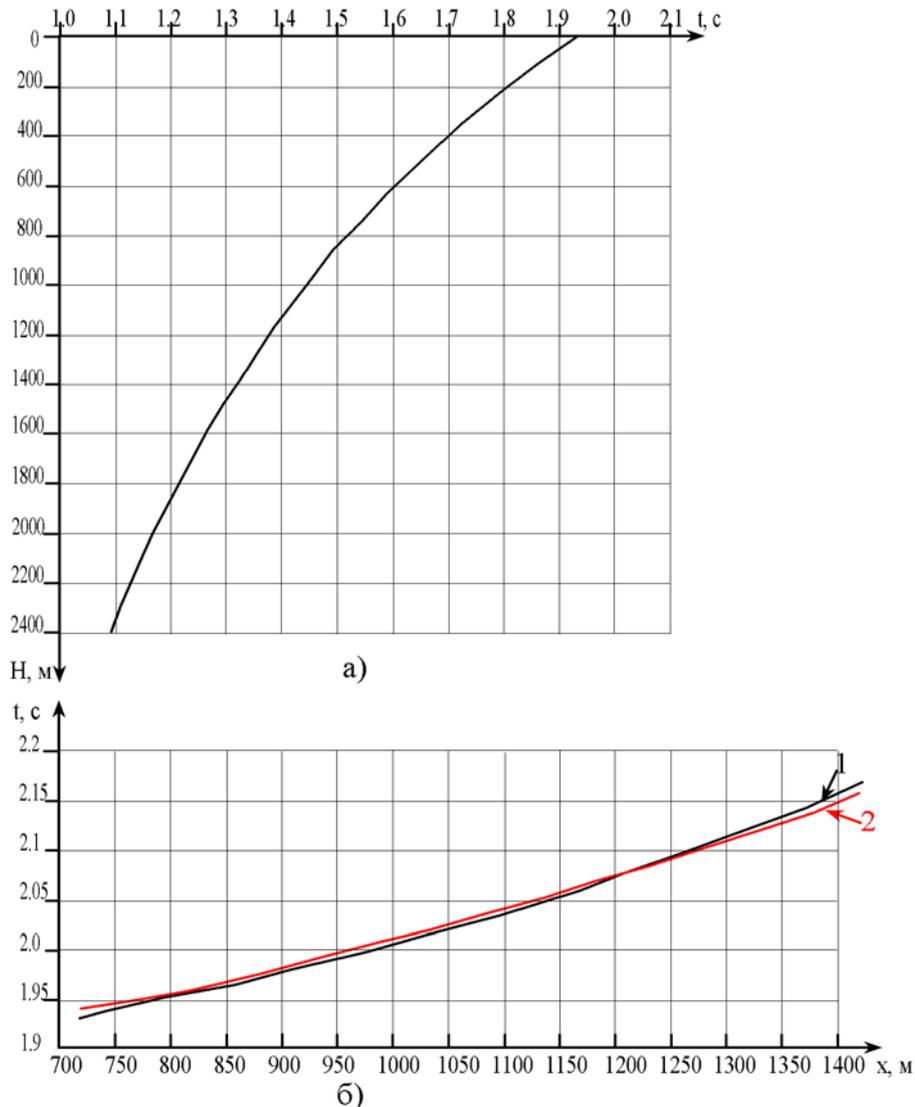


Рис. 3.23. Вертикальный (ркальный) (а) и соответствующие ему трансформированный (1) и теоретический (2) горизонтальные (б) годографы

На рис. 3.23 показан пример трансформации вертикального годографа в горизонтальный, который практически полностью совпадает с теоретически рассчитанным.

3.6.2. Структура поля точек отражения при ВСП

Точкам приема отраженных волн на вертикальном профиле соответствуют точки отражения (x_1, x_2, \dots, x_n) на отражающей границе, а участку отраженной волны, зарегистрированной на вертикальном профиле, – отрезок границы, равный в случае горизонтального ее залегания половине удаления ПВ от устья скважины.

В общем случае связь между полями точек отражения и приема на вертикальном профиле характеризуется весьма сложной зависимостью и может быть выражена в виде

функции трех переменных (для фиксированной границы): $x = f(L, \varphi, H_p)$, где x – абсцисса точки отражения с началом координат либо на скважине, либо на ПВ; L – удаление ПВ от скважины, φ – угол наклона границы и H_p – глубина точки приема в вертикальной скважине.

Для установления связи между x и переменными L, φ, H_p в развернутом виде рассмотрим лучевые схемы падающих и отраженных волн при расположении точек отражения по восстанию и по падению отражающей границы относительно каротируемой скважины (рис. 3.24, а, б).

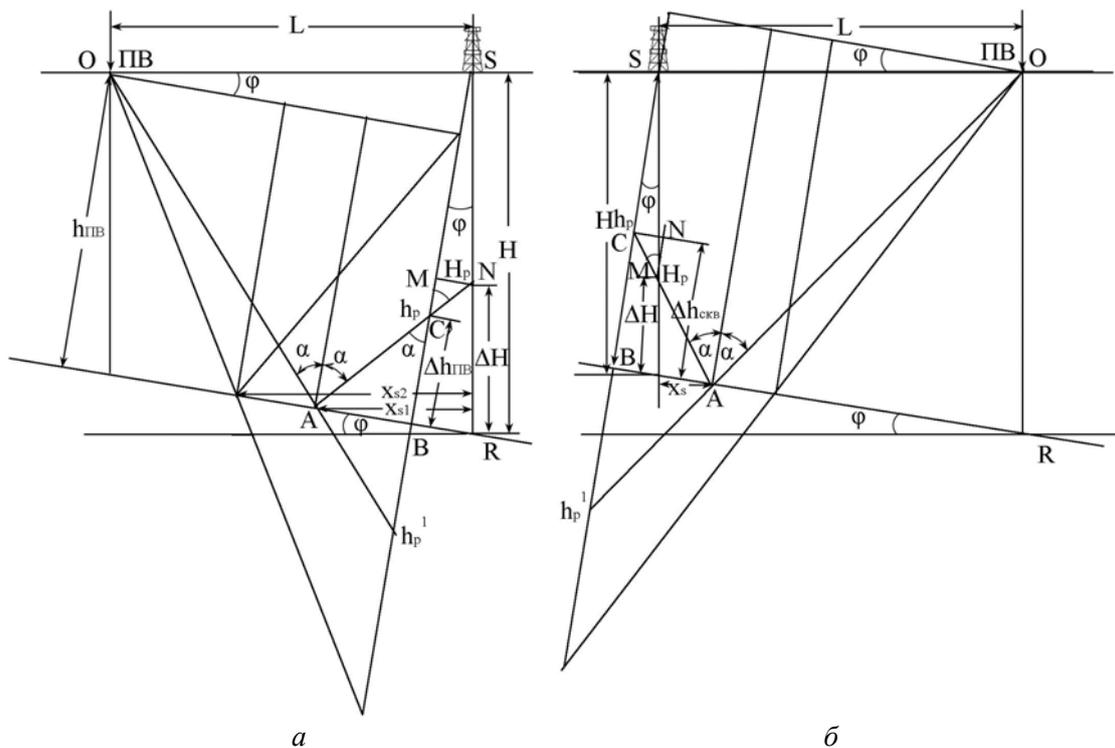


Рис. 3.24. Лучевые схемы падающих и отраженных волн при расположении точек отражения по восстанию (а) и по падению (б) отражающей границы относительно каротируемой скважины.

В приведенных лучевых схемах каротируемая скважина имеет строго вертикальное направление; глубина границы по вертикали в скважине равна H , а угол наклона ее относительно горизонтальной поверхности – φ .

Величины абсцисс x_{si} точек отражения при расположении начала координат на скважине можно определить, исходя из следующих равенств (рис. 3.24, а):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x_s / \cos \varphi - H \sin \varphi}{\Delta h_{\text{ПВ}}}, \quad (3.5)$$

где $\Delta h_{\text{ПВ}}$ – разность глубин $h_{\text{ПВ}}$ залегания границы R под ПВ и приема h_p по нормали к границе ($\Delta h_{\text{ПВ}} = h_{\text{ПВ}} - h_p$).

Как видно из лучевой схемы для зеркально отображенной относительно границы отражения точки приема h_p^1 значение $\operatorname{tg} \alpha$ можно выразить, используя удаление ПВ от скважины L :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{L \cos \varphi}{2h_{\text{ПВ}} - h_p^1} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{L \cos \varphi}{h_{\text{ПВ}} + \Delta h_{\text{ПВ}}}. \quad (3.5')$$

Решая равенства (3.5) и (3.5') относительно x_s , получим:

$$x_s = \frac{L\Delta h_{ПВ} \cos^2 \varphi}{h_B + \Delta h_{ПВ}} + H \sin \varphi \cos \varphi \quad \text{или}$$

$$x_s = \frac{L \cos^2 \varphi}{1 + h_{ПВ} / \Delta h} + H \sin \varphi \cos \varphi. \quad (3.6)$$

В этой формуле значения $h_{ПВ}$ и $\Delta h_{ПВ}$ нужно выразить через величины H и ΔH , соответствующие вертикальному направлению скважины. Непосредственно из рис. 3.24, *a* видно, что глубина по нормали под ПВ равна: $h_{ПВ} = H \cos \varphi - L \sin \varphi$.

Для нахождения величины $\Delta h_{ПВ}$ рассмотрим прямоугольник CMN , образованный пересечением прямых, соответствующих отраженному лучу и вертикальному и нормальным направлениям, исходящим из устья скважины. В этом треугольнике

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{MN}{MC},$$

где $MN = H_p \sin \varphi$ (H_p – глубина точки приема на вертикали), а $MC = \Delta H \cos \varphi - \Delta h_{ПВ}$ (разность глубин залегания границы и точки приема по вертикали ($\Delta H = H - H_p$)).

Таким образом:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H_p \sin \varphi}{\Delta H \cos \varphi - \Delta h_{ПВ}}, \quad (3.7)$$

Из равенств (3.7) и (3.5') имеем:

$$\frac{H_p \sin \varphi}{\Delta H \cos \varphi - \Delta h_{ПВ}} = \frac{L \cos \varphi}{h_{ПВ} + \Delta h_{ПВ}},$$

откуда

$$\Delta h_{ПВ} = \frac{L\Delta H \cos^2 \varphi - H_p \sin \varphi (H \cos \varphi - L \sin \varphi)}{H_p \sin \varphi + L \cos \varphi}. \quad (3.8)$$

Заметим, что при $\varphi = 0$ $\Delta h_{ПВ} = \Delta H$

Выражение абсциссы точки отражения после подстановки (3.8) в (3.6) будет иметь следующий окончательный вид:

$$x_{s+} = \frac{L \cos^2 \varphi}{1 + \frac{(H \cos \varphi - L \sin \varphi)(L \cos \varphi - H_p \sin \varphi)}{L\Delta H \cos^2 \varphi - H_p \sin \varphi (H \cos \varphi - L \sin \varphi)}} + H \sin \varphi \cos \varphi. \quad (3.9)$$

Мы получили выражение для определения абсцисс точек отражения в случае расположения их по восстанию отражающей границы относительно скважины.

Проведя аналогичные выкладки для обратного расположения точек отражения, т. е. по падению отражающей границы, получим следующее выражение x_{s-} .

$$x_{s-} = \frac{L \cos^2 \varphi}{1 + \frac{(H \cos \varphi + L \sin \varphi)(L \cos \varphi - H_p \sin \varphi)}{L\Delta H \cos^2 \varphi + H_p \sin \varphi (H \cos \varphi + L \sin \varphi)}} - H \sin \varphi \cos \varphi. \quad (3.9')$$

Из сопоставления равенств (3.9) и (3.9') видно, что они различаются знаками «+» и «-». Поэтому для обоих случаев расположения точек отражения относительно скважины можно записать следующее общее выражение:

$$x_{s\pm} = \frac{L \cos^2 \varphi}{1 + \frac{(H \cos \varphi \mp L \sin \varphi)(L \cos \varphi \pm H_p \sin \varphi)}{L \Delta H \cos^2 \varphi \mp H_p \sin \varphi (H \cos \varphi \mp L \sin \varphi)}} \mp H \sin \varphi \cos \varphi, \quad (3.9^{II})$$

имея в виду, что верхний ряд знаков соответствует расположению точек отражения по восставию, а нижний – по падению.

При $\varphi = 0$, т. е. при горизонтальном залегании границы,

$$x_s = \frac{L}{1 + H / \Delta H}. \quad (3.9^{III})$$

При $\Delta H = 0$ и $H_p = H$ $x_s = 0$

Абсциссы точек отражения при расположении начала координат в ПВ определяются как разность между удалением L и абсциссами x_s , т. е.

$$x_{ПВ} = L - x_{s\pm},$$

а при горизонтально залегающей границе также по формуле:

$$x_{ПВ} = \frac{L}{1 + \Delta H / H}. \quad (3.9^{IV})$$

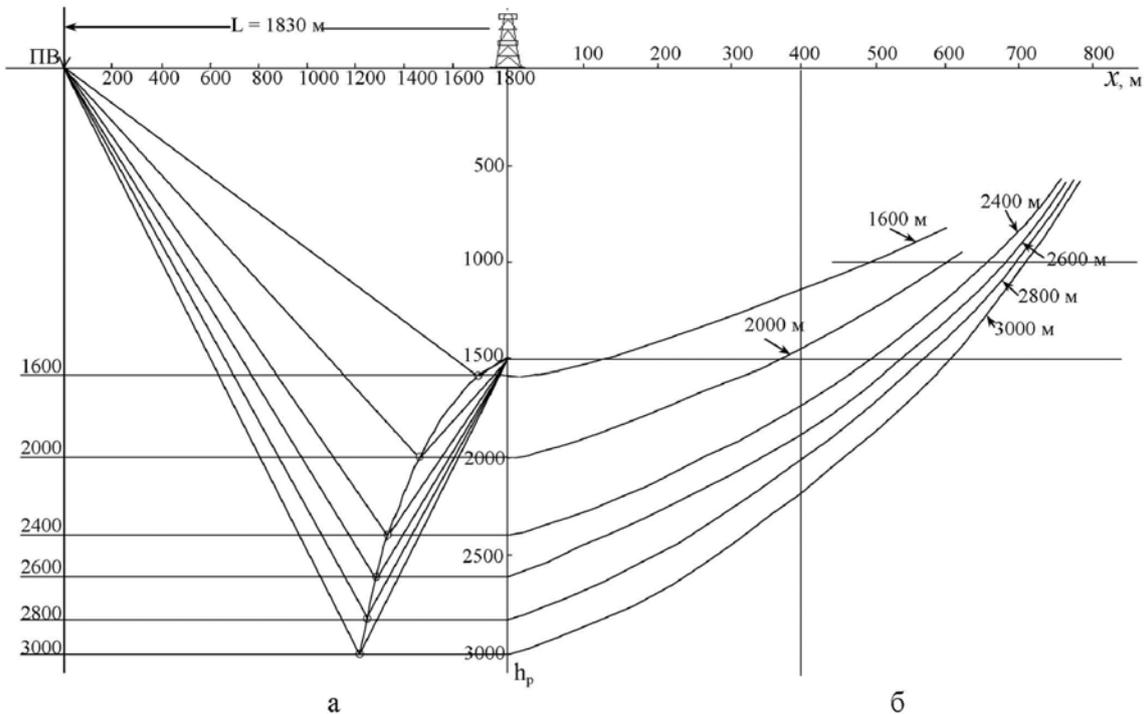


Рис. 3.25. Структура точек при ВСП.

а - Миграция точки отражения в зависимости от глубины отражающей границы.
б - Семейство кривых $x = f(h_{pi})$ для ряда отражающих границ с фиксированной глубиной залегания $H = \text{const}$. Шифр кривых - глубины залегания отражающих границ.

Представление о сложной структуре поля точек отражения при ВСП, даже при горизонтальном залегании границы, дает рис. 3.25, где показан характер распределения

точек отражения в зависимости от глубин приема H_p для некоторых заданных глубин отражающих горизонтов при фиксированном удалении ПВ от скважины и миграция точки отражения, обусловленная глубиной залегания границы.

Из рассмотрения кривых видно, что точки отражения как в пределах одной границы отражения, так и между ними расположены существенно неравномерно.

Расстояния между точками отражения в пределах одной границы плавно уменьшаются по мере уменьшения глубины приема h_p . Так, например, для самой глубокой границы ($H_R = 3000$ м) величина x в начальной части (т. е. вблизи ствола скважины) изменяется со скоростью ~ 50 м на 100 м глубины приема h_p , а вверху (глубины приема 800...600 м) скорость изменения не превышает 25 м на те же 100 м глубины приема, т. е. плотность точек отражения на границе с $H_R = 3000$ м на единицу глубины приема в верхней части вертикального профиля вдвое больше, чем в нижней.

По мере уменьшения глубины залегания границы кривые $x = f(h_p)$ выполаживаются, стремясь к выпрямлению. В связи с этим рост плотности точек отражения на единицу глубины приема для границ с меньшей глубиной залегания существенно больше, чем для границ с большей глубиной. Например, для границы с глубиной залегания $H_R = 1600$ м скорость изменения x в начальной части составляет почти 100 м на 100 м глубины приема, а в верхней части почти 50 м на 100 м. Отсюда следует, что пропорции в соотношениях скоростей изменения абсцисс точек отражения для глубоких и мелких горизонтов в начальных и конечных ПП сохраняются.

Существенно большее расхождение точек отражения отмечается на гипсометрически фиксированных уровнях приема для отражающих границ, расположенных на разных глубинах.

Так, например, на уровне 2600 м разница в величинах x на границах с $H_R = 3000$ м и $H_R = 2600$ м составляет 200 м, а еще выше – на уровне 2000 м между границами с $H_R = 2400$ м и 2000 м она составляет уже 250 м.

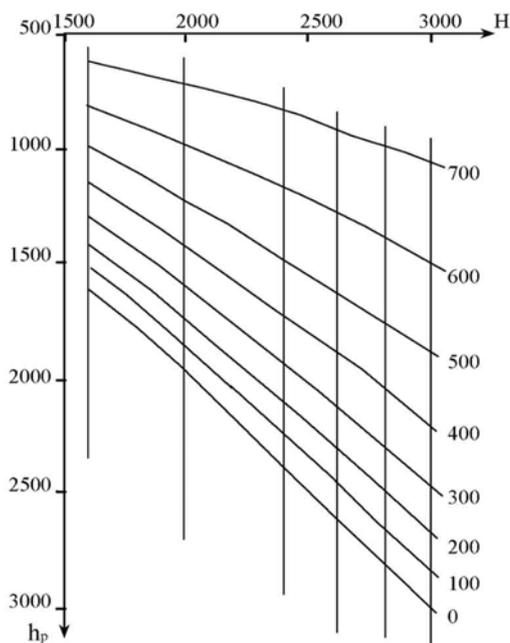


Рис. 3.26. Семейство кривых $x = f(H, h_p)$ для удаления ПВ от устья скважины на 1800 м.
 Шифр кривых – значения абсцисс точек отражения x
 при расположении начала координат в ПВ

Из приведенного анализа следует, что точки отражения с одинаковыми абсциссами (точки, расположенные на вертикальных линиях) существенно различаются по глу-

бинам приема на вертикальном профиле. Таким образом, поле точек отражения и точек приема при ВСП характеризуется довольно сложной структурой распределения, что должно учитываться при построении временного разреза.

Решение этой проблемы рассматривается ниже.

3.6.3. О закономерностях распределения скоростей V_p

На непродольных вертикальных профилях глубина точек приема h_{pi} меняется в широких пределах и скорость V_{pi} на пути от источника до какой-либо границы с фиксированной глубиной H_R и затем от нее до точки приема h_p существенно изменяется.

На рис. 3.27 приведен ряд графиков $V_{pi} = f(h_{pi})$ для ряда границ с фиксированными глубинами ($H_R = \text{const}$). Расчет V_{pi} осуществляется по выше приведенной формуле:

$$V_{pi} = \frac{2H_R - h'_{pi}}{2t_{oR} - t'_{o_{pi}}},$$

являющейся аналогом формулы для расчета средней скорости в многослойных средах:

$$V_{cp} = \frac{\sum h_k}{\sum t_k},$$

где $h_k = H_R + \Delta h_i$, $\Delta h_i = H_R - h_{pi}$; h_k можно представить как $2H_R - h_{pi}$; при $h_{pi} = 0$ $V_{pi} = V_{cp} = 2H_R/2t_0$; при $h_{pi} = H_R$, $V_{pi} = H_R/t_0 = V_{cp}$; $\sum t_k$ – сумма времен пробега до точки отражения x_i на границе R и от нее до точки приема h_{pi} .

Для иллюстрации закономерностей распределения лучевых скоростей V_{pi} в вертикальном разрезе был произведен расчет с использованием времен t_0 , глубин H_R и h_{pi} , зафиксированных на продольном профиле.

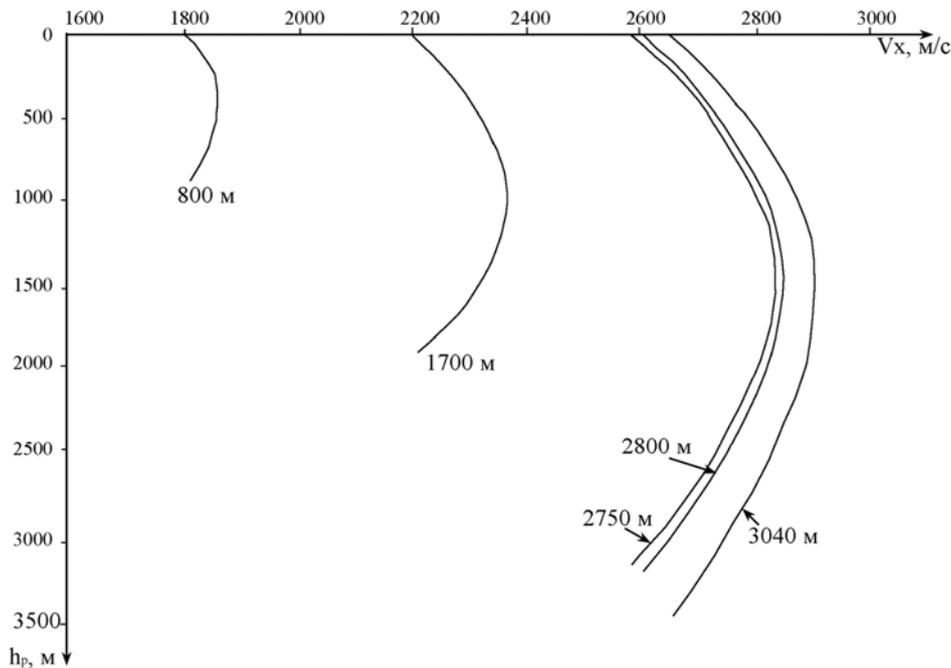


Рис. 3.27. Расчетные скорости для ввода кинематических поправок.

Шифр кривых – глубина залегания отражающей границы

При рассмотрении рис. 3.27 можно отметить следующие особенности кривых $V_{pi} = f(h_{pi})$ при фиксированных H_R . Все кривые независимо от гипсометрического по-

ложения отражающих границ сохраняют подобие формы: они имеют параболическую форму с осью, проходящей на гипсометрическом уровне $H_R/2$, и вершиной, повернутой в сторону нарастания V_{pi} .

Для распределения скоростей V_{pi} по глубине приема h_{pi} для фиксированных H_R характерно плавное нарастание V_{pi} вверх от границы отражения до некоторого максимума, а затем плавное убывание. Причем наименьшие величины V_{pi} соответствуют значениям V_{cp} до отражающих границ. Максимальные значения приурочены примерно к середине интервала, заключенного между границей отражения и дневной поверхностью. Увеличение скоростей V_{pi} относительно V_{cp} для данного горизонта составляет от 10 до 15 %. Из этого следует, что при расчете априорных кинематических поправок необходим учет изменений V_{pi} в функции двух величин (параметров); H_R и h_{pi} .

3.6.4. Расчет и ввод кинематических поправок

Кинематические поправки в сейсмограммы непродольного профилирования вводятся с целью преобразования осей синфазности однократно отраженных волн, описываемых в общем виде выражением $t = t(H)$, в линии $t_0 = t(H)$, которые затем трансформируются в линии $t_0 = t(x)$.

Методика расчета и ввода кинематических поправок определяется выбором способа построения временного разреза, один из которых сводится к предварительной трансформации вертикальных годографов отраженных волн в горизонтальные, другой – к спрямлению (или выводу на вертикаль) вертикальных годографов.

В случае применения первого способа для перехода от вертикального годографа к горизонтальному предварительно рассчитываются по выше приведенным формулам (3.9" – 3.9^{IV}), коэффициенты трансформации $\eta=f(t_0)$ (3.4') и абсциссы точек отражения $x=f(H_R, H_p)$.

Расчет и ввод кинематических поправок осуществляются точно также, как при обработке однократных наблюдений при наземной сейсморазведке МОВ.

Исходная кинематическая поправка $\tau_k(t_{0p}, V_p)$ для некоторой фиксированной границы $R(H_R = \text{const})$ рассчитывается по формуле нормального приращения годографов МОВ:

$$\tau_k(t_{0p}, V_p) = \sqrt{t_{0p}^2 + x^2 / V_p^2} - t_{0p}, \quad (3.10)$$

где t_{0p} – двойное время пробега волны по нормали до данного горизонта; V_p – средняя скорость распространения волны также до данного горизонта ($H_R = \text{const}$); x – абсцисса точки отражения относительно начала координат, расположенного в ПВ, рассчитываемая по выше приведенной формуле (3.9').

Исходной информацией для определения t_{0p} и V_p служат данные, полученные по продольному (ближний ПВ) вертикальному годографу. Априорные кинематические поправки при необходимости корректируются по правилам, хорошо разработанным для наземных наблюдений.

При применении второго способа построения временных разрезов ввод кинематических поправок осуществляется непосредственно в наблюдаемые вертикальные годографы. В этом случае производится расчет теоретических годографов и величины кинематических поправок $\tau_k = f(H_R, h_{pi})$ определяют по формуле:

$$\tau_k = \frac{\sqrt{L^2 + (2H_R - h_{pi})^2}}{V_{pi}} - t_0, \quad (3.11)$$

где t_0 – двойное время пробега волны по нормали до данного горизонта; $H_R(\text{const})$ – глубина залегания данного горизонта; V_{pi} – лучевая скорость, рассчитываемая по формуле (стр. 31); L – удаление ПВ от каротируемой скважины.

Теоретические вертикальные годографы рассчитывают по выше приведенной формуле (3.3), используя в качестве исходной информации данные, полученные по продольному вертикальному профилю.

Расчет теоретических вертикальных годографов можно проводить также по формуле:

$$t_B = t_{\text{пад.}} + t_{\text{восх.}},$$

представляя его в виде суммы времен пробега по падающему и восходящему лучам. Полное выражение этой суммы будет иметь вид:

$$t_B = \frac{\sqrt{H_R^2 + x_{\text{ПВ}}^2}}{V_p} + \frac{\sqrt{\Delta H^2 + x_{\text{СКВ}}^2}}{V_{\text{инт}_i}}, \quad (3.12)$$

где H_R – глубина залегания данного горизонта; V_p – средняя скорость распространения волны до данного горизонта; $x_{\text{ПВ}}$ – абсцисса точек отражения относительно начала координат в ПВ; ΔH – разность глубины залегания H_R горизонта и глубины h_{pi} приема сигнала ($\Delta H = H_R - h_{pi}$) – величина переменная; $x_{\text{СКВ}}$ – абсцисса точек отражения относительно начала координат на устье каротируемой скважины; $V_{\text{инт}_i}$ – интервальная скорость на восходящем луче

$$V_{\text{инт}_i} = \frac{\Delta H}{\Delta t_{\text{инт}}},$$

где $\Delta t_{\text{инт}}$ – время пробега волны на отрезке ΔH .

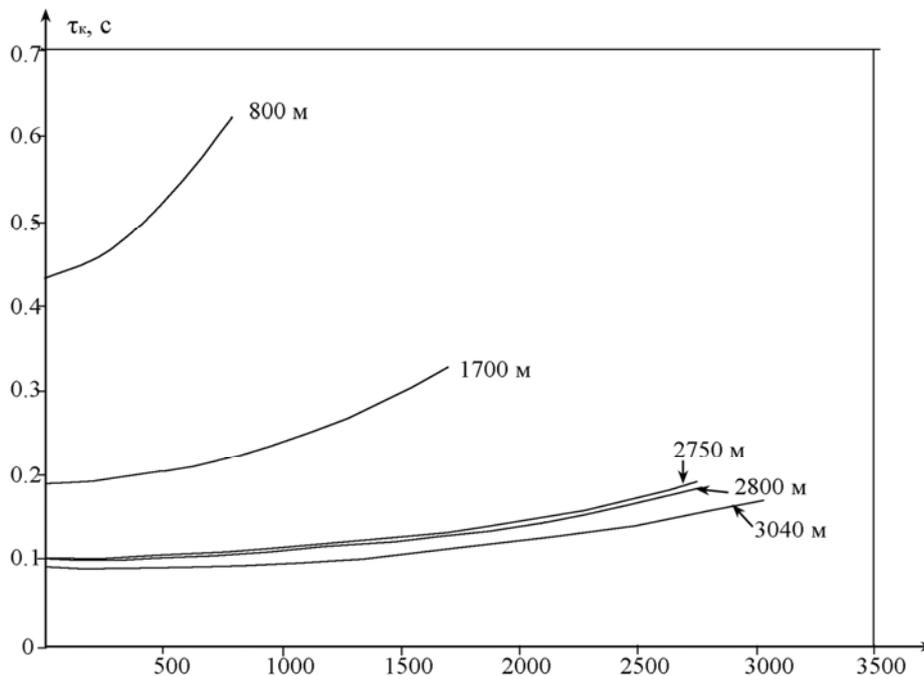


Рис. 3.28. Графики зависимости $\tau_k = f(h_{pi})$ для некоторых фиксированных глубин залегания отражающих границ

Расчет априорной кинематической поправки в этом случае производится по формуле:

$$\tau_k = \left(\frac{\sqrt{H_R^2 + x_{\text{ПВ}}^2}}{V_p} + \frac{\sqrt{\Delta H^2 + x_{\text{СКВ}}^2}}{V_{\text{инт}_i}} \right) - t_0, \quad (3.13)$$

где t_0 – двойное время пробега волны по нормали.

Ввод кинематических поправок можно осуществлять, как было сказано выше, также после трансформации вертикального годографа в горизонтальный. Наиболее практичным способом ввода этого вида поправок является расчет их по полю теоретических годографов, наложенному на поле реальных годографов.

3.6.5. Построение временных разрезов в случае многослойной покрывающей среды

При построении временных разрезов для многослойных сред необходим учет преломления. В этом случае для расчета теоретических вертикальных годографов используются специальные формулы, отличающиеся от выше приведенных, справедливых лишь для однородных покрывающих сред с $V_{cp} = const$. Расчет теоретических вертикальных годографов можно осуществить двумя путями; используя уравнения либо в параметрической форме, либо в приближенном представлении в виде разложения в ряд. В обоих случаях время пробега волны представляется в виде суммы времен пробега по падающей и восходящей ветвям (рис. 3.29).

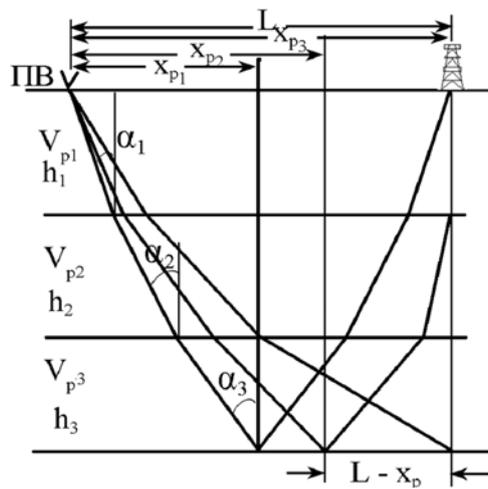


Рис. 3.29. Лучевая схема падающих и отраженных волн в случае многослойной среды

Уравнения вертикального годографа в параметрической форме имеют следующий вид:

$$t_p = \sum_{k=1}^n \left(\frac{h_k}{V_k \sqrt{1 - P^2 V_k^2}} \right) \quad (3.14)$$

$$x_p = \sum_{k=1}^n \left(\frac{h_k P V_k}{V_k \sqrt{1 - P^2 V_k^2}} \right) \quad (3.14')$$

где t_p – время пробега волны по падающему лучу; x_p – абсцисса точки отражения при расположении начала координат в ПВ; h_k – мощность k -го слоя; V_k – скорость распространения волны в k -м слое; P – параметр среды, определяемый по формуле:

$$\frac{\sin \alpha_1}{V_1} = \frac{\sin \alpha_2}{V_2} = \frac{\sin \alpha_{n-1}}{V_{n-1}} = \frac{\sin \alpha_n}{V_n} = P$$

Параметрические уравнения для восходящих ветвей будут иметь аналогичный вид, но при этом рассчитываемые величины t и x следует индексировать как t_v и x_v (индекс «в» подчеркивает восходящий характер лучей); кроме того, x_v – абсцисса точки отражения при расположении начала координат на устье скважины.

Полный вертикальный теоретический годограф рассчитывается как сумма времен пробега по падающему и восходящему лучам: $T = t_b + t_p$.

Расчет вертикальных теоретических годографов можно производить по приближенным формулам (в виде ряда), обеспечивающим вполне удовлетворительную точность (при трех членах разложения).

Уравнение горизонтального годографа, полученное путем разложения в ряд имеет вид:

$$t = t_o + \frac{1}{2} \frac{x^2}{\sum_{k=1}^n 2h_k V_k} - \frac{x^4}{8} \frac{\sum_{k=1}^n 2h_k V_k^3}{\left(\sum_{k=1}^n 2h_k V_k\right)^4} + \dots, \quad (3.15)$$

где t_o – двойное время пробега волны по нормали; x – расстояние между источником и приемником.

Принимая это уравнение за исходное, запишем применительно к вертикальному профилю уравнения для годографа падающей и восходящей ветвей:

Для падающей ветви:

$$t_p = t_{op} + \frac{1}{2} \frac{x_p^2}{\sum_{k=1}^n h_k V_k} - \frac{x_p^4}{8} \frac{\sum_{k=1}^n h_k V_k^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_k\right)^4} + \dots, \quad (3.16)$$

где t_{op} – время пробега падающей волны по нормали в одну сторону (величина постоянная для данной отражающей границы); x_p – абсцисса точки падения-отражения при расположении начала координат в источнике (ПВ).

Для восходящей ветви:

$$t_b = t_{ob} + \frac{1}{2} \frac{x_b^2}{\sum_{k=1}^n h_{kb} V_{kb}} - \frac{x_b^4}{8} \frac{\sum_{k=1}^n h_{kb} V_{kb}^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_{kb} V_{kb}\right)^4} + \dots, \quad (3.17)$$

где t_{ob} – время пробега волны по нормали от отражающей границы до точки приема (величина переменная в отличие от t_{op}); x_b – абсцисса точки отражения при расположении начала координат на устье скважины.

Уравнение полного годографа представляется в виде суммы времен $T = t_p + t_b$ или

$$T = (t_{op} + t_{ob}) + \frac{1}{2} \left(\frac{x_p^2}{\sum_{k=1}^n h_k V_k} + \frac{x_b^2}{\sum_{k=1}^n h_{kb} V_{kb}} \right) - \frac{(x_p^4 + x_b^4)}{8} \left\{ \frac{\sum_{k=1}^n h_k V_k^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_k\right)^4} + \frac{\sum_{k=1}^n h_{kb} V_{kb}^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_{kb} V_{kb}\right)^4} \right\}. \quad (3.18)$$

В случае приема падающего луча в точке пересечения границы скважинной, вертикальный годограф будет представлен временем пробега волны только вдоль этого луча и уравнение вертикального годографа будет иметь вид:

$$T = t_p = t_{op} + \frac{1}{2} \frac{L^2}{\sum_{k=1}^n h_k V_k} - \frac{L^4}{8} \frac{\sum_{k=1}^n h_k V_k^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_k\right)^4} + \dots \quad (3.18')$$

При приеме отраженного луча на устье скважины, когда $t_{op}=t_{об}$, уравнение вертикального годографа принимает вид горизонтального годографа:

$$T = 2t_{op} + \frac{1}{2} \frac{L^2}{\sum_{k=1}^n 2h_k V_k} - \frac{L^4}{8} \frac{\sum_{k=1}^n 2h_k V_k^3}{\left(\sum_{k=1}^n 2h_k V_k\right)^4}. \quad (3.18'')$$

Для расчета теоретических годографов используется информация по распределению времен t_{op} , $t_{об}$, мощностей h_k , $h_{кв}$ и скоростей распределения волны V_k , $V_{кв}$ в вертикальном разрезе, полученная по наблюдениям с ближнего пункта взрыва.

Расчет абсцисс точек падения-отражения производится по выше приведенным формулам (3.9 и 3.9').

Определение априорных кинематических поправок τ_k осуществляется путем вычитания из общего выражения вертикального годографа двойного времени пробега ($2 t_{op}$) волны по нормали.

Формулы для расчета τ_k в общей и развернутой формах имеют соответственно следующий вид:

$$\tau_k = T - 2 t_{op} \quad (3.19)$$

$$\tau_k = (t_p + t_{об}) + \frac{1}{2} \left[\frac{x^2}{\sum_{k=1}^n h_k V_k} + \frac{(L - x_p)^2}{\sum_{k=1}^n h_{кв} V_{кв}} \right] - \frac{1}{8} \left\{ \frac{x_p^4 \sum_{k=1}^n h_k V_k^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_k\right)^4} + \frac{(L - x_p)^4 \sum_{k=1}^n h_{кв} V_{кв}^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_{кв} V_{кв}\right)^4} \right\} + \dots - 2t_{op}. \quad (3.19')$$

Для случаев приема колебаний в точке пересечения скважиной отражающего горизонта и на устье скважины величины кинематических поправок составляют соответственно:

$$\tau_{k1} = -t_{op} + \frac{1}{2} \frac{L^2}{\sum_{k=1}^n h_k V_k} - \frac{L^4}{8} \frac{\sum_{k=1}^n h_k V_k^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_k\right)^4} + \dots \quad (3.20)$$

$$\tau_{k2} = \frac{1}{2} \frac{L^2}{\sum_{k=1}^n 2h_k V_k} - \frac{L^4}{8} \frac{\sum_{k=1}^n 2h_k V_k^3}{\left(\sum_{k=1}^n 2h_k V_k\right)^4} + \dots \quad (3.20')$$

Поправки для других точек наблюдения будут иметь промежуточные значения. Введением расчетных кинематических поправок в реальные годографы отраженных волн происходит спрямление их осей синфазности. Эту процедуру можно отнести к числу основных при построении временных разрезов.

Трассы спрямленных осей синфазности имеют, как было показано выше, «скользящие» по времени (или глубине приема) абсциссы точек отражения (рис. 3.24). Для построения временного разреза с трассами, имеющими одинаковое координатное положение, необходимо полученную запись со спрямленными осями синфазности переформировать. Переформирование осуществляется следующим образом.

С заданным шагом Δx производится расчет теоретических трасс, имеющих для всего интервала временного разреза фиксированное значение абсциссы точки отражения, т. е. $x = \text{const}$ (рис. 3.30). Для расчета x используется выше приведенная формула (3.9).

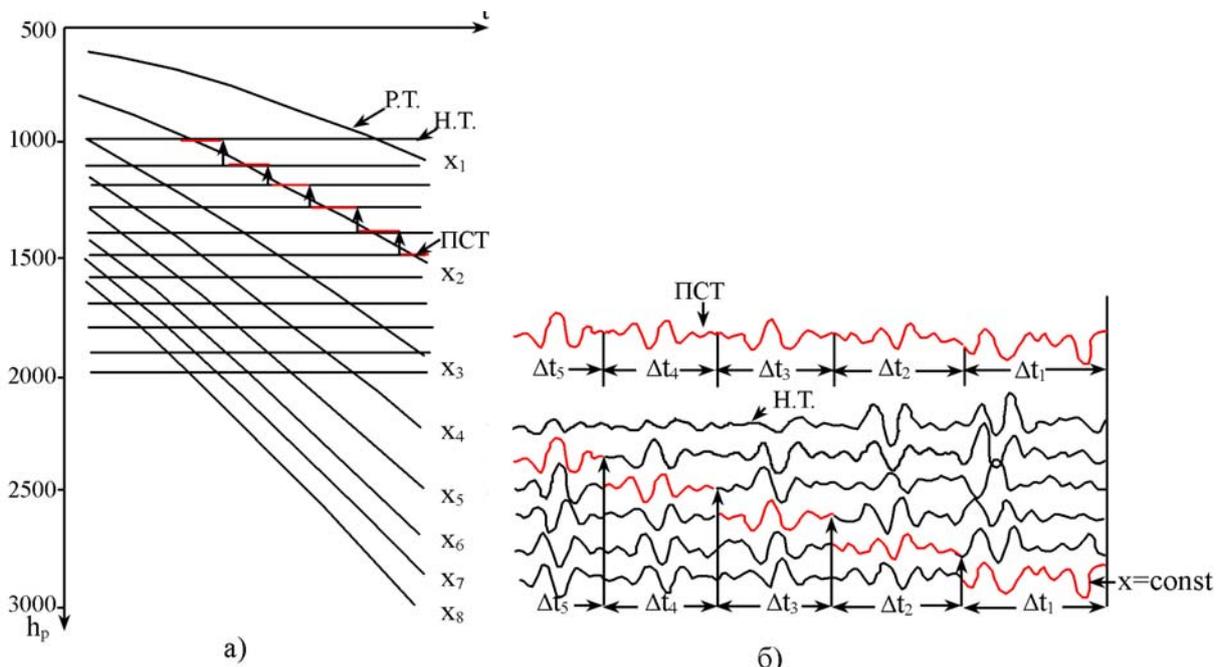


Рис. 3.30. Формирование позитивно-синтезированной трассы (ПСТ) при построении временного разреза ВСП МОВ:

а) семейство расчетных трасс и принципиальная схема формирования ПСТ;

б) пример формирования ПСТ на реальном материале

Р.Т. – расчетные (теоретические) трассы с $x = \text{const}$

Н.Т. – наблюдаемые трассы с $h_p = \text{const}$

Рассчитанные трассы (РТ) как график зависимости $t=t(x)$ или $t=t(H)$ имеют вид линий, характеризующихся слабо выраженной кривизной и проходящими с «угловым» несогласием по отношению к наблюдаемым трассам (НТ) (рис. 3.30).

Совокупность расчетных трасс на весь интервал разреза представляет собой семейство веерообразно расходящихся кривых линий, плотность и кривизна которых нарастают в направлении уменьшения глубины приема.

На рис. 3.30, а показан принцип формирования трассы с фиксированной абсциссой точек отражения на разных временных (глубинных) уровнях. Принцип сводится к стыковке близрасположенных снизу и сверху к расчетной трассе интервалов Δt наблюдаемых трасс.

На этом же рис. 3.30, б приведен пример формирования позиционно-синтезированной трассы (ПСТ) из отрезков реально наблюдаемых трасс. Как видно, синтезированная трасса не имеет принципиальных отличий от наблюдаемых.

3.6.6. Построение временных разрезов по обменным отраженным волнам

Построение временных разрезов в случае многослойной среды осуществляется с применением аналогичных для монотипных волн уравнений. Отличительной особенностью уравнений для PS-волн является использование скоростей распространения двух типов волн: продольных (на падении) и поперечных (на отражении).

Полное уравнение (для горизонтального профиля) PS-волны в форме ряда с тремя членами разложения имеет вид:

$$t_{ps} = t_{ops} + \frac{1}{2} \frac{L_2}{\sum_{k=1}^n h_k V_k (1 + \gamma_k)} - \frac{L_4}{8} \frac{\sum_{k=1}^n h_k V_{pk}^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_{pk} (1 + \gamma_k) \right)^4} + \dots, \quad (3.21)$$

где t_{ops} – время пробега PS-волн по нормали, равное сумме времен пробега падающей продольной t_{op} и отраженной t_{os} волн ($t_{ops} = t_{op} + t_{os}$); V_{pk} – скорость распространения продольной волны в k -ом слое; h_k – мощность k -го слоя; γ_k – значение комплексного параметра $\gamma_k = V_{sk}/V_{pk}$ в k -ом слое (V_{sk} – скорость поперечной волны в k -ом слое).

При наблюдениях на вертикальном профиле для расчета времен вертикального годографа уравнение его можно представить также как и для монотипных волн в виде суммы годографов продольной t_p и поперечной t_s составляющих:

$$t_p(x_p) = t_{op} + \frac{1}{2} \frac{x_p^2}{\sum_{k=1}^n h_k V_{pk}} - \frac{1}{8} \frac{\sum_{k=1}^n h_k V_{pk}^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_{pk} \right)^4} x_p^2 + \dots \quad (3.22)$$

$$t_s(x_s) = t_{os} + \frac{1}{2} \frac{x_s^2}{\sum_{k=1}^n h_k V_{sk}} - \frac{1}{8} \frac{\sum_{k=1}^n h_k V_{sk}^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_{sk} \right)^4} x_s^2 + \dots \quad (3.23)$$

В приведенных выражениях x_p и x_s – абсциссы точек падения и отражения падающей продольной P и отраженной поперечной составляющей с началом координат в ПВ и на устье скважины соответственно.

Необходимо обратить внимание на то, что в поле обменных волн существует нулевая зона вблизи источника радиусом $(0.1 \dots 0.3) H$ – глубины залегания отражающего горизонта, в пределах которой PS-волны не генерируются. В связи с этим обменные волны регистрируются только за пределами этой зоны и время t_{os} , соответствующее пути по нормали, определяется из простого соотношения $t_{os} = t_{op}/\gamma$, где $\gamma = V_s/V_p$ – отношение средних скоростей V_s и V_p до данного отражающего горизонта.

Для расчета теоретических годографов используется информация о продольных скоростях, полученная с ближнего ПВ. Информация о средних, пластовых скоростях поперечных волн, как будет показано ниже, извлекается из вертикального годографа прямой падающей поперечной волны и поперечных составляющих обменных PS-волн.

Методика ввода кинематических поправок аналогична методике, применяемой при построении разрезов по продольным волнам: априорная кинематическая поправка τ_{kps} определяется как разность расчетного времени t_{ps} и времени распространения волны по нормали t_{ops} :

$$\tau_{kps} = t_{ps} = t_p + t_s - t_{ops}$$

Полное выражение поправок будет иметь вид:

$$\tau_k = (t_p + t_{об}) + \frac{1}{2} \left(\frac{x^2}{\sum_{k=1}^n h_k V_k} + \frac{x_s^2}{\sum_{k=1}^n h_k V_{sk}} \right) - \frac{1}{8} \left\{ \frac{\sum_{k=1}^n h_k V_{pk}^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_{pk} \right)^4} x_p^2 + \frac{\sum_{k=1}^n h_k V_{sk}^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_{sk} \right)^4} x_s^2 \right\} + \dots - t_{ops}. \quad (3.24)$$

В случаях приема волн PSв точке пересечения скважиной отражающей границы и на устье каротируемой скважины величины кинематических поправок будут определяться следующим выражением соответственно:

$$\tau_{k1} = \frac{1}{2} \left(\frac{L^2}{\sum_{k=1}^n h_k V_{pk}} \right) - \frac{1}{8} \left\{ \frac{\sum_{k=1}^n h_k V_{pk}^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_{pk} \right)^4} L^4 \right\} + \dots - t_{ops}, \quad x_p = L. \quad (3.24')$$

Из анализа этого выражения следует, что при вычитании поправки τ_k из времени волны t_{ps} , к линии пробега по нормали приводится падающая продольная составляющая t_p , а отсутствие поперечной составляющей компенсируется временем t_{os} , меняющем знак «-» на «+» при вычитании.

$$\tau_{k2} = \frac{1}{2} \frac{L^2}{\sum_{k=1}^n h_k V_{pk} (1 + \gamma_k)} - \frac{1}{8} \frac{\sum_{k=1}^n h_k V_{pk}^3 (1 + \gamma_k)}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_{pk} (1 + \gamma_k) \right)^4} \quad (3.25)$$

$$\text{или} \quad \tau_{k2} = \frac{1}{2} \left(\frac{x_p^2}{\sum_{k=1}^n h_k V_{pk}} + \frac{x_s^2}{\sum_{k=1}^n h_k V_{sk}} \right) - \frac{1}{8} \left\{ \frac{\sum_{k=1}^n h_k V_{pk}^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_{pk} \right)^4} x_p^2 + \frac{\sum_{k=1}^n h_k V_{sk}^3}{\left(\sum_{k=1}^n h_k V_{sk} \right)^4} x_s^2 \right\} \quad (3.25')$$

Введением кинематических поправок достигается спрямление (или вывод на вертикаль) осей синфазности PS-волн.

Также как при обработке продольных волн, производится расчет теоретических трасс, для которых $x_{ps} = \text{const}$, по тому же принципу осуществляется конструирование позиционно-синтезированных трасс.

При построении временных разрезов по обменным отраженным волнам наиболее сложной проблемой является определение абсцисс x_{ps} точек падения-отражения. Для расчета x_{ps} можно использовать следующие два способа.

Первый способ сводится к решению уравнения четвертой степени, к которому приводит преобразование выражения закона Снеллиуса:

$$\gamma = \sin\beta / \sin\alpha = V_s / V_p; \quad (3.26)$$

В соответствии с принятыми на рис. 3.31 обозначениями это выражение можно записать в следующем виде:

$$\gamma = \frac{x_s \sqrt{(L - x_s)^2 + H_R^2}}{\sqrt{x_s^2 + \Delta H^2} (L - x_s)}, \quad (3.26')$$

где x_s – абсцисса точки отражения при расположении начала координат на устье скважины.

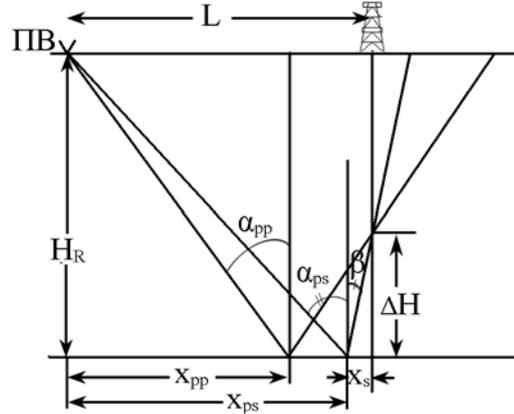


Рис. 3.31. Лучевая схема падающих продольных и отраженных PS-волн

Раскрывая и преобразовывая это равенство, получим следующее уравнение четвертой степени относительно неизвестного x_s :

$$x_s^4 - 2Lx_s^3 = \frac{L^2(1-\gamma^2) + H_R^2 - \gamma^2\Delta H^2}{(1-\gamma^2)} x_s^2 + \frac{2L\gamma^2\Delta H^2}{(1-\gamma^2)} x_s - \frac{L^2\gamma^2\Delta H^2}{(1-\gamma^2)} = 0. \quad (3.27)$$

Решение этого уравнения возможно с помощью компьютера.

В основе второго способа лежит нахождение абсцисс точек отражения PS-волн с помощью приближенных формул, полученных для наблюдений на горизонтальном профиле [1].

При расположении начала координат в ПВ исходной формулой для расчета x_{ps} является выражение:

$$x_{ps} = L \frac{(1+\gamma) + 0,5(1-\gamma)\lambda^2}{(1+\gamma)^2 + 0,5(1-\gamma)\lambda^2}, \quad \text{где } \lambda = \frac{L}{H}. \quad (3.28)$$

Преобразование этого выражения разложением в ряд дает следующую формулу:

$$x_{ps} = \frac{L}{(1+\gamma)} \left(1 + \frac{0,5\gamma(1-\gamma)}{(1+\gamma)^2} \lambda^2 - \frac{0,25\gamma(1-\gamma)^2}{(1+\gamma)^4} \lambda^4 \right) + \dots \quad (3.28')$$

Расчеты показывают, что определение абсциссы точки отражения x_{ps} при $L/H \leq 1.5$ обеспечивается с точностью не ниже 0.2 % при ограничении этого равенства вторым членом разложения:

$$x_{ps} = \frac{L}{(1+\gamma)} \left(1 + \frac{0,5\gamma(1-\gamma)}{(1+\gamma)^2} \lambda^2 \right) \quad (3.29)$$

что вполне достаточно для практических целей.

Заметив, что $L=2x_p$ (x_p – абсцисса точки отражения продольной волны), последнее выражение перепишем в виде:

$$x_{ps} = \frac{2x_p}{(1+\gamma)} \left\{ 1 + \frac{0,5\gamma(1-\gamma)}{(1+\gamma)^2} \left(\frac{2x_p}{H_R} \right)^2 \right\}. \quad (3.29')$$

Особенность использования этой формулы, обусловленная ее применимостью для горизонтального профиля, на котором восходящие лучи P и S принимаются в одной точке приема (ПП), заключается в следующем. Расчетное поле точек отражения продольных волн с помощью последнего выражения пересчитывается в поле точек отражения PS-волн. Затем по этому полю определяются точки приема путем расчета величин ΔH и, таким образом, находится зависимость $x_{ps} = f(H_p)$. В соответствии с этой зависимостью определяются абсциссы точек отражения для реальных точек приема на вертикальном профиле с шагом наблюдений.

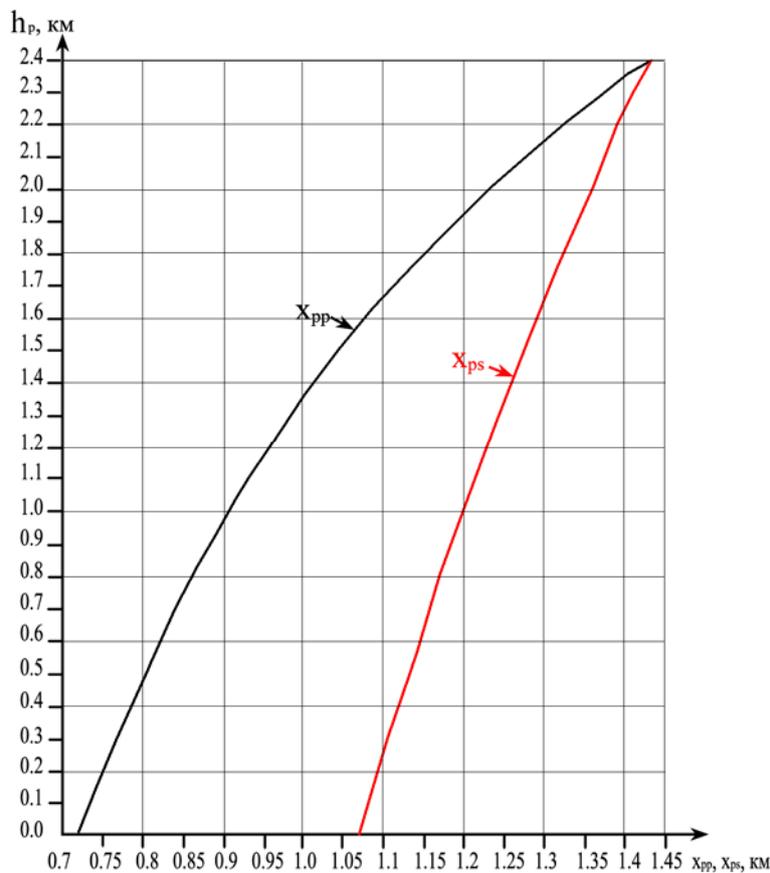


Рис. 3.32. Графики зависимости абсцисс точек отражения продольной и обменной отраженных волн от глубины приема h_p

Формула для определения точки приема на вертикальном профиле, исходящая из закона Снеллиуса, имеет вид:

$$\Delta H = \frac{x_s \sqrt{(L-x_s)^2 (1-\gamma^2) + H_R^2}}{\gamma(L-x_s)}, \quad (3.30)$$

где ΔH – отрезок профиля между отражающим горизонтом и точкой приема на вертикальном профиле: $\Delta H = H_R - h_p$, откуда $h_p = H_R - \Delta H$ (h_p – глубина точки приема на вер-

тикальном профиле) $x_s = L - x_{ps}$ – абсцисса точки падения-отражения PS-волны, отсчитываемая от ствола скважины.

При $\gamma = 1$ равенство (3.30) приобретает вид соотношения, которое было получено ранее для продольных (монотипных) волн:

$$\Delta H = \frac{x_s H_R}{L - x_s}.$$

На рис. 3.32 представлен пример расчетного графика $x_s = f(h_p)$ для условий:

- удаление ПВ от скважины $L=1435$ м;
- глубина залегания отражающего горизонта $H_R=2400$ м;
- значение комплексного параметра $\gamma = V_s/V_p = 0.374$.

Из рассмотрения графика следует, что связь между x_s и h_p описывается в первом приближении пологой экспоненциальной кривой.

Расчеты x_s путем решения уравнения четвертой степени и по приближенной формуле дают практически одинаковый результат.

3.3.7. Учет инклинометрии при построении временных разрезов ВСП МОВ

При построении временных разрезов по наблюдениям в наклонных скважинах обязателен учет ее искривления путем ввода соответствующих поправок в расчеты теоретических годографов. Решение задачи сводится к определению абсцисс x_i точек отражения относительно пунктов взрыва и скважины. Наиболее просто эта задача решается в случае однонаправленного наклона скважины от устья до забоя, т. е. при $\alpha = \text{Const}$ (рис. 3.33, а, 3.34).

Формулы расчета $x_{iПВ}$ и $x_{iСКВ}$ имеют разную форму в зависимости от взаимного расположения взрывной линии и ствола скважины. Общим случаем такого расположения является расположение в плоскостях, пересекающихся под произвольным углом (рис. 3.33, б); в частных случаях взрывная линия и ствол скважины могут находиться в одной или взаимноперпендикулярных плоскостях (рис. 3.33, а). На рис. 3.33, а и б показаны схемы хода лучей от ПВ к крайним пунктам приема сигналов вертикального профиля, под которыми понимаются точка пересечения скважиной границы R (нижняя точка) и устье скважины (верхняя точка).

При рассмотрении рис. 3.33, а и 3.34, а и б можно видеть, что за счет наклона скважины удаление ПВ от скважины, являющееся основой расчета абсцисс точек отражения, «скользит»; наиболее отчетливо это видно, когда взрывная линия и вертикальный профиль расположены в одной плоскости, причем в случае наклона скважины в сторону ПВ удаление плавно увеличивается от $L-d_0$ до L (d_0 -горизонтальный отход скважины от вертикали на забое) (рис. 3.34, б) и уменьшается при наклоне ее в противоположную от ПВ сторону от $L+d_0$ до L (рис. 3.34, а).

При расположении взрывной линии и вертикального профиля в пересекающихся под произвольным углом плоскостях горизонтальная проекция O_2Q удаления ПВ от скважины в соответствии с теоремой косинусов составит:

$$O_2Q = \sqrt{L^2 + d_0^2 \pm 2d_0L \cos \varphi},$$

где φ – угол между проекциями наклонной скважины и падающего луча на горизонтальную плоскость; знак «+» при $\varphi > 90^\circ$, знак «-» при $\varphi < 90^\circ$.

Согласно этому выражению исходные формулы расчета абсцисс точек отражения при расположении начала координат в ПВ (т.т. O_2, O_4) и на скважине S запишутся соответственно в виде:

$$x_{iПВ} = \frac{\sqrt{L^2 + d_i^2 \pm 2d_i L \cos \varphi}}{1 + \frac{\Delta h_i}{H_R}}; \quad (3.31)$$

$$x_{iСКВ} = \frac{\sqrt{L^2 + d_i^2 \pm 2d_i L \cos \varphi}}{1 + \frac{H_R}{\Delta h_i}}, \quad (3.31')$$

где d_i – горизонтальный отход скважины от вертикали на i -ой глубине приема h_{pi} , определяемый по формуле:

$$d_i = h_{pi} \operatorname{tg} \alpha, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{d_o}{H_3} \text{ – отношение горизонтального отхода}$$

наклонной скважины от вертикали к глубине ее забоя;

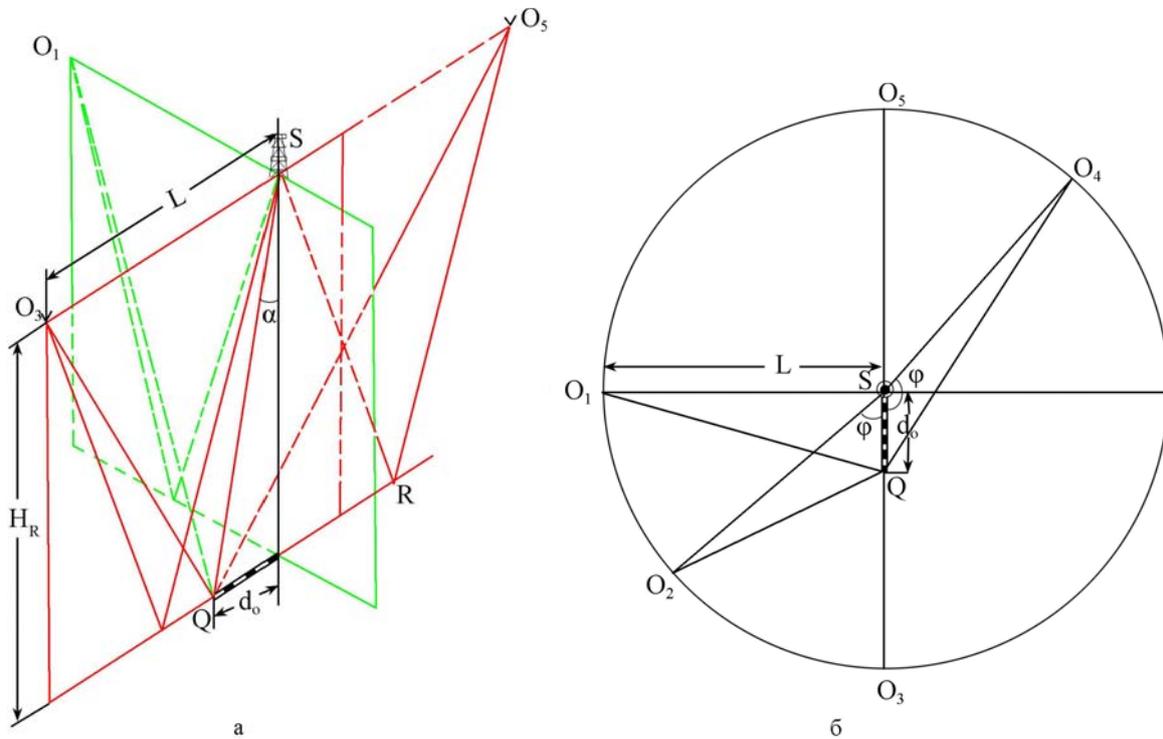


Рис. 3.33. Схемы взаимного расположения взрывной линии (ПВ – скв.) и ствола наклонной скважины в пространстве (а) и в плане (б).
 S – скважина; $O_1 \dots O_5$ – пункты взрыва; L – удаление ПВ от скважины;
 R – отражающая граница; H_R – глубина залегания отражающей границы;
 d_o – горизонтальное отклонение скважины на забое;
 α – угол наклона скважины от вертикального положения

Δh_i – разность между глубиной залегания H_R границы R и глубиной приема h_{pi} ($\Delta h_i = H_R - h_{pi}$).
 Подставляя в исходные формулы выражение для d_i , получим:

$$x_{iПВ} = \frac{\sqrt{L^2 + h_{pi}^2 \left(\frac{d_o}{H_3} \right) \pm 2h_{pi} \left(\frac{d_o}{H_3} \right) \cos \varphi}}{1 + \frac{\Delta h_i}{H_R}}, \quad (3.32)$$

$$x_{\text{искв}} = \frac{\sqrt{L^2 + h_{\text{pi}}^2 (d_o / H_3) \pm 2h_{\text{pi}} (d_o / H_3) \cos \varphi}}{1 + \frac{H_R}{\Delta h_i}}. \quad (3.32')$$

В случае приема сигнала в крайней нижней точке приема Q (рис. 3.33, а, 3.34), когда $h_{\text{pi}} = H_R$, а $\Delta h_i = 0$, формула принимает вид:

$$x_{\text{ПВ}} = \sqrt{L^2 + d_R^2 \pm 2d_R L \cos \varphi}, \quad x_{\text{СКВ}} = 0,$$

где d_R – отход скважины от вертикали на глубине границы R.

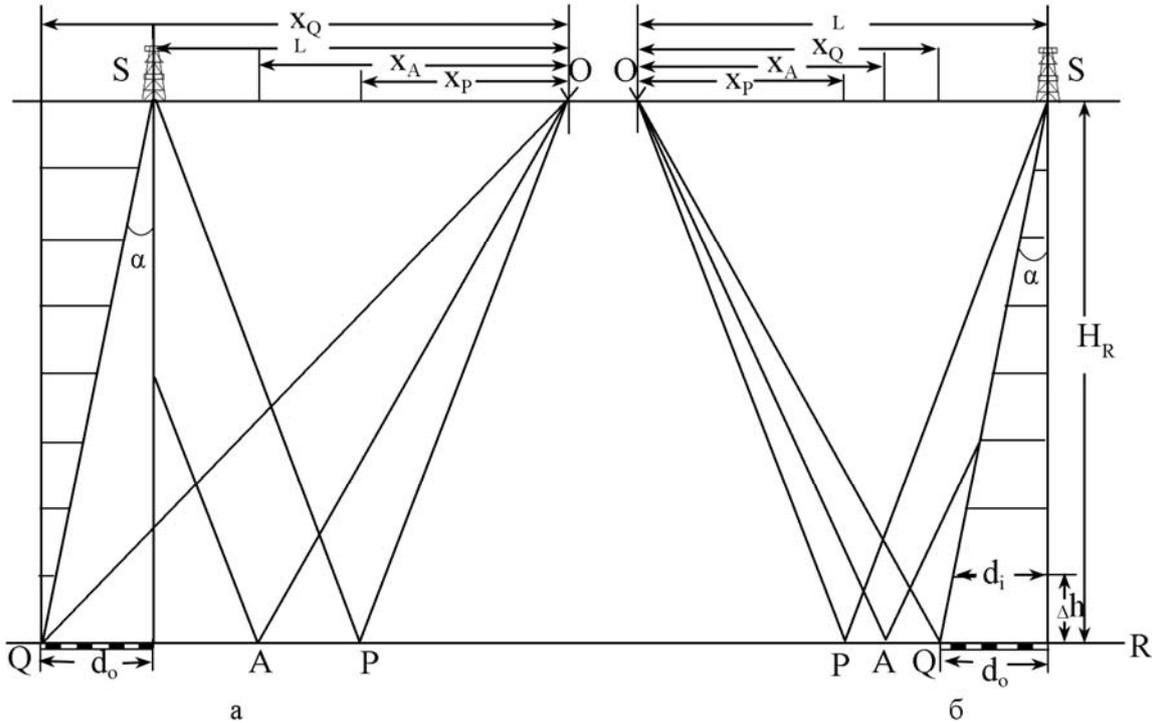


Рис. 3.34. Схемы хода падающих и отраженных лучей при ВСП в наклонной скважине. Угол наклона к вертикали $\alpha = \text{Const}$. Взрывная линия OS и скважина находятся в одной вертикальной плоскости. Скважина наклона: а – в сторону от ПВ; б – навстречу ПВ

При приеме сигнала на устье скважины, т. е. в верхней крайней точке, когда $h_{\text{pi}} = 0$, а $\Delta h_i = H_R$, значения абсцисс будут равны: $x_{\text{ПВ}} = L/2$ и $x_{\text{СКВ}} = L/2$

В частных случаях расположения взрывной линии и вертикального профиля в одной или взаимноперпендикулярных плоскостях формулы расчета абсцисс приобретают более простой вид.

При расположении в одной плоскости (рис. 3.34, а, б) при $\varphi = 0$ и $\cos \varphi = 1$

$$x_{\text{ПВ}} = \frac{L \pm h_{\text{pi}}^2 (d_o / H_3)}{1 + \frac{\Delta h_i}{H_R}}, \quad (3.33)$$

$$x_{\text{искв}} = \frac{L \pm h_{\text{pi}}^2 (d_o / H_3)}{1 + \frac{H_R}{\Delta h_i}}. \quad (3.33')$$

В крайних точках приема величины абсцисс будут равны:

$$x_{ПВ} = L \pm d_R, x_{СКВ} = 0 \text{ – нижняя точка,}$$

$$x_{ПВ} = L/2 \text{ и } x_{СКВ} = L/2 \text{ – устье скважины.}$$

При расположении линий во взаимноперпендикулярных плоскостях (рис. 3.33, а) при $\varphi = 90^\circ$ и $\cos\varphi = 0$ расчетные формулы примут вид:

$$x_{ПВ} = \frac{\sqrt{L^2 + h_{pi}^2 (d_o / H_3)^2}}{1 + \frac{\Delta h_i}{H_R}}, \quad (3.34)$$

$$x_{СКВ} = \frac{\sqrt{L^2 + h_{pi}^2 (d_o / H_3)^2}}{1 + \frac{H_R}{\Delta h_i}}. \quad (3.34')$$

В крайних точках приема (нижней и верхней соответственно)

$$x_{ПВ} = \sqrt{L^2 + d_o^2}, \quad x_{СКВ} = 0$$

$$x_{ПВ} = L/2 \text{ и } x_{СКВ} = L/2$$

Данные инклинометрии представляются, как правило, в табличной форме, где указываются азимутальный и вертикальный углы отклонения скважины на каждый случай изменения ее направления, отмечаются глубины этих изменений.

Учет неоднократных изменений направлений скважины в пространстве при расчете абсцисс точек отражения осуществляется поинтервально путем применения соответствующих формул.

4. ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ДАННЫМ ВСП

4.1. Основные особенности волнового поля, регистрируемого при ВСП

Основным материалом для анализа волнового поля при ВСП служат сейсмограммы вертикальной (Z) и горизонтальных (X , Y) компонент, зарегистрированных из разных ПВ (рис. 4.1).

Общей отличительной особенностью волнового поля, регистрируемого при ВСП, от волнового поля при наземных наблюдениях, является существенно более высокая представительность в его составе типов волн и зон их интерференции. Часть из типов волн, фиксируемых на вертикальном профиле, на поверхностных горизонтальных профилях не наблюдается вообще: к ним относятся, прежде всего, волны, проходящие вниз (например, падающие обменные типа PS), а также кратные, отразившиеся от границ, расположенных выше точек приема (например, спутники прямой продольной волны).

Для лучевой схемы волнового поля при ВСП характерно закономерное изменение направления подхода волн от одной точки приема к другой при перемещении глубинного приемного зонда, обусловленное как взаимным расположением источника и приемника, так и параметрами среды, за счет которых варьирует кривизна рефрагирующего луча. Все это приводит к тому, что на сейсмограммах одной (основной) компоненты могут регистрироваться составляющие других (побочных) компонент. Например, на записях Z -компоненты практически регулярно регистрируются падающие обменные PS -волны (рис. 4.1, a).

В наиболее «чистом» виде состав волновых полей на разных компонентах можно видеть при наблюдениях с ближнего ПВ, т. е. на сейсмограммах продольного профиля, а в наиболее «засоренном» – с удаленных ПВ, т. е. на непродольных профилях.

Изучение волнового поля на вертикальном профиле начинается с выделения и прослеживания на сейсмограммах ВСП типов волн, каждому из которых свойственны индивидуальные кинематические и динамические признаки (кажущаяся скорость, спектральный состав, соотношение амплитуд различных фаз и т. п.), а при трехкомпонентной регистрации доминирующую роль может играть признак поляризации.

Рассмотрим основные особенности двух, представляющих наибольший интерес, типов волн: прямых и отраженных продольных волн, регистрируемых на Z -компоненте.

Прямая продольная волна. При наблюдениях во внутренних точках среды под прямой волной понимается волна, приходящая к точкам приема первой и имеющая положительную кажущуюся скорость на протяжении всего вертикального профиля, за исключением участка в его верхней части по протяженности сопоставимого с удалением ближнего к скважине ПВ, где кажущаяся скорость изменяется от отрицательных значений до бесконечности.

Корреляция волны в большинстве случаев однозначна, что объясняется тем, что она регистрируется на спокойном фоне и на сейсмограмме можно точно определить время вступления волны (рис. 4.1, a), фиксирующее непосредственно момент перехода частиц среды от состояния покоя к состоянию движения.

Осложнения или нарушения корреляции прямой волны носят локальный характер и вызваны, как правило, некачественным цементажом обсадной колонны, особенно это относится к кондукторной части скважины (интервал вертикального профиля на глубинах 0–400÷600 м). Картины нарушения корреляции проявляются либо в фрагментарности и изломах оси синфазности прямой волны, либо в наложении на ее запись более высокоскоростной трубной волны. Выделение момента первых вступлений в этих случаях становится затруднительным или вообще невозможным. Поэтому верхняя часть разреза зачастую оказывается менее изученной, чем глубокие его части.

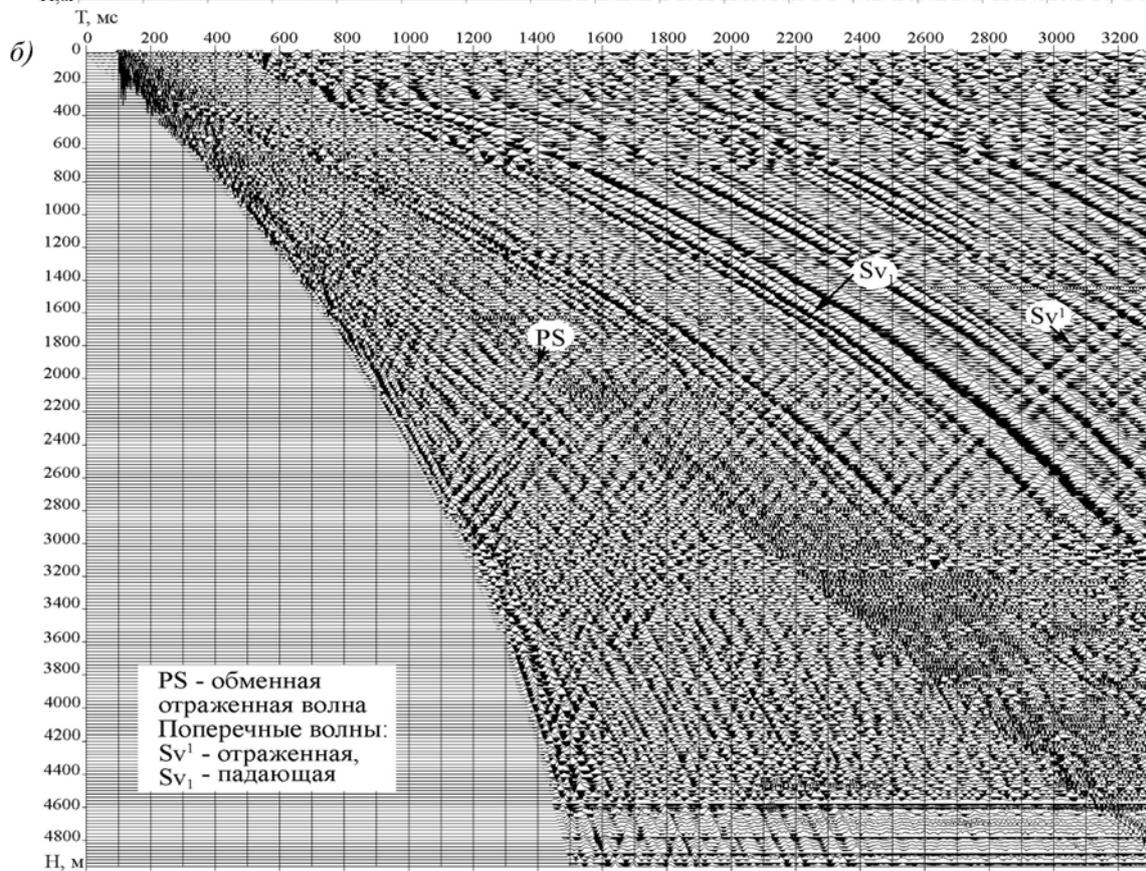
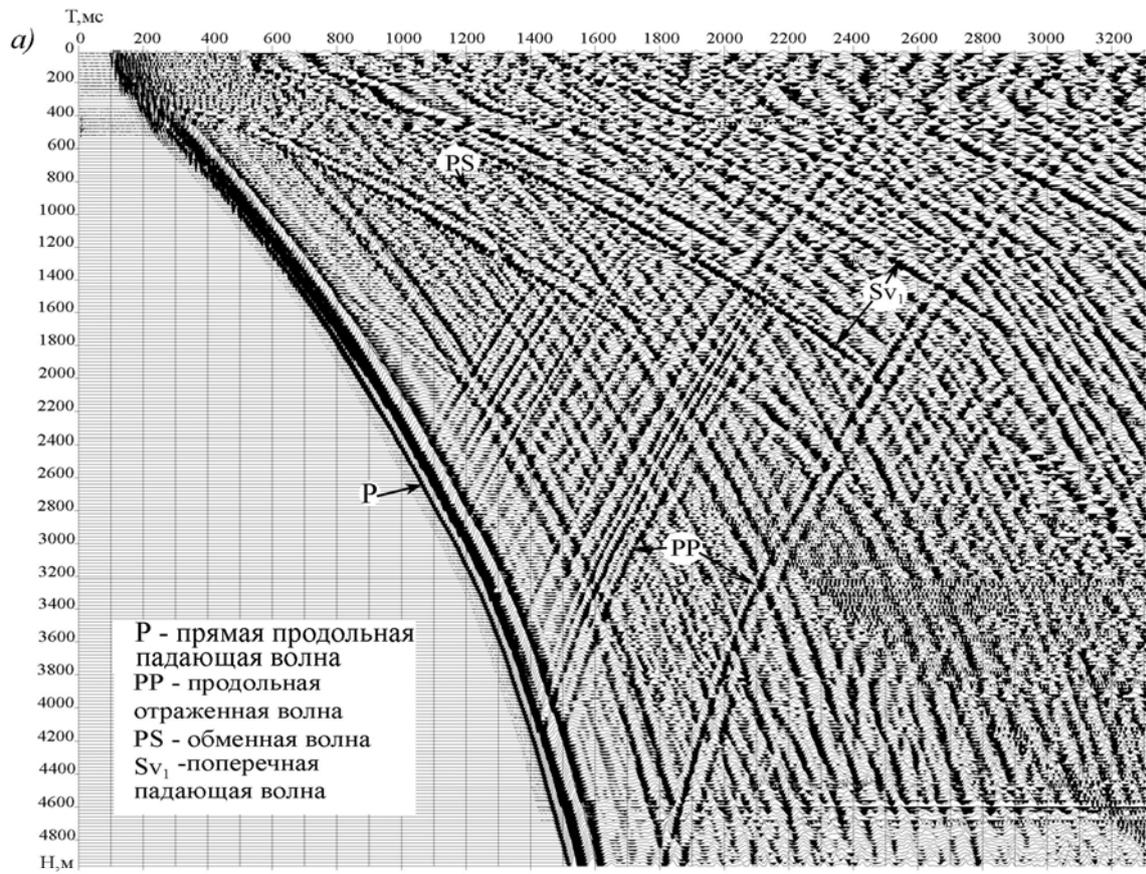


Рис. 4.1. Сейсмограммы ВСП, ПВ1 ($L=147,86$ м). Скв. Восток-3:
 а) Z-компонента; б) X-компонента

При наблюдениях на непродольных вертикальных профилях первыми регистрируются рефрагированные волны, направление подхода которых изменяется от пологих углов до субгоризонтального в связи, с чем увеличивается кажущаяся скорость и закономерно убывает интенсивность вертикальной (Z) составляющей. Годограф первых вступлений имеет форму кривой второго порядка (в первом приближении асимметричной субгиперболы) (рис. 4.2). Выделение вступлений прямой волны на сейсмограмме Z-компоненты в верхней части профиля за счет наложения более интенсивных последующих волн представляется возможным лишь в виде фрагментов.

На годографе первых вступлений выделяется точка минимума (рис. 4.2), соответствующая горизонтальному подходу волны. Для участка профиля, расположенного над точкой минимума, характерны отрицательная кажущаяся скорость и соответствующий ей подход волны снизу, а для участков, расположенных глубже – положительная скорость и подход волны сверху. Соответственно меняется и полярность записи первых вступлений.

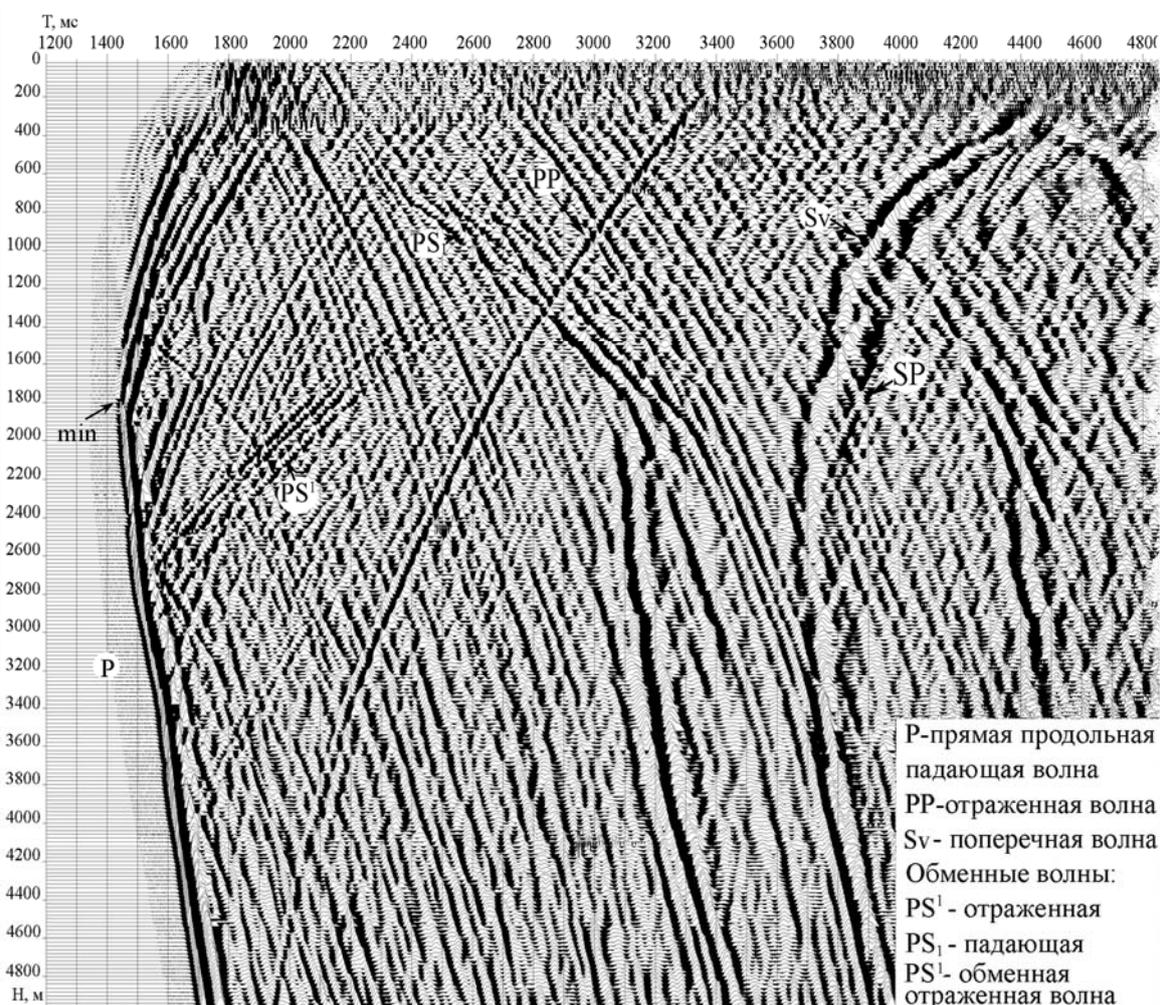


Рис. 4.2. Сейсмограммы ВСП, Z-компонента, ПВ3 (L=2833 м.) Скв. Восток-3

Отраженные волны. Отраженные продольные волны, являющиеся основным классом волн, наиболее полно, с устойчивой амплитудной выразительностью представлены при наблюдениях с ближнего ПВ. Как правило, на сейсмограммах продольного профиля они занимают доминирующее положение среди регулярных и нерегулярных помех (рис. 4.1). Годографы их относительно вертикальных линий, проведенных через начальные точки, представляют собой зеркальное отображение годографа первых вступлений прямой продольной волны.

При наблюдениях с удаленных ПВ (на непродольных профилях) поле отраженных волн в существенно сильной степени отягощено фоном помех, среди которых, помимо кратных волн, присутствуют составляющие побочных компонент. Относительная интенсивность отраженных волн на непродольном профиле значительно ниже. Соотношение интенсивностей однократно – и многократно отраженных волн при ВСП также значительно ниже, чем при наземных наблюдениях.

Выделение и прослеживание отраженных волн на непродольных профилях определяются условиями интерференции их с волнами других типов. Как правило, позиционная корреляция (корреляция от трассы к трассе) осложнена лишь в области интерференции отраженной и прямой продольной волн (рис. 4.2). Однако эта проблема полностью преодолевается при обработке (в частности, путем спрямления осей синфазности).

Наибольшие осложнения возникают при транспозиционной корреляции, т. е. при увязке наблюдений с разных ПВ. Как известно, в тонкослоистой среде форма отраженной волны зависит от формы импульса падающей волны, структуры отражающей пачки. В то же время, даже при неизменной форме импульса и структуре пачки форма отражения может меняться с удалением источника или, иначе говоря, с изменением угла падения импульса на отражающую границу. Изменения формы записи проявляются в амплитудной выразительности, спектральном составе, что приводит иногда к изменению числа экстремумов отражения. Эта особенность полностью передается при преобразовании сейсмограмм во временные разрезы.

Особенности поперечных и обменных волн, сопоставимых по представительности с продольными волнами, но не нашедших пока широкого практического применения, будут рассмотрены при анализе волновых полей, зарегистрированных при ВСП на скважинах Томской области.

Анализ накопленных к настоящему времени материалов ВСП в хорошо изученных западных районах области свидетельствует об относительной однородности волновых полей. Типичным примером волнового поля является волновое поле, зарегистрированное при ВСП в скважине 453 на Останинской площади.

4.1.1. Характеристика волнового поля, наблюдаемого при ВСП в скважине 453-Останинской

Зарегистрированное на сейсмограммах ВСП волновое поле характеризуется многотипностью волн и протяженными зонами их интерференции, причем наибольшая представительность волн наблюдается на записях с удаленных пунктов взрыва.

Типы полезных волн представлены:

1. Прямой падающей продольной P;
2. Прямой падающей поперечной SV;
3. Отраженными продольными PP;
4. Отраженными обменными PS.

Прямая падающая продольная волна P, формирующаяся в окрестности источника, при наблюдениях с ближнего к устью каротируемой скважины ПВ ($L=175.87$ м) на Z-компоненте регистрируется первой на всем протяжении вертикального профиля (рис. 4.3). Времена регистрации ее изменяются от 0.11 до 0.975 с (время пути на нулевой глубине, т. е. на дневной поверхности, взято без приведения к вертикали). Годограф волны, уверенно прослеживаемый во всем интервале профиля по четким срывам вниз, представляет собой гладкую, слабо выпуклую в сторону последующих вступлений кривую, с плавным убыванием градиента времени по мере увеличения глубины. Почти на всем протяжении волна регистрируется с положительной кажущейся скоростью, плавно увеличивающейся с глубиной от 2200 м/с на глубинах 300...700 м до 3200 м/с на глубинах свыше 2100 м. В верхней части на глубинах 0...100 м в связи с приходом к точкам приема в качестве первых – головных волн,

образовавшихся на мелко залегающих границах, годограф представляет собой субвертикальную линию и характеризуется кажущейся скоростью, близкой к бесконечности.

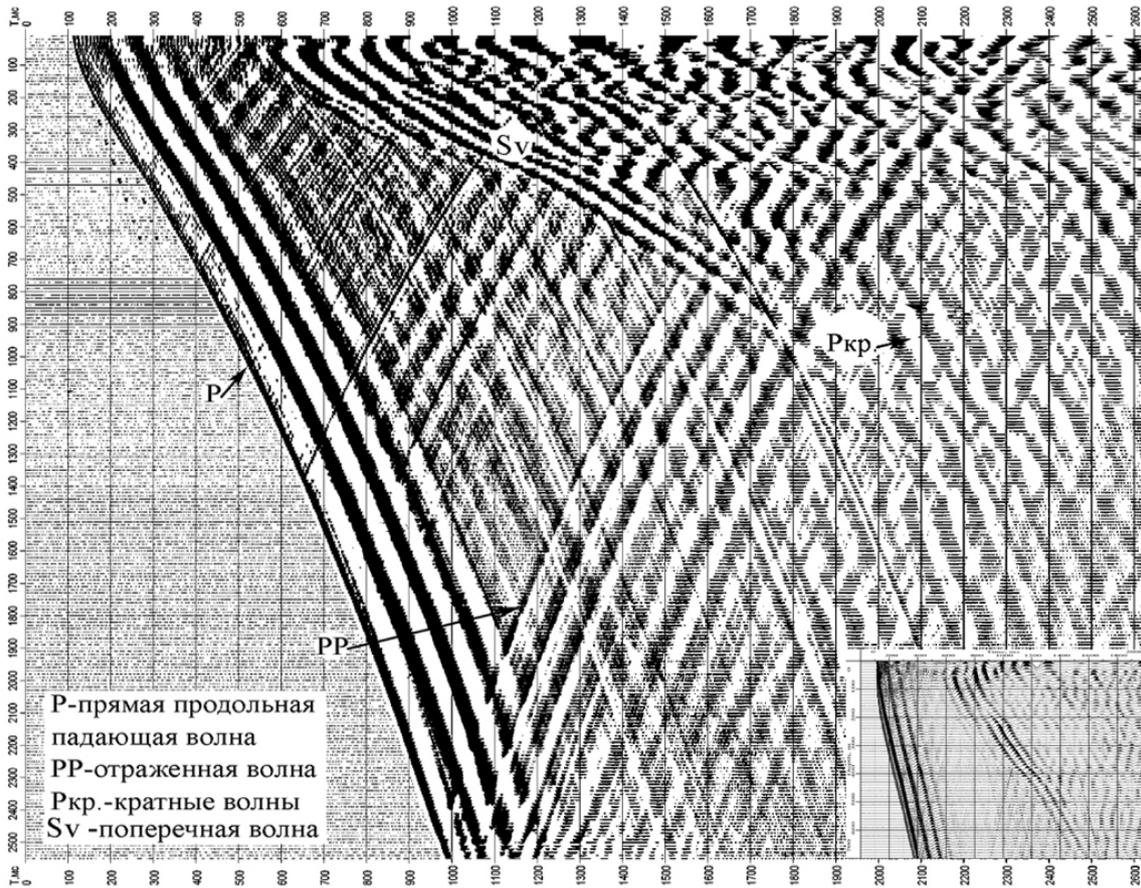


Рис. 4.3. Сейсмограмма Z-компоненты, ПВ1 ($L=175,87$ м). Скв. 453 Останинская

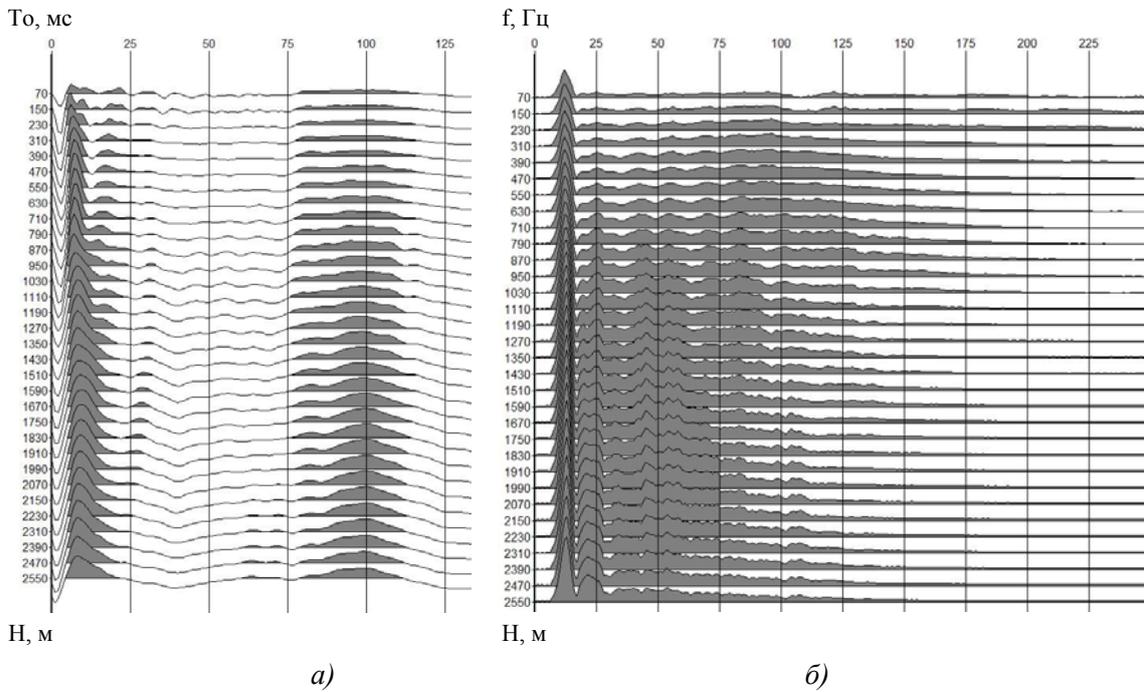


Рис. 4.4. Форма (а) и амплитудный спектр (б) прямой продольной волны. Останинская площадь. Скважина Р-453. ПВ 1

По форме записи прямая продольная волна имеет вид простого короткого импульса, состоящего, как правило, из одного (отрицательного) экстремума (рис. 4.4, а). Форма прямой волны для разных глубин не имеет видимых изменений, что указывает на постоянство условий возбуждения. Амплитудный спектр прямой продольной волны приведен на рис. 4.4, б, из рассмотрения которого следует, что полоса частот, в которой распределена энергия сигнала прямой волны, заключена в интервале 10...100 Гц. При этом по мере увеличения глубины преобладающая частота в спектре волны смещается в область более низких частот.

Прямая поперечная волна SV регистрируется в последующей части записи при наблюдениях с ближнего пункта взрыва. В верхней части вертикального профиля, в интервале глубин 0 – 800÷900 м, она выделяется и прослеживается на Z-компоненте. После поляризационной обработки волна SV уверенно с устойчивой формой записи в виде двух-трехфазного высоко амплитудного колебания прослеживается во всем интервале профиля (рис. 4.5).

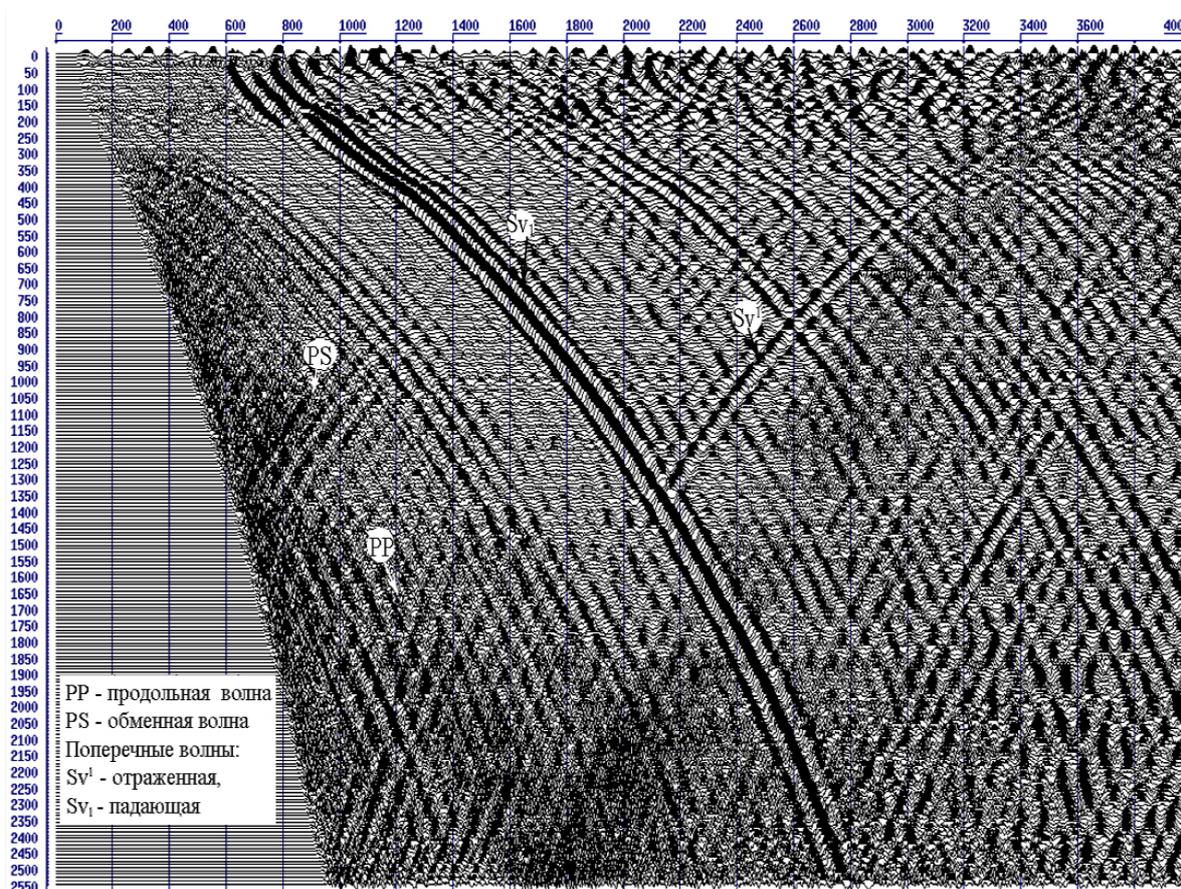


Рис. 4.5. Сейсмограмма R-компоненты (ПВ1, L=176 м). Скв. 453 Останинская

От дневной поверхности до глубины ~ 100 м она так же, как и прямая продольная волна, представлена головными волнами, и годограф ее в этой части профиля имеет отрицательную кажущуюся скорость. На глубинах 100 – 200÷250 м можно видеть слабо выраженные первые вступления волны в виде срывов вниз. Наиболее близко расположенная к первым вступлениям ось синфазности, принятая для построения вертикального годографа волны SV, отделена от первых вступлений временным промежутком в 0.15 с. Вводом этой поправки фазовый годограф поперечной волны приводится к первым вступлениям, что дает возможность определить абсолютные значения средних, пластовых и интервальных скоростей.

Фазовый годограф волны SV также как и прямой продольной P, представляет гладкую кривую с убыванием градиента времени от 0.18 с на 100 м в верхней его части до 0.050 с в нижней части; кажущаяся скорость волны плавно увеличивается от 450...550 м/с на глубинах 300...700 м/с до 1000 м/с в нижней части профиля.

В амплитудном спектре волны основная энергия сосредоточена в полосе частот 10...25 Гц (рис. 4.6).

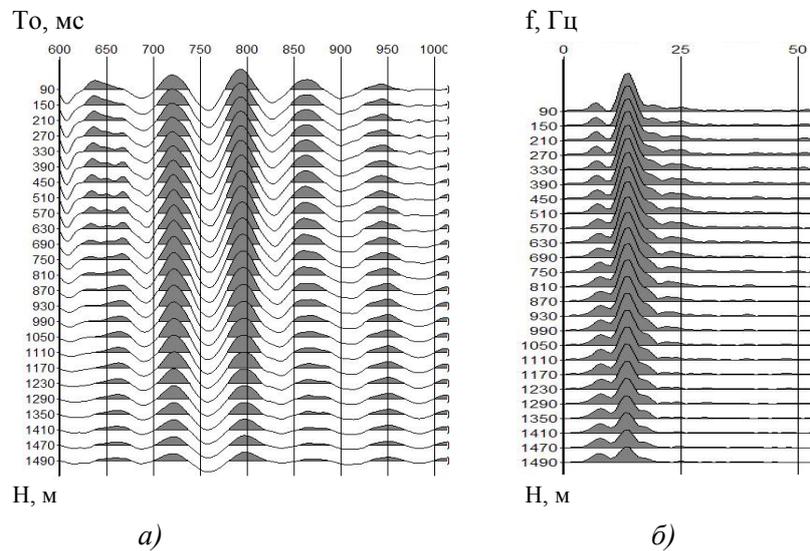


Рис. 4.6. Форма (а) и амплитудный спектр (б) прямой поперечной волны Sv

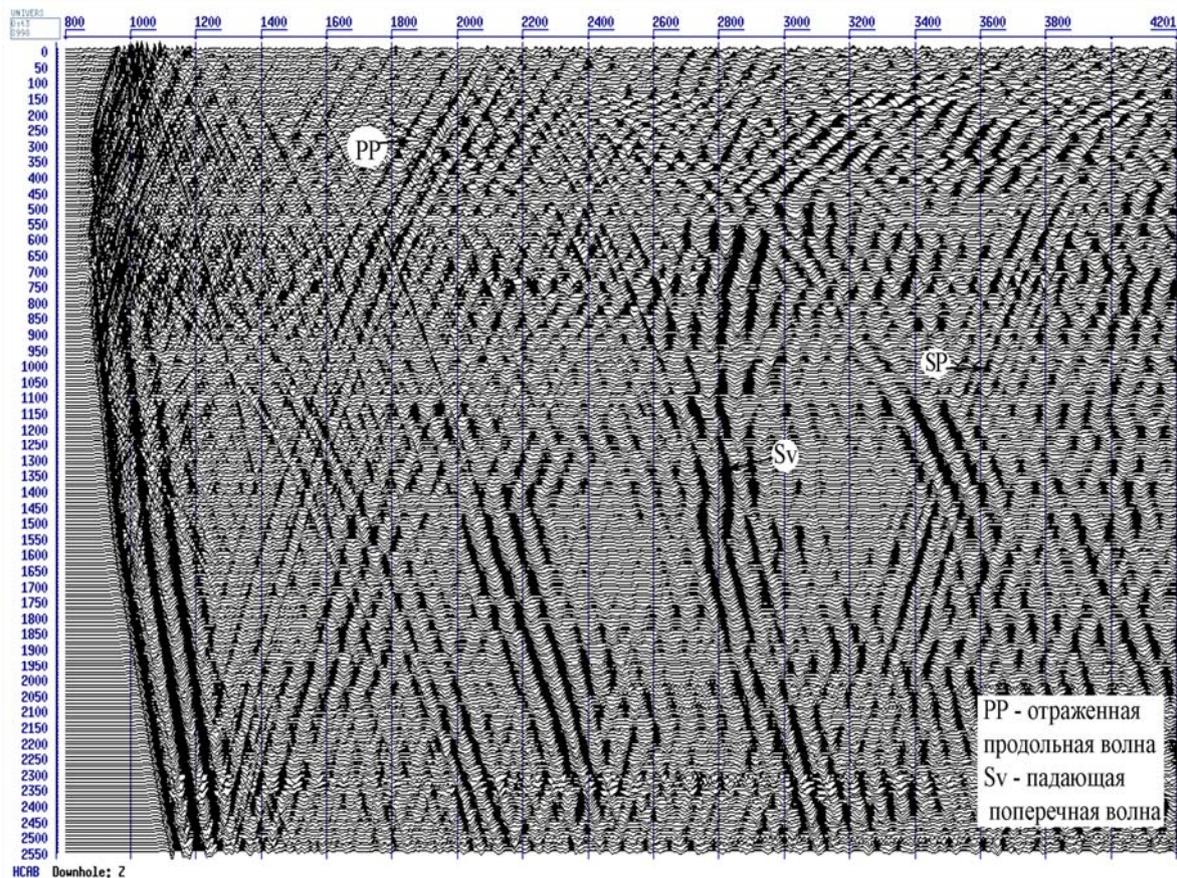


Рис.4.7. Сейсмограмма Z-компоненты, иллюстрирующая регистрацию обменной волны типа SP (ПВЗ). Скв. 453 Останинская

Прямая поперечная волна в виде интенсивного двух-трехфазного колебания систематически прослеживается при наблюдениях с удаленных ПВ на всех трех компонентах. Годограф ее имеет асимметричную субпараболическую форму. На горизонтальных компонентах (X, Y) иногда можно видеть генерируемые ей слабой интенсивности отраженные SV-волны от границ в юрских и меловых отложениях. В некоторых случаях можно наблюдать также возбуждаемые прямой поперечной волной обменные волны типа SP (рис. 4.7).

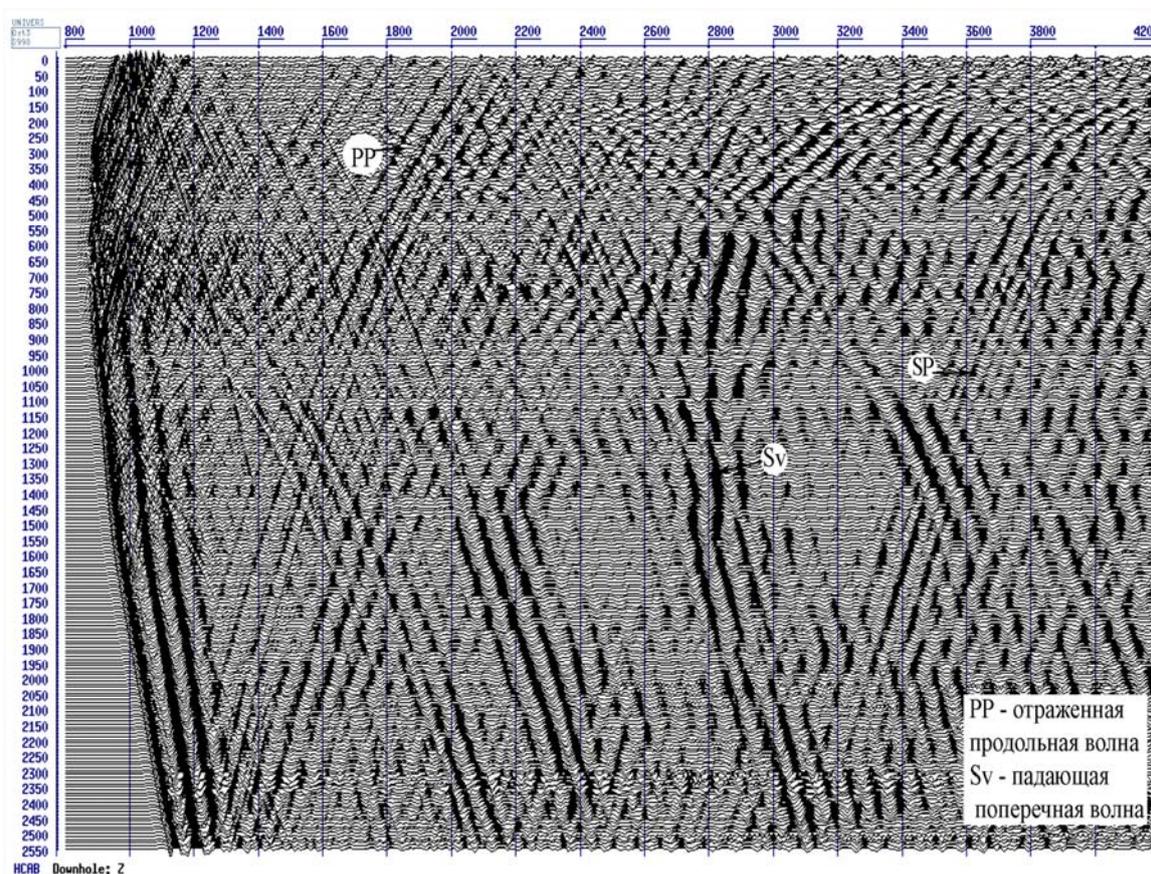


Рис.4.7. Сейсмограмма Z-компоненты, иллюстрирующая регистрацию обменной волны типа SP (ПВЗ). Скв. 453 Останинская

Продольные однократно-отраженные волны. Поле этого типа волн, как правило, наиболее полно с отчетливым и уверенным выделением и прослеживанием осей синфазности на разных стратиграфических уровнях представлено на сейсмограмме Z-компоненты с ближнего ПВ (рис. 4.3).

В типичной для района структуре волнового поля обособляются три группы продольных отраженных волн, приуроченных к отражающим границам юрского, нижнемелового и верхний мел–палеогенового сейсмических комплексов.

Юрский осадочный комплекс, объединяющий толщу отложений от кровли верхней юры до подошвы чехла-поверхности фундамента характеризуется в районе повышенной мощностью, составляющей около 400 м. В соответствии с этой особенностью геологического разреза временной интервал, занимаемый юрской группой отражений имеет также повышенную временную мощность – около 0.2 с. В юрском интервале без специальных приемов обработки, направленных на повышение разрешенности записи, выделяется до семи осей синфазности одной полярности, характеризующихся примерно одинаковой амплитудной выразительностью (рис. 4.3). Вертикальные годографы отражений, наблюдаемых с ближнего ПВ, по своей форме зеркально повторяют форму вертикального годографа прямой волны P.

На рис. 4.8 показаны форма и амплитудный спектр основного отражения этой группы – горизонта Π^a . Как видно, из этого рисунка основная энергия в спектре отражения от этого горизонта лежит в диапазоне 10...50 Гц.

На сейсмограммах с удаленных ПВ юрская группа отраженных волн характеризуется невысокой амплитудной выразительностью и регистрируется на фоне интенсивных падающих и нередко отраженных обменных волн (рис. 4.7).

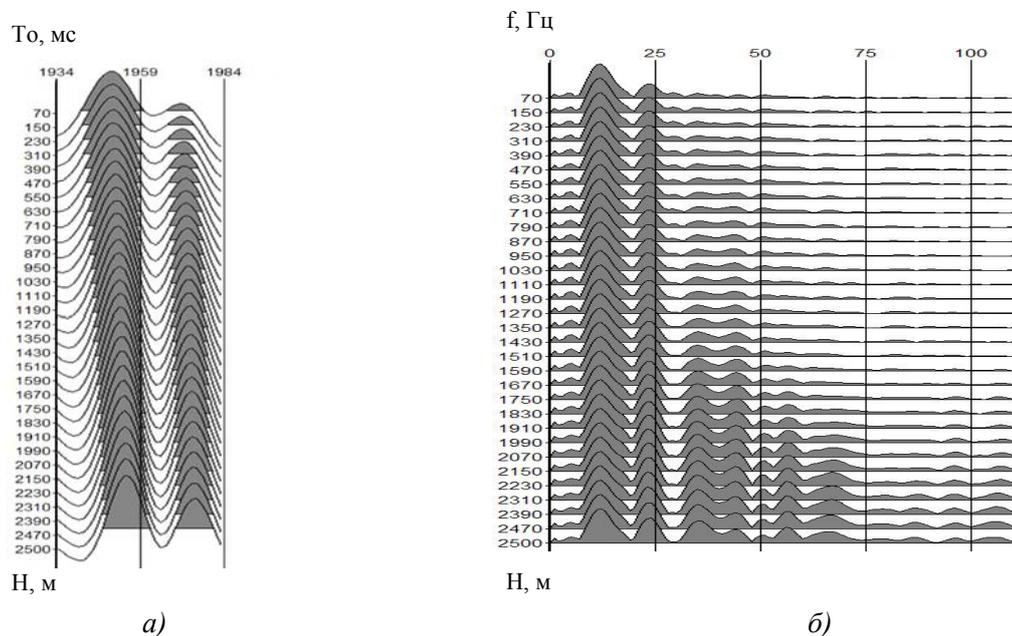


Рис. 4.8. Форма (а) и амплитудный спектр (б) волны Π^a , отраженной от кровли баженовской свиты. Останинская площадь. Скважина Р-453. ПВ 1

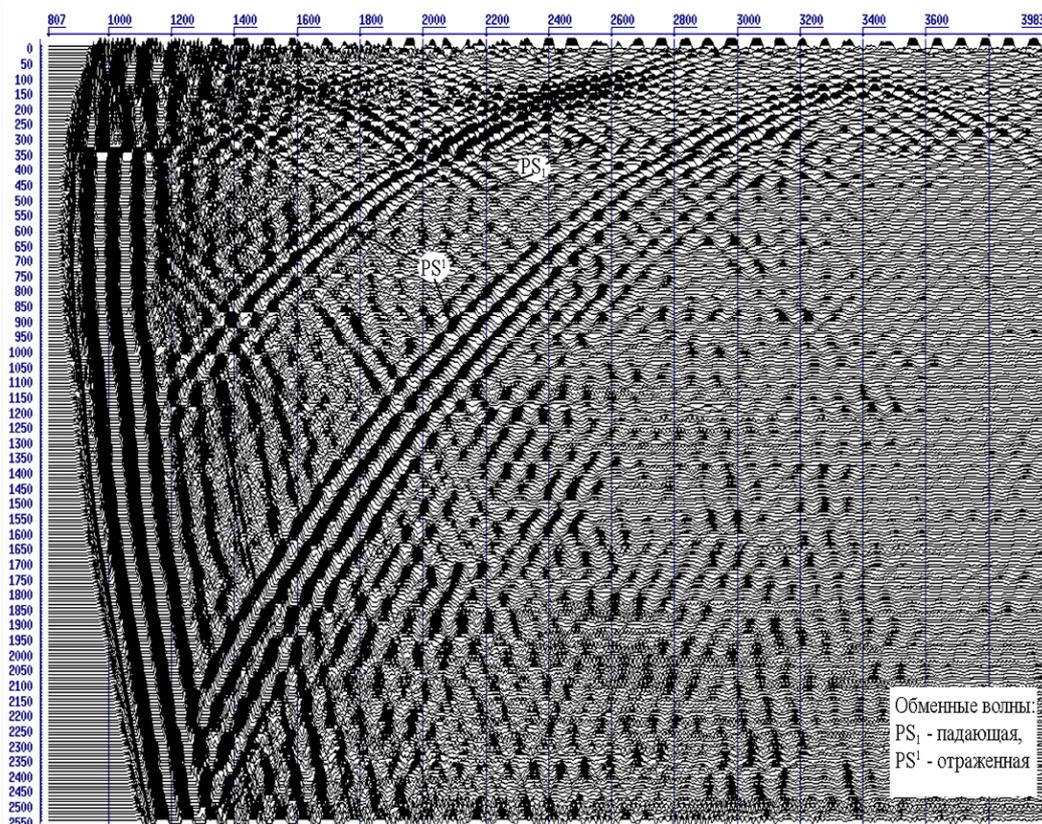


Рис. 4.9. Сейсмограмма P-компоненты (PВЗ, L=1555 м). Скв. 453 Останинская

Обменные отраженные волны в волновом поле с удаленных ПВ играют доминирующую роль не только на горизонтальных X-, Y-компонентах, но и на вертикальной Z-компоненте.

В структурном отношении поле обменных отраженных волн представлено также тремя группами, приуроченными к границам тех же сейсмических комплексов, что и продольные отраженные волны.

На сейсмограммах горизонтальных компонент выделяемые группы PS-волн представлены поперечными составляющими SV. Кажущиеся скорости вертикальных годографов поперечных составляющих по величине совпадают или близки к соответствующим скоростям вертикального годографа прямой поперечной волны, но имеют противоположный знак.

В неразрешенном виде в группе юрских отражений выделяется до семи осей синфазности положительной полярности, имеющих хорошую амплитудную выразительность; среди них, как правило, повышенной выразительностью обладают третья и четвертая, особенно в первой половине пути (рис. 4.9).

Ось синфазности, связанная с основным сейсмическим репером – подошвой баженовской свиты по амплитуде несколько уступает последующим осям, но вместе с тем на всем протяжении профиля прослеживается с достаточной уверенностью.

4.2. Стратиграфическая привязка отраженных волн

Стратиграфическая привязка отражений является одной из основных задач ВСП. Под этим определением понимается установление соответствия между конкретными геологическими и сейсмическими границами, отражения от которых регистрируются в волновом сейсмическом поле и коррелируются на временных сейсмических разрезах как отражающие горизонты. При этом имеется в виду, что в формировании прослеживаемых на разрезах отражений в тонкослоистой среде принимает участие пачка близко расположенных слоев с суммарной мощностью, сопоставимой с длиной волны, при доминирующей роли одного из них.

Вариации распределений параметров слоев внутри пачки обуславливают и вариации динамических характеристик отражающего горизонта. В кинематическом отношении отражающий горизонт, обладая некоторым «люфтом» относительно доминирующего слоя пачки, в первом приближении отображает геометрию его кровли или подошвы и не всегда точно «ложится» на геологическую границу, а увязывается с ней с некоторой долей условности. О привязке кровли или подошвы тонких пластов, обладающих повышенной акустической контрастностью среди вмещающих отложений, говорить вообще не корректно; речь в этих случаях может идти о привязке отраженной волны к интервалу такого-то пласта.

В рамках толстослоистой модели среды наиболее просто и надежно стратифицируются доминирующие отраженные волны, приуроченные к подошвам-кровлям свит или мощным литологическим пачкам.

Кроме материалов ВСП для идентификации отражений с геологическими границами используются и другие способы. К наиболее распространенным относятся сопоставление разрезов с данными ГИС и геосейсмическое моделирование. В качестве данных ГИС используются диаграммы ПС, КС, АК, которые переводятся во временной масштаб и совмещаются с временными разрезами (рис. 4.10, а). Способ геосейсмического моделирования заключается в построении синтетического разреза (или синтетической трассы) по заданной акустической модели, а стратиграфическая приуроченность отражающих горизонтов определяется путем прямого сопоставления осей синфазности на синтетическом и реальном разрезах (рис. 4.10, б). Однако в большинстве случаев использование обоих способов не дает полной уверенности в безошибочном отождествлении отражающих горизонтов с геологическими границами, особенно тех, которые не обладают свойствами региональных или, хотя бы, зональных реперов.

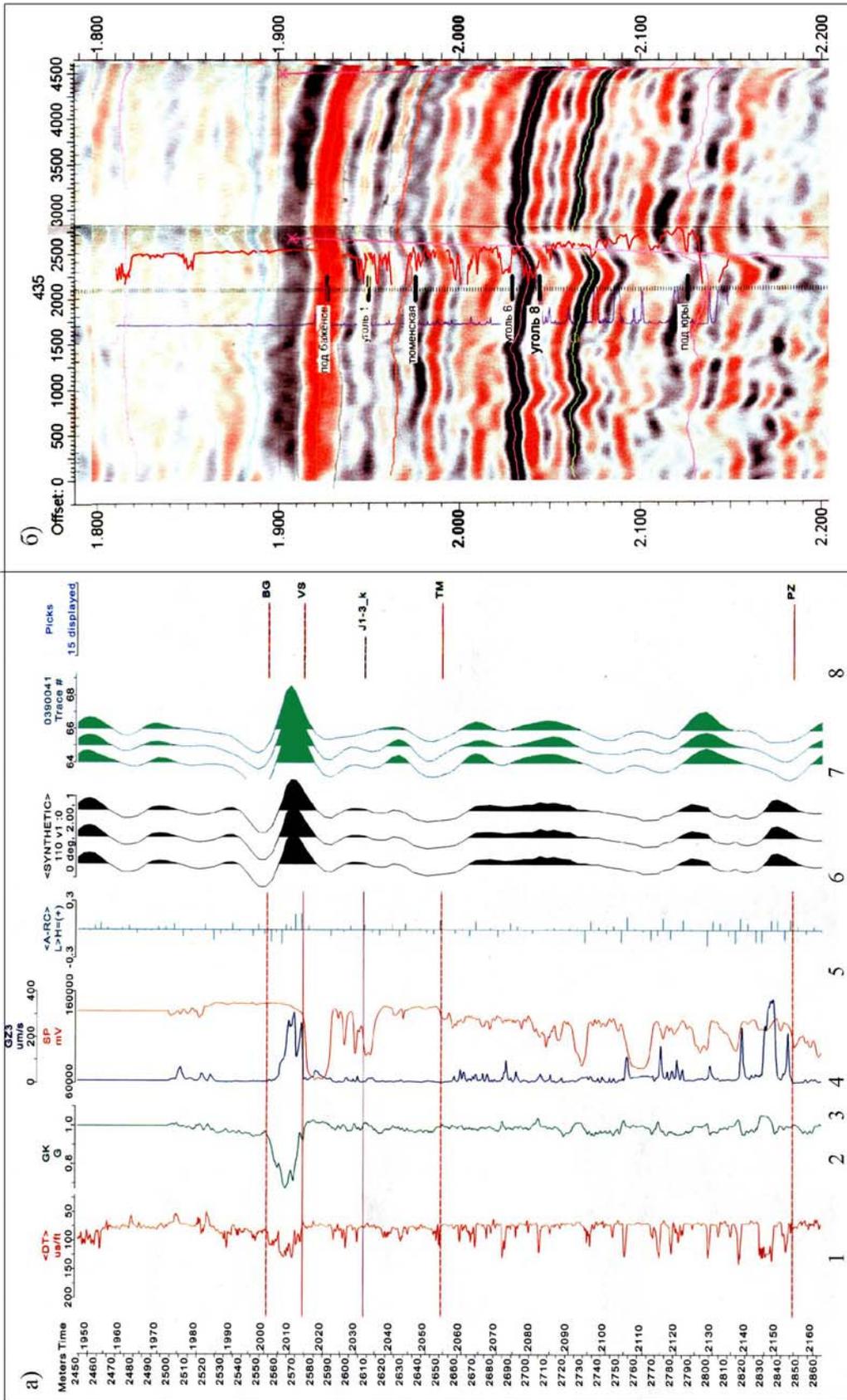


Рис. 4.10. Идентификация отражений в геологическими границами:
 а) с помощью геосейсмического моделирования; б) с помощью сопоставления временных разрезов с диаграммами ГИС.
 Кривые: АК (1); ГК (2); КС (3); ПС (4); акустическая жесткость (5); синтетическая сейсмограмма (6);
 фрагмент временного разреза (7); стратиграфические маркеры (8)

Однозначность установления стратиграфической приуроченности отражающих горизонтов по данным ВСП обеспечивается за счет возможности точного определения глубинного положения начальной точки отражений по пересечению осей синфазности отраженной и первых вступлений прямой продольной волны. Методу ВСП, являющемуся связующим звеном между ГИС и наземной сейсморазведкой, в этом отношении нет альтернативы.

Наиболее полно и корректно увязка данных ВСП, ГИС и наземной сейсморазведки осуществляется при сведении их на единой монтажной схеме (рис. 4.11). В качестве данных ГИС на схеме обычно приводятся диаграммы ПС, КС, АК, являющиеся основой посевитных и поплатовых разбивок, которые представляются в виде колонки со шкалой глубин. Данные ВСП выносятся на схему в форме сейсмограммы с выведенными на вертикаль осями синфазности отражений. Для увязки ВСП и наземной сейсморазведки на монтажную схему наносится фрагмент временного разреза ОГТ по профилю, проходящему через скважину или близ расположенному к ней. Приуроченность выведенных на вертикаль отражений показывается на схеме горизонтальными линиями, соединяющими их начальную точку и соответствующие границы в колонке стратиграфических подразделений.

Ниже приводятся примеры стратиграфической привязки отражений, проведенной на некоторых площадях Томской области. В рамках толстослоистой модели отложений мезокайнозойского чехла на территории области опорой идентификации доминирующих отражений с геологическими границами на разных площадях служит обобщенная схема стратиграфической привязки, сформированная на основе анализа большого объема материалов ВСП, полученных, главным образом, в западных районах на левобережье р. Оби (рис. 4.12).

Стратиграфическая привязка отраженных волн на Чкаловской площади. Анализ данных ВСП, ГИС, бурения и наземной сейсморазведки, представленных на монтажной схеме (рис. 4.11) позволяет сделать следующие заключения.

Группа отражающих горизонтов V связывается с границами, расположенными в прикровельной и приподошвенной частях талицкой свиты и обусловленными сменой литологического состава. Так, например, граница в прикровельной части талицкой свиты, приурочена к смене слагающих ее пластичных глин с редкими прослоями песков на темно-серые глинистые, местами опоковидные, алевритистые отложения ганькинской свиты. Прослеживаемая на временных разрезах МОГТ волна t_V на сейсмограмме ВСП представлена двухфазным колебанием с одинаковой амплитудной выразительностью фаз. Время регистрации ее около 0.6 с.

Группа отражающих горизонтов IV формируется на границах, приуроченных к кровле ипатовской – подошве славгородской и подошве маломощной кузнецовской – кровле очень мощной покурской свит. Акустические границы этого интервала также связаны с чередованием литологических разностей. Так, например, одна из отражающих границ интервала приурочена к смене субконтинентальных песчано-алевролитовых отложений покурской свиты морскими глинами кузнецовской свиты. Отраженная от этой границы волна t_V^6 на сейсмограмме ВСП представлена однофазным колебанием средней интенсивности с временем регистрации 0.96 с.

Волновой пакет группы отражений III представлен по полученным данным четырьмя хорошо амплитудно выраженными осями синфазности; судя по характеру записи, первые три оси как единое колебание формируют волну t_{III} , четвертая ось, отделенная от первых трех отрицательной интерференционной фазой, – волну t_{III}^1 . Обе волны идентифицируются с границами пропластков морских глин, залегающих в низах покурской свиты. Времена регистрации волн 1.42 с (вторая фаза) и 1.47 с соответственно.

Отраженная волна t_{II}^a – регионально устойчиво прослеживаемая на территории Западной Сибири, однозначно стратифицируется с подошвой баженовской свиты верхней юры. Формирование ее происходит на границе смены битуминозных аргиллитов баже-

новской свиты опесчаненными отложениями верхневасюганской подсвиты. По данным моделирования эта граница вносит основной вклад в энергетику отражения, представленного на сейсмограмме ВСП двухфазным колебанием с незначительным доминированием по амплитуде второй фазы. По сопоставлению с данными бурения подошве свиты соответствует разделяющая их высокочастотная фаза противоположного знака.

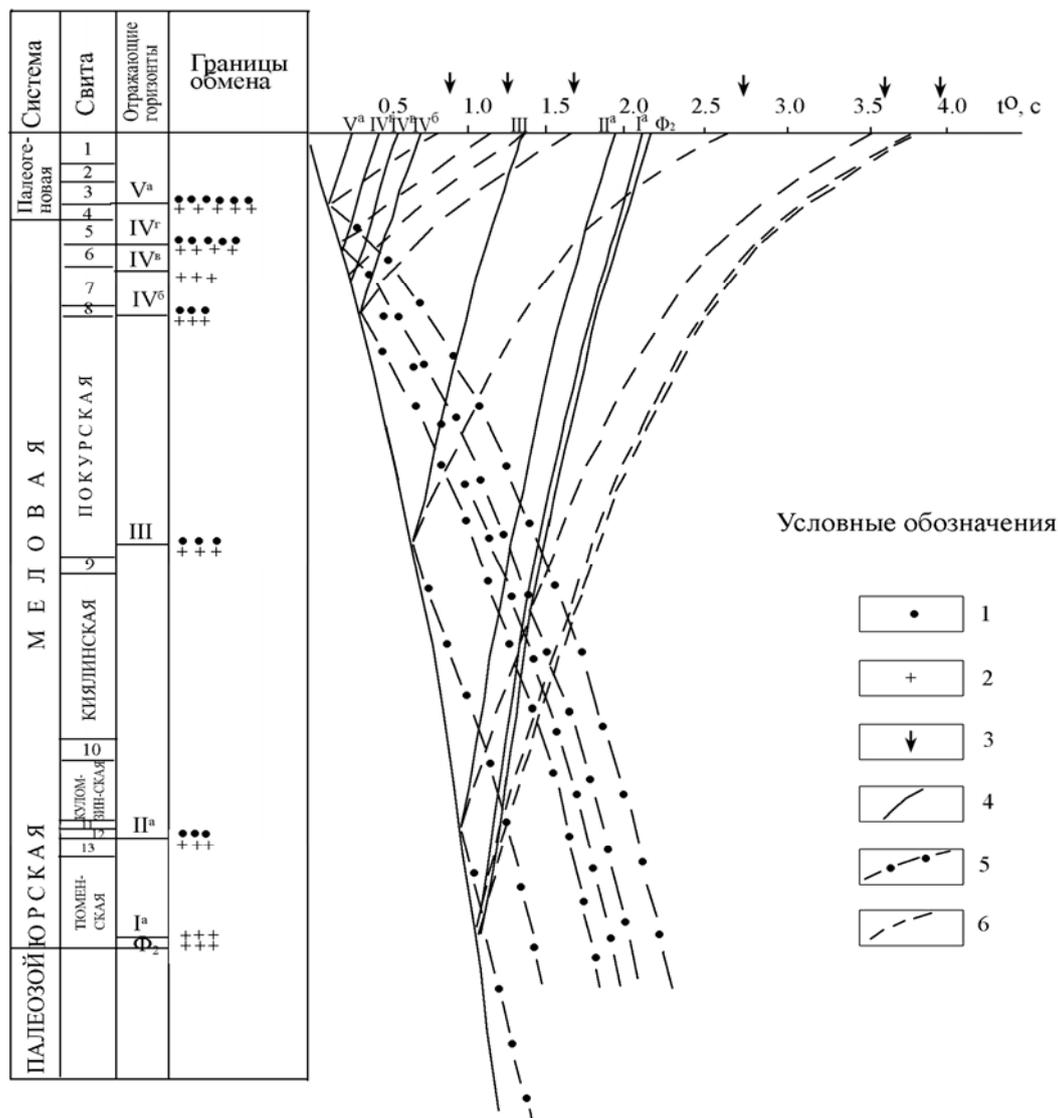


Рис. 4.12. Обобщенная схема стратиграфической привязки доминирующих отраженных продольных и обменных волн к границам в отложениях мезо-кайнозойского чехла (западные районы Томской области)

Свиты: 1 - некрасовская, 2 - чеганская, 3 - люлинворская, 4 - талицкая, 5 - ганькинская, 6 - славгородская, 7 - ипатовская, 8 - кузнецовская, 9 - алымская, 10 - тарская, 11 - марьяновская, 12 - баженовская, 13 - васюганская.

Условные обозначения. Границы обмена: 1 - для падающих волн PS, 2 - для отраженных волн PS, 3 - обменные отраженные волны, прослеживаемые на горизонтальных расстановках, 4 - годографы продольных волн, 5 - годографы падающих вниз обменных волн, 6 - годографы отраженных обменных волн.

Среди ниже расположенных отражающих границ наиболее устойчивой является граница, связанная с угольным пластом У₁₀. В интервале этого пласта формируется отраженная волна t₁^a, которая на сейсмограмме ВСП зафиксирована в виде однофазного высокоамплитудного колебания с временем регистрации 2.17 с.

Отраженной волне t_{Φ_2} , традиционно стратифицируемой с поверхностью доюрского основания, на сейсмограмме ВСП по привязке к скважине соответствует временной интервал продолжительностью $\Delta t \approx 0.050$ с, не имеющий амплитудной выразительности и ограниченный с обеих сторон высокоамплитудными осями синфазности положительной полярности с временами регистрации 2.210 с и 2.270 с. Безамплитудный характер записи в интервале поверхности фундамента относится к случаю аномального явления. Как правило, этой поверхности соответствует отражение, амплитудная выразительность которого варьирует от низкой до высокой. Отсутствие акустически контрастной границы на поверхности фундамента здесь связано с высокой степенью нарушенности пород, о чем свидетельствует керновый материал.

Стратиграфическая привязка отражений в отложениях доюрского основания по данным ВСП в параметрической скважине Восток-3, пробуренной на Вездеходной площади (восток Томской области).

Параметрической скважиной Восток-3 породы доюрского основания вскрыты на глубину 1609 м. Большая часть интервалов палеозойских и допалеозойских отложений пройдена с отбором керна. Сейсмический материал в интервале вскрытых доюрских образований, а также в подзабойной части вертикального профиля (с ближнего ПВ) обеспечивает практически однозначное установление связи сейсмических отражений и литолого-стратиграфических границ, выделяемых в доюрском основании.

Сопоставление зарегистрированного на вертикальном профиле поля отраженных продольных волн с данными обработки кернового материала и ГИС позволяет сделать следующее заключение о связи отражающих горизонтов с литолого-стратиграфическими границами.

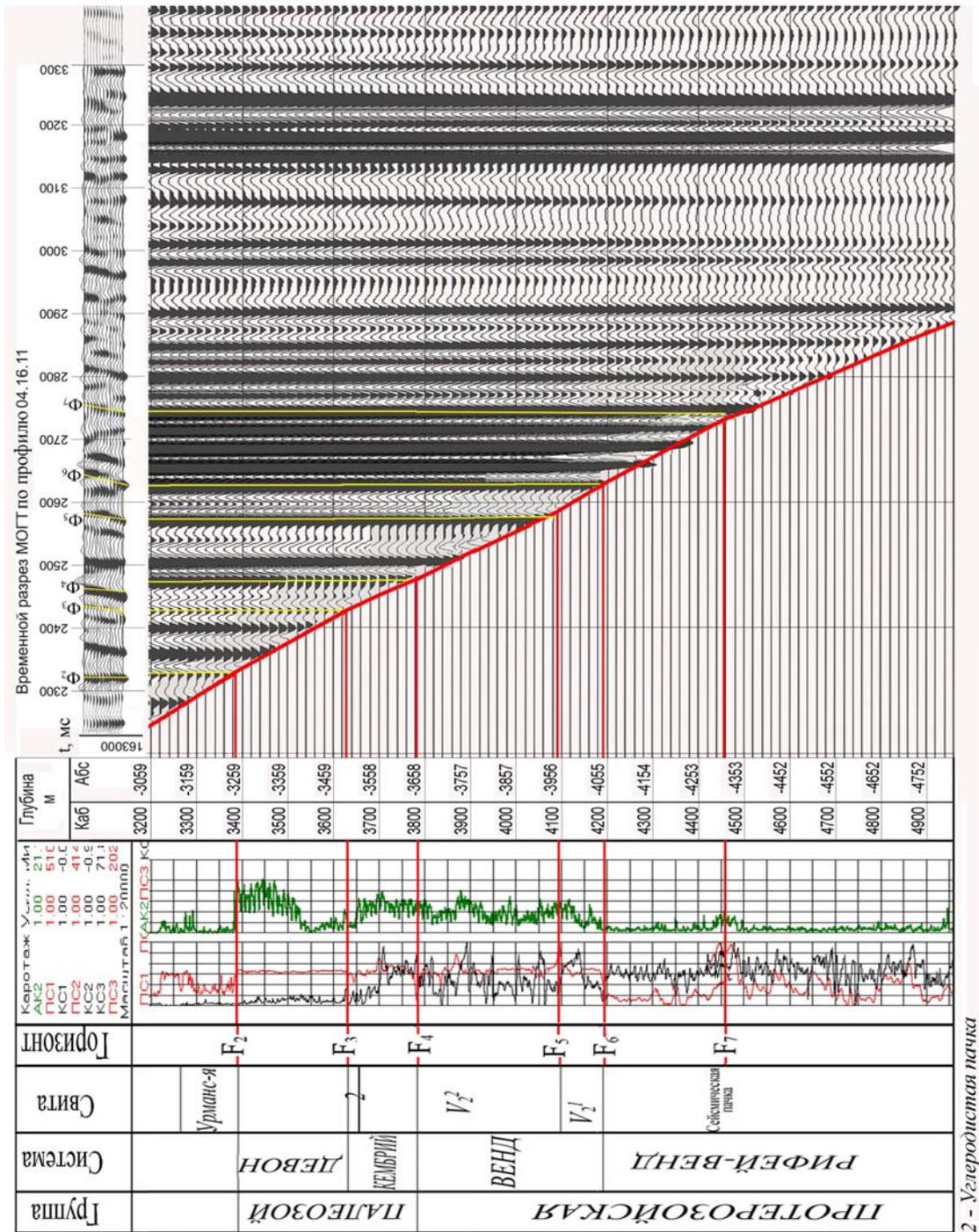
Эрозионно-тектоническая поверхность доюрского фундамента, отождествляемая на временных сейсмических разрезах с отражающим горизонтом Φ_2 , вскрыта на глубине 3393 м (а.о. –3252 м). Границе на этой глубине соответствует отражение невысокой интенсивности с временем регистрации 2.514 с (на дневной поверхности) и 2.34 с на линии а.о. (рис. 4.13). На временном разрезе МОГТ по профилю, проходящему через скважину, за горизонт Φ_2 ранее ошибочно принято выше расположенное и более отчетливо выраженное по амплитуде отражение, вследствие чего гипсометрическое положение его на структурной карте оказалось выше реального на 90 м.

В интервале 3393...3635 м разрез основания представлен известковым песчаником, по возрасту датируемый как верхний девон D_3 .

Слой известковых песчаников верхнего девона подстилается углеродистой пачкой нижнекембрийского возраста (C_1). Толщина пачки 25 м (3635...3660 м). Этой пачке соответствует отражение, фиксирующееся на времени $t_0 = 2.612$ с (на линии а.о. 2.439 с). Это отражение, связанное с углеродистой пачкой, знаменующей собой резкую смену стратиграфического состава, мы индексируем как горизонт Φ_3 (C). На временном разрезе ОГТ можно видеть лишь невыразительный фрагмент этого горизонта (рис. 4.13).

Ниже углеродистой пачки до глубины 3785 м залегают обломочные известняки по возрасту относящиеся также к нижнекембрийским. В подошве их формируется высокоамплитудное отражение со временем регистрации 2.668 с (2.495 с) – горизонт Φ_4 . На временном разрезе ОГТ этой границе соответствует отражение с противоположной полярностью.

В интервале глубин 3786...4190 м разрез представлен переслаиванием известняков, аргиллитов (сверху), а затем чередованием разновидностей карбонатных пород. Этот комплекс толщиной около 400 м расчленен на верхне – (V_2^2 – немакит далдынский горизонт по аналогии с разрезом Сибирской платформы) и нижневендский V_2^1 (эдиакарий) ярусы. Граница, расчленяющая ярусы на глубине 4095 м в сейсмическом поле отображается интерференционным отражением с временем регистрации 2.774с (на л. а.о. 2.575 с). На временном разрезе ОГТ – это отражающий горизонт Φ_5 .



2 - Углеродистая пачка

Рис. 4.13. Сводная монтажная схема данных ВСП, ГИС и фрагмента временного разреза МОГТ в интервале даюрских отложений. Скважина Восток-3

Подошва вендских и кровля нерасчлененных рифей-вендских отложений отбивается горизонтом Φ_6 , фиксируемым на времени $t_0=2.804$ (на л.а.о. 2.631 с). Нерасчлененная толща рифей-вендских отложений в волновом поле отражается пакетом отражений из трех осей синфазности. «Замыкающую» снизу пакет ось синфазности с начальной точкой на глубине 4460 м и $t_0= 2.888$ с (на л.а.о. 2.715 с) мы связываем с подошвой этой толщи и индексируем ее как отражающий горизонт Φ_7 .

Ниже протяженный интервал сейсмической записи характеризуется практически полным отсутствием регулярных осей синфазности, обусловленным, по-видимому, монолитным составом толщи, которая подстилается акустически контрастной границей, генерируемой высокоамплитудное отражение, индексируемое как отражающий горизонт Φ_8 ; время регистрации его $t_0 = 3.326$ с. Ориентировочная глубина залегания, определенная путем экстраполяции годографов прямой и отраженных продольных волн около 6...6,5 км.

Эту границу предположительно мы связываем с кровлей консолидированного в архей-протерозойское время фундамента.

4.3. Определение скоростей распространения упругих волн в покрывающей толще

Сейсмические наблюдения в скважинах всегда были и остаются основным источником получения наиболее точных сведений о средних и пластовых скоростях. Высокая точность определения скоростных параметров по скважинным наблюдениям обеспечивается благодаря точному измерению пути и времени пробега упругой волны от источника до приемника.

Зависимость времени прихода волны от глубины $t = f(H)$ представляет собой вертикальный годограф. При расположении источника на устье скважины вертикальный годограф называют продольным, а при отнесении его от устья на расстояние, соизмеримое с глубиной каротируемой скважины – непродольным.

Для определения средних, пластовых и интервальных скоростей в покрывающей толще используют продольные годографы. Как правило, при проведении наблюдений в скважинах ближний пункт взрыва во избежание возбуждения трубной и кабельной волн и наложения их на запись первых вступлений прямой продольной волны располагают в 100...150 м от устья скважины (рис. 4.14). Поэтому при обработке исходных данных вычисляют так называемое приведенное время – время пробега волны вдоль вертикального луча, а вертикальный годограф называют приведенным вертикальным годографом. Приведенное время определяют путем умножения наблюденного времени $t_{набл}$ на косинус угла между падающим в точку приема лучом и стволом скважины (рис. 4.14):

$$t_{прив} = t_{набл} \cos \alpha = t_{набл} \frac{H}{\sqrt{(H - h_{взр})^2 + L^2}},$$

где $h_{взр}$ – глубина взрывной скважины; L – удаление источника (ПВ) от устья каротируемой скважины.

При удалениях ближнего ПВ, не превышающих 100...150 м, поправки за приведение $t_{набл}$ к вертикали приближаются к 0 уже на глубинах около 1 км. График $t_{прив} = f(H)$ обязательно представляется в виде таблицы, используемой для трансформации времен в глубины при наземных сейсморазведочных работах.

Приведенный вертикальный годограф является основой определения средних и пластовых скоростей. Средняя скорость для всех точек вертикального годографа вычисляется из простого отношения:

$$V_{ср} = H / t_{прив}$$

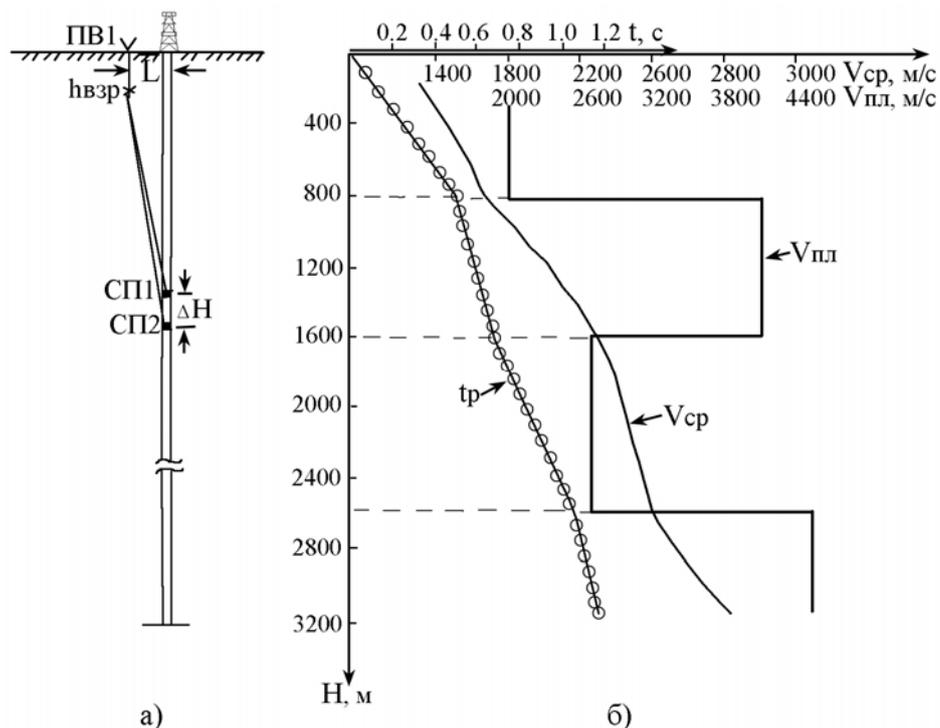


Рис. 4.14. Схема наблюдений на продольном профиле (а) и полученные по ним представления о скоростной модели среды (б)

Расположение ближнего ПВ на небольших удалениях от исследуемой скважины обуславливает регистрацию в первых вступлениях в интервале глубин 0 – 200÷300 м преломленных и рефрагированных волн и, как было показано в разделе 4.1, кажущаяся скорость годографа на этом интервале близка к бесконечности (или имеет даже отрицательные значения). В некоторых случаях запись первых вступлений бывает сильно искажена в интервале всей кондукторной части скважины (300÷500 м) за счет некачественного цементажа. Для определения скоростей в этих случаях можно использовать годографы отраженных волн, являющихся зеркальным отражением годографа прямой продольной волны.

По найденным значениям средней скорости V_{cp} строят график $V_{cp} = f(H)$ или $V_{cp} = f(2t_0)$ ($2t_0$ – двойное время пробега волны от источника до точки приема). Вертикальный годограф $t_{прив} = f(H)$ можно представить в виде ломаной линии, разбив его на несколько прямолинейных участков. При этом, как правило, точки изломов приурочивают к границам стратиграфических подразделений – обычно свит или достаточно мощных литологических пачек. Интервал глубин, соответствующий каждому прямолинейному участку, характеризуется постоянным значением скорости распространения в нем упругих волн и может рассматриваться в первом приближении как однородный пласт. Скорость $V_{пл}$ в таком пласте называется пластовой скоростью, а величина ее определяется по угловому коэффициенту соответствующего прямолинейного участка:

$$V_{пл} = \Delta H / \Delta t,$$

ΔH – разность глубин на прямолинейном отрезке, а Δt – приращение времени пробега на отрезке ΔH (рис. 4.14).

Рассмотренный прием позволяет расчленить весь разрез на несколько крупных пластов и составить представление о так называемой толстослоистой модели среды.

Более детальную картину особенностей скоростной модели дают извлекаемые из исходных данных сведения о распределении в разрезе интервальных скоростей $V_{инт}$. Вычисление значений $V_{инт}$ осуществляют по разности времен пробега $\Delta t_{р}$ к двум сей-

сеприемникам, расположенным на фиксированном расстоянии друг от друга, определяемом конструкцией глубинного зонда.

$$V_{\text{инт}} = \Delta N_{\text{сп}} / \Delta t_{\text{пр}}, \text{ где}$$

$\Delta N_{\text{сп}}$ – шаг сейсеприемников в скважинном зонде;

$\Delta t_{\text{пр}}$ – разница времен пробега волны к двум сейсеприемникам (рис. 4.14).

Использование этих скоростей позволяет иногда выделять резко отличающиеся по своим акустическим свойствам от вмещающих пород пласты мощностью, соизмеримой с шагом сейсеприемников (как было отмечено выше, величина шага в применяемых глубинных зондах составляет 10 м).

Предельно детальную информацию о скоростном разрезе получают с помощью акустического каротажа (АК). Источники, применяемые при АК, излучают колебания в частотных диапазонах от 5...8 до 20...30 кГц. Измеряя время пробега акустической волны вдоль стенки скважины на постоянной базе приема ΔH (0.5...2.0 м) интервальную скорость определяют по той же формуле, что и по сейсмическим наблюдениям. Базы приема сигналов при АК соизмеримы с мощностью тонких слоев, составляющей первые м. Поэтому интервальную скорость по АК считают близкой к значению истинной скорости в слое на этой глубине: $V_{\text{ист}}(H) = V_{\text{инт}}(H)$. Зная характер распределения истинной скорости распространения упругих колебаний в разрезе, можно рассчитать вертикальный годограф $t = f(H)$ по формуле:

$$T = f(H) = \int_0^H dH / V(H)$$

и, таким образом, увязать результаты данных АК и ВСП.

Скоростную модель разреза, сформированную по данным АК, называют тонкослойной; фрагменты таких моделей показаны на рис. 4.15.

Определение скоростных параметров поперечных волн осуществляется по однотипной с продольными волнами методике. Заметим, что для определения скоростей S-волн используется фазовый годограф прямой падающей поперечной волны, регистрирующейся в последующих вступлениях. Иногда, на непротяженных участках в верхней части вертикального профиля, удается выделить и проследить первые вступления волны S и, определив поправку, привести фазовый годограф к годографу первых вступлений.

Остановимся на примерах изучения скоростной модели разреза на территории Томской области. К настоящему времени скоростные параметры разреза мезокайнозойского чехла в пределах области определены в большом числе скважин. При принципиальной однотипности скоростных моделей по скважинам отмечается градиентный характер среды, как по вертикали, так и латерали.

В последние годы в результате бурения параметрических скважин на большую глубину и проведения в них ВСП получена информация о скоростном разрезе подчехольных образований палеозойского и более древнего возраста. Ниже рассматриваются особенности скоростного разреза по данным ВСП в параметрической скважине «Восток-3».

На рис. 4.16 приведены графики, рассчитанных по приведенному вертикальному годографу прямой продольной волны, средних $V_{\text{ср}}$ и $V_{\text{пл}}$ скоростей.

Распределение средних скоростей продольных волн в вертикальном разрезе, как это можно видеть на рис. 4.16, характеризуется монотонным нарастанием их величин с глубиной от значений 1600 м/с в приповерхностной части разреза до 3300 м/с в призабойном интервале – на глубинах свыше 4350 м, при этом градиент $V_{\text{ср}}$ плавно уменьшается с увеличением глубины. Так, на глубинах 0...500 м прирост $V_{\text{ср}}$ на 100 м составляет около 60...70 м/с, в то время как в интервале 4600...4900 м $\Delta V_{\text{ср}}$ на те же 100 м профиля не превышает 35 м/с.

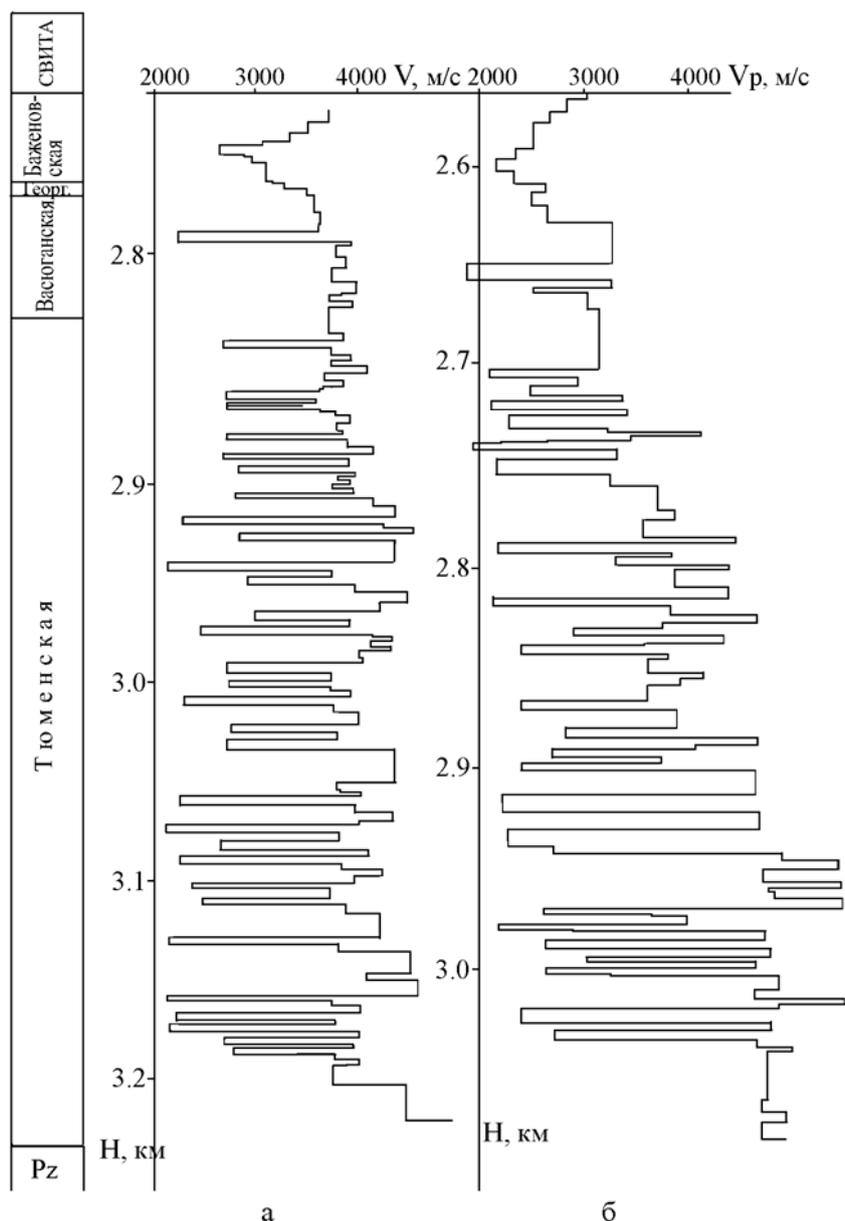


Рис. 4.15. Скоростные тонкослоистые модели юрских отложений по данным АК.
 а – Фестивальная площадь, скв. 255; б – Калиновая площадь, скв. 19

В соответствии с проведенной поинтервальной разбивкой вертикального годографа, опирающейся на посевитное расчленение геологического разреза, скоростной разрез представляется в виде девятислойной модели, включающей в себя шесть слоев в мезо-кайнозойском чехле и три в доюрском основании. Эта разбивка в некоторой степени контролируется поведением кривой интервальных скоростей (рис. 4.16).

При рассмотрении графика $V_{пл}^P = f(H)$ можно отметить следующие особенности:

- пластовые скорости с глубиной растут ступенеобразно от 1700 м/с в верхней части разреза на глубинах 0...300 м до 6000 м/с в интервале 4200...5000 м;
- на фоне относительно равномерного перепада $V_{пл}^P$ отмечаются две границы существенно резких перепадов; одна из которых приурочена к смене глинистых отложений на песчаные в нижней части симоновской (покурской) свиты, вторая – к подошве вендских – кровле рифей-вендских образований.

Кривая интервальных скоростей имеет достаточно хорошо выраженный осциллирующий характер на фоне общего нарастания $V_{инт}^P$ с глубиной. Амплитуда осцилля-

ций относительно осредненной огибающей достигает 150...200 м/с, причем максимальные величины их наблюдаются в интервале доюрских отложений. Наряду с высокочастотными осцилляциями, на графике $V_{инт}^P=f(H)$ вполне отчетливо проявляется низкочастотная составляющая, удовлетворительно совпадающая по своему положению с выделенными скоростными пластами.

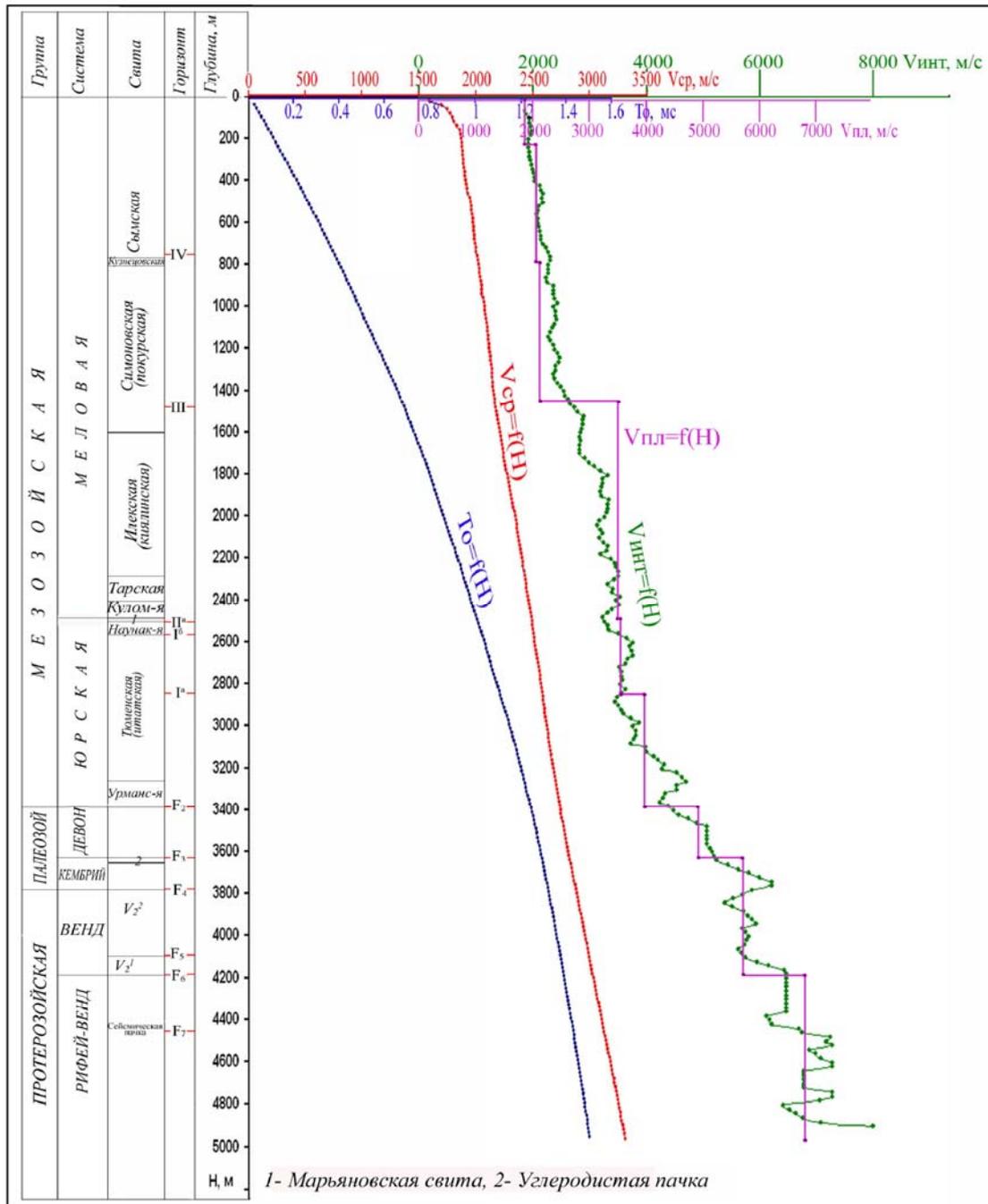


Рис. 4.16. Приведенный вертикальный годограф, графики средних, интервальных и пластовых скоростей прямой продольной волны. Скв. «Восток»

Материалы ВСП в скважине Восток-3 оказались весьма информативными в отношении получения представлений о скоростной модели поперечных волн: на сейсмограммах Х-, Y-компонент уверенно выделяется поперечная волна, начиная с глубины 500 м до забоя на глубине 5000 м. Для определения скоростей в интервале 0...500 м го-

дограф SV-волны «наращивался» уверенно прослеживаемыми поперечными составляющими обменных отраженных волн.

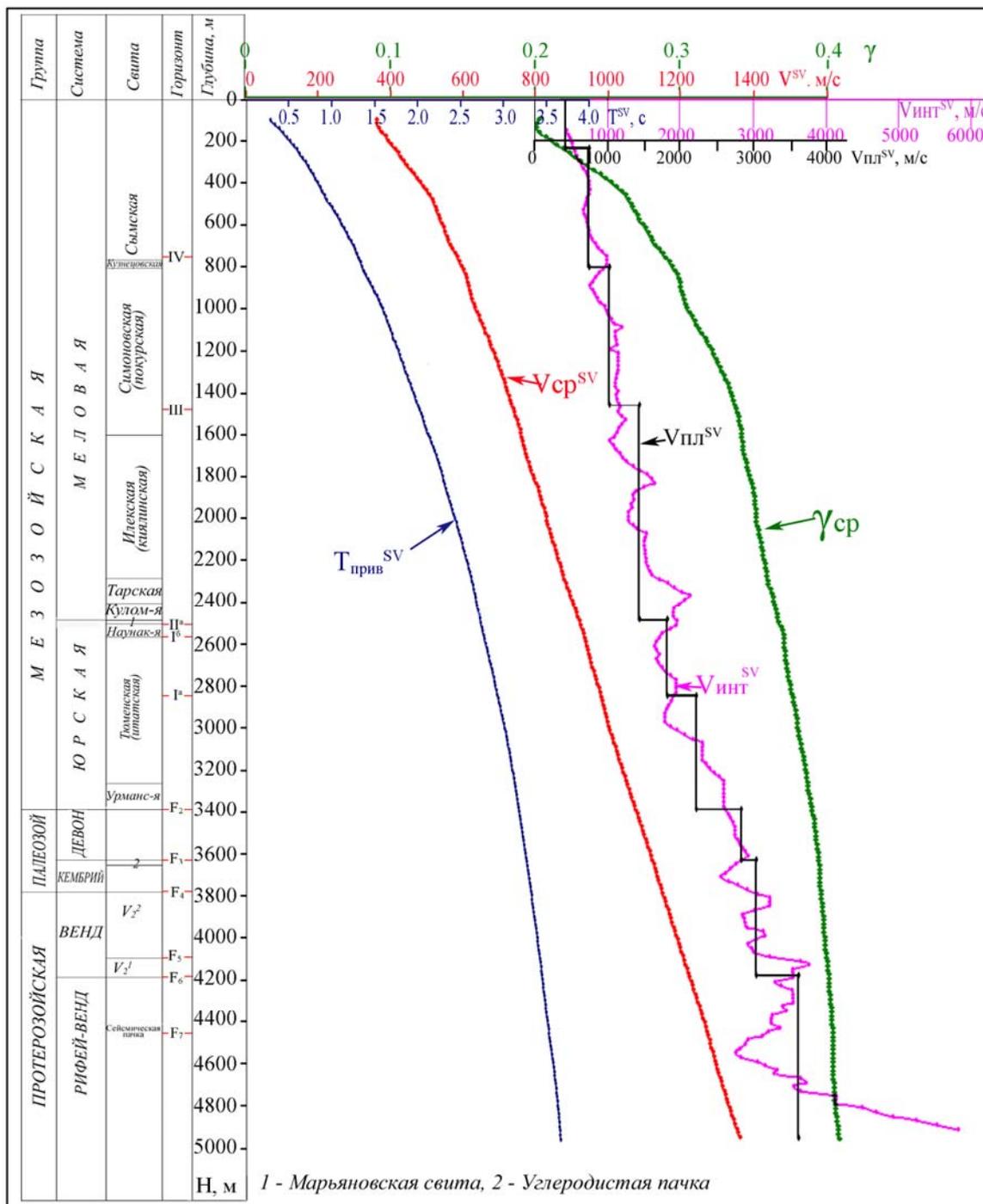


Рис. 4.17. Приведенный вертикальный годограф, графики средних, интервальных, пластовых скоростей и параметра $\gamma=V_s/V_p$ прямой поперечной волны SV.

$T_{прив}^{SV}$ - приведенный вертикальный годограф волны SV

V_{cp}^{SV} - средние скорости поперечной волны SV

$\gamma_{cp} = V_s/V_p$ - отношение скоростей поперечной и продольной волны

$V_{инт}^{SV}$ - интервальные скорости поперечной волны SV

$V_{пл}^{SV}$ - пластовые скорости поперечной волны SV

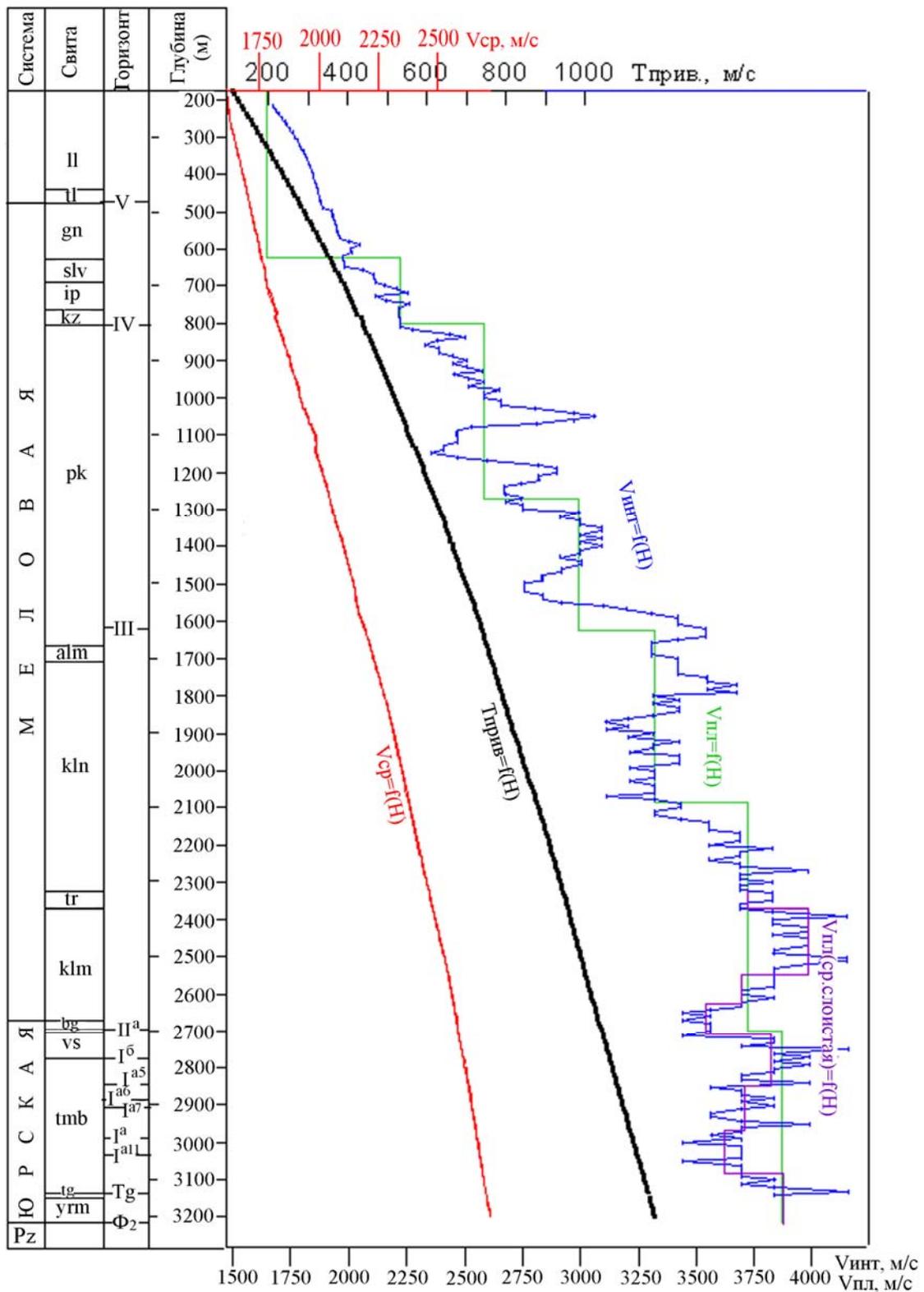


Рис. 4.18. Приведенный вертикальный годограф, графики средних x , интервальных и пластовых скоростей. Скв. 3 Северо-Фестивальная

Средние скорости SV-волны изменяются от 360 м/с на глубине 100 м до 1350 м/с на глубине около 5000 м. По кривой $V_{cp}^{SV} = f(H)$ видно, что распределение V_{cp}^{SV} в верхней части разреза – до глубин примерно 1200...1300 м, имеет градиентный характер, а глубже рост скоростей происходит практически по линейному закону.

Разрез пластовых скоростей $V_{пл}^{SV}$ поперечных волн аналогичен разрезу скоростей продольных волн и представляет также девятислойную модель с перепадами $V_{пл}^{SV}$ примерно того же уровня, что и $V_{пл}^P$.

По значениям скоростных параметров двух типов волн – продольных и поперечных, определены величины комплексного параметра $\gamma=V_s/V_p$, функционально связанного с коэффициентом Пуассона. Средние величины $\gamma=V_s/V_p$ изменяются от 0.2 в верхней части разреза до 0.4 в его нижнем интервале (рис. 4.17). Верхняя часть графика $\gamma_{ср}=f(H)$ до глубины порядка 1500 м имеет отчетливо выраженный градиентный характер, а глубже его форма становится близкой к линейной.

Интересными представляются результаты интерпретации кривой интервальных скоростей, полученные по данным ВСП в скважине 3 на Северо-Фестивальной площади.

Кривая интервальных скоростей здесь имеет также четко выраженный осциллирующий характер с амплитудой размаха относительно осредненной огибающей 350 м/с. Как видно, из рис. 4.18 фон общего нарастания графика осложнен наложением «низкочастотной» составляющей, сочетающей в себе интервалы пониженных и повышенных значений $V_{инт}$. По протяженности эти интервалы существенно меньше интервалов $V_{пл}$ в толстослойной модели, что представляет возможность построить средне-слоистую модель. Так, например, в интервале: кровля тарской свиты – поверхность доюрского основания можно выделить до шести слоев вместо двух в толсто-слоистом варианте. В обособленности слоев средне-слоистой модели, по-видимому, существенная роль принадлежит литологическому составу, что следует из сопоставления кривой $V_{инт}=f(H)$ и литологической колонки: толще отложений васюганской и верхней части тамбаевской свит, в литологическом составе которых преобладают песчаники, в средне-слоистой модели соответствуют повышенные значения $V_{инт}$ (рис. 4.18). По мере увеличения с глубиной содержания углисто-глинистых разностей и углей происходит понижение $V_{инт}$ и средняя и нижняя части тамбаевской свиты отмечаются двумя слоями пониженных значений интервальных скоростей.

В тонкослойной модели отмечается «реакция» скоростного разреза на группы песчаных и углисто-глинистых пластов. В некоторых частях разреза юрского комплекса имеет место «прямое» соответствие поведения кривой $V_{инт}$ и литологического состава пластов. Например, в нижней части тамбаевской свиты пласты углей U_{10} и U_{11} отмечаются четкими минимумами $V_{инт}$ (рис. 4.19).

4.4. Возможности ВСП при решении геологических задач

Объекты нефтегазовой геологии, поиски и разведка которых ведутся с помощью сейсмических исследований, в том числе и с применением метода ВСП, разнообразны как по стратиграфической приуроченности и гипсометрическому положению, так и по форме, размерам и внутреннему строению. На современном этапе геологоразведочных работ доминирующая роль принадлежит сложнопостроенным объектам с малыми поперечными размерами и амплитудой. Картирование таких объектов требует максимального повышения детальности сейсмических наблюдений. Этому условию в значительной степени отвечают временные разрезы ВСП МОВ, обладающие высокой латеральной детальностью (шаг точек отражений на картируемых границах не превышает 5 м), обусловленной «проектированием» большого числа пунктов приема по вертикальному профилю с малым шагом (10 м) на короткий отрезок горизонтального профиля. Эта особенность важна, прежде всего, в связи с необходимостью обнаружения микроструктурных неоднородностей, размеры которых не превышают первых десятков метров, а однократное прослеживание связанных с ними отражений исключает возможность их нивелирования. Наряду с высокой латеральной детальностью разрезы ВСП МОВ обладают и более высокой разрешающей способностью.

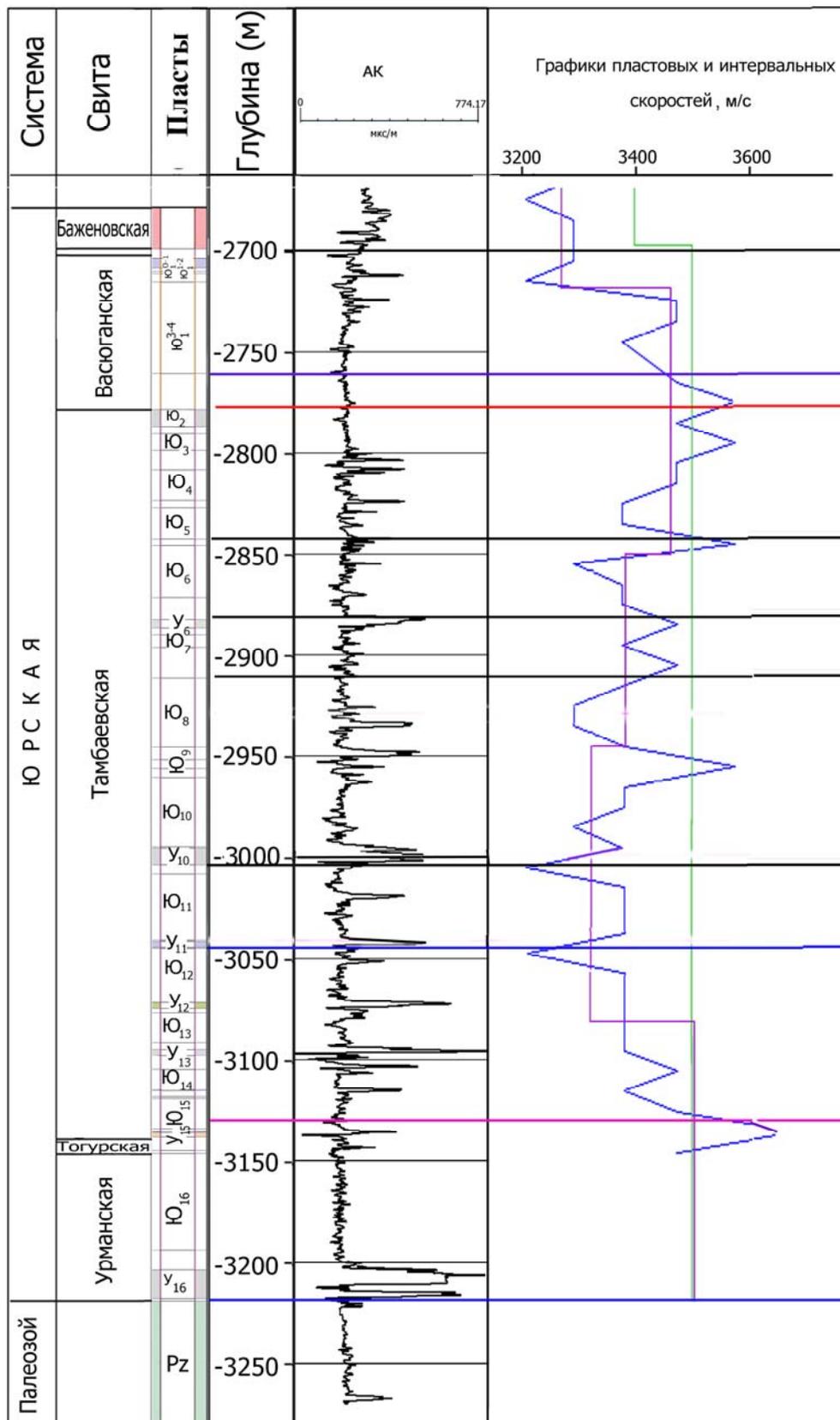


Рис. 4.19. Локальные минимумы скоростей продольных волн на кривой $V_{\text{инт}}=f(H)$, связанные с угольными пластами U_{10} и U_{11} в отложениях тамбаевской свиты.

Скв. 3 Северо-Фестивальная

Задачи, выдвигаемые в целом перед методом ВСП (в обоих случаях интерпретации) по изучению около- и межскважинного пространства, можно подразделить на две группы:

- структурные (картирование границ и определение элементов их залегания, выявление микроструктурных неоднородностей типа малоамплитудных малоразмерных поднятий и погружений, малоамплитудных нарушений и т. п.);
- литолого-стратиграфические (детальное расчленение и выделение на этой основе типичных признаков геологического разреза с последующим распространением их на разрезы ОГТ, клиноформное строение, картирование зон выклинивания и т. п.).

Ниже приводятся примеры решения некоторых задач при автономном использовании материалов ВСП и на основе комплексной интерпретации их с данными наземной сейсморазведки.

4.4.1. Решение структурно-тектонических задач

Корректировка структурных построений

Использование материалов ВСП при решении задач структурного картирования сводится, в основном, к корректировке ранее выполненных структурных построений, устраняющей расхождение глубин по данным сейсморазведки и бурению. Причинами расхождений являются либо применение при трансформации времен в глубины неоптимального для данной площади скоростного закона, либо ошибки в корреляции отражающих горизонтов, что относится, главным образом, к неустойчивому по прослеживаемости горизонту Φ_2 , стратифицируемому с поверхностью доюрского фундамента. Резкая изменчивость сейсмоакустических характеристик пород, выведенных на поверхность фундамента, обуславливает невыдержанность таких элементов сейсмической записи как конфигурация, протяженность, интенсивность, частота. В этих условиях ошибки в корреляции горизонта Φ_2 объективно неизбежны.

Типичными примерами таких ошибок является корреляция горизонта Φ_2 на временных разрезах по профилям на Вездеходной и Южно-Тамбаевской площадях.

В обоих случаях корреляция горизонта Φ_2 проведена по выше расположенным осям синфазности, в результате чего гипсометрическое положение поверхности доюрского основания по данным сейсморазведки оказалось завышенным относительно реального на Вездеходной площади на 90 м, на Южно-Тамбаевской на 60 м. Основной причиной ошибочной корреляции является слабая амплитудная выразительность оси синфазности отражения от поверхности фундамента, существенно уступающая выразительности осей, расположенных выше.

По полученным глубинным разрезам ВСП МОВ, привязанным к разрезам скважин, на участках околоскважинных зон обеих площадей (с частичным выходом в заскважинное пространство) проведено построение структурных карт по горизонту Φ_2 (рис. 4.20).

На Южно-Тамбаевской площади в результате анализа кинематических и динамических атрибутов сейсмической записи на временных разрезах ВСП МОВ выявлены тектонические нарушения и намечен участок повышенной тектонической активности (рис. 4.20). Корректировка корреляции горизонта Φ_2 на временных разрезах МОГТ в близрасположенной к скважине зоне после увязки с разрезами ВСП МОВ позволила выделить тектонические нарушения также в заскважинном пространстве (ПВ4, скв. 75 на рис. 4.20).

Использование материалов ВСП при структурном картировании позволяет наиболее уверенно решить проблему выделения малоамплитудных нарушений, в частности, тех, которые не имеют видимых вертикальных смещений (так называемых безамплитудных).

Так, например, при постановке ВСП в скважине 453-Останинская была поставлена (как принципиально важная) задача установления реальности ранее выделенных по наземным работам безамплитудных нарушений по бортам прогиба, разделяющего Останинское и Мирное локальные поднятия, к которым приурочены одноименные нефтегазоконденсатные месторождения.

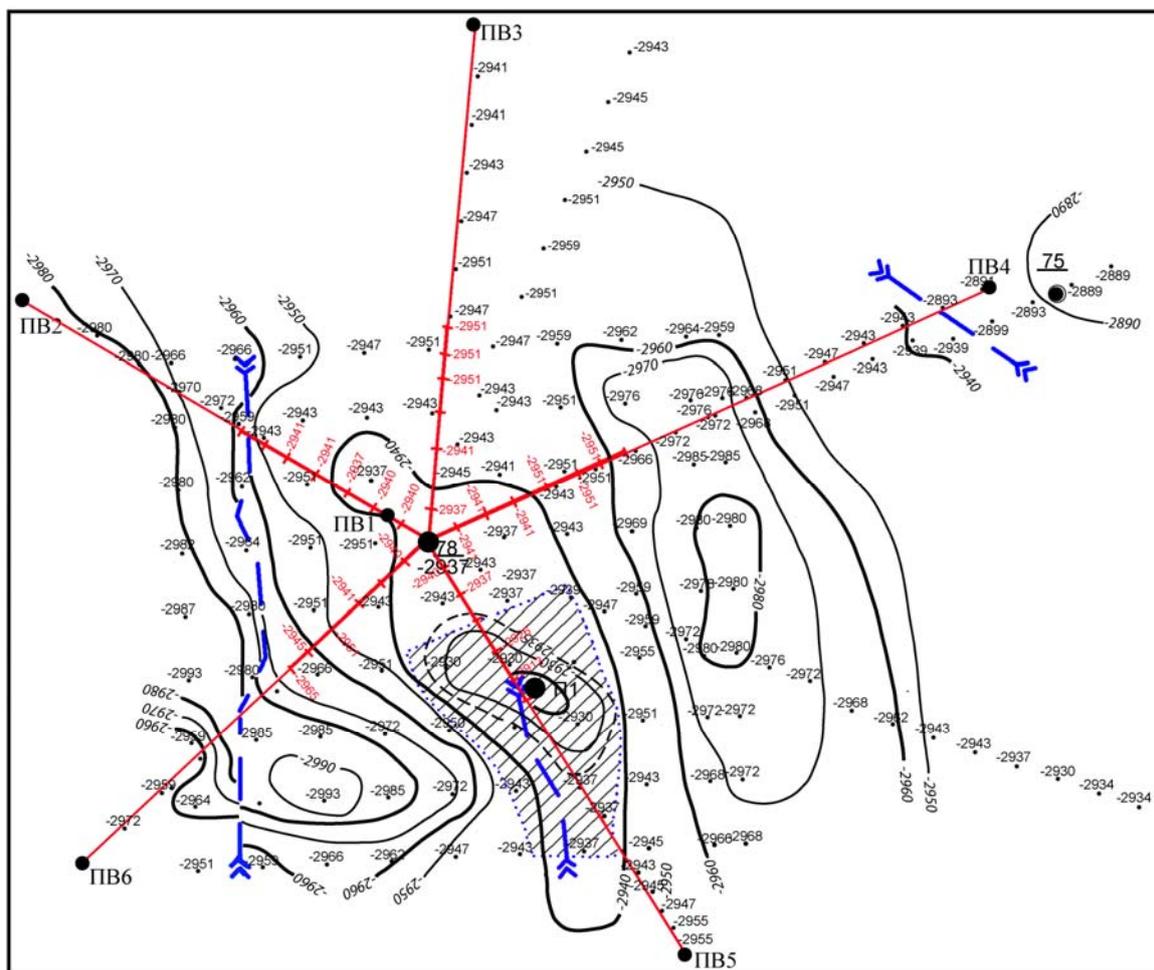


Рис. 4.20. Структурный план по отражающему горизонту Φ_2 (кровля доюрского основания – подошва чехла) в близлежащей скважине 78 зоне по данным ВСП и наземной сейсморазведки ЗД ОГТ. Южно-Тамбаевская площадь

- 78
-2937 Скважины глубокого бурения (числитель - номер скважины, знаменатель - а.о. отражающего горизонта Φ_2).
- П1 Рекомендуемая скважина.
- ПВ2 Пункты взрыва ВСП.
- Профили однократных наблюдений, сформированные по данным ВСП, с указанием а.о. горизонта Φ_2 .
- ОГТ, сформированные по наблюдениям МОГТ ЗД, с указанием а.о. отражающего горизонта Φ_2
- — — — — Изогипсы отражающего горизонта Φ_2 .
- - - - - Промежуточная изогипса.
- ↔ Тектонические нарушения.
- ▨ Тектонически активная зона.

С целью решения задачи была предусмотрена отработка двух непродольных профилей с расположением двух пунктов взрыва в направлениях, пересекающих одно из нарушений и с удалением их, обеспечивающих с большой страховкой фиксацию на сейсмических записях волновых картин, свойственных нарушениям.

Отсутствие на первичных сейсмограммах и на временных разрезах ВСП МОВ по продольным волнам во всем интервале юрских отложений типичных, установленных по экспериментальным, модельным и теоретическим исследованиям признаков проявления тектонических нарушений позволило сделать вывод о нереальности их выделения по ранее проведенным наземным работам. Этот вывод подтверждается также полным отсутствием проявлений дизъюнктивной тектоники на записях обменных отраженных волн, существенно более «чувствительных» к микронеоднородностям за счет более низких скоростей распространения по сравнению с продольными волнами.

4.4.2. Выделение зон повышенной тектонической трещиноватости и эрозионных врезов

Материалы ВСП весьма результативно могут быть использованы при выделении зон повышенной трещиноватости и эрозионного среза. В качестве рабочего интерпретационного подхода при этом служит анализ кинематических, динамических и сейсмостратиграфических критериев.

Отчетливое проявление повышенной тектонической трещиноватости можно видеть на временных разрезах по непродольным профилям ВСП в параметрической скважине Восток-3. В интервале глубже горизонта Φ_2 на разрезах наблюдаются аномально резкие вариации динамики отражений, проявляющиеся либо в смене интенсивности осей синфазности, либо в полном затухании или смене полярности записи (рис. 4.21). Очевидно, что такое крайне изменчивое поведение волновых картин в указанном интервале обусловлено неустойчивостью сейсмических характеристик доюрских и допалеозойских образований, связанной с одной стороны, с гетерогенностью их возрастного и литологического состава, с другой – высокой степенью раздробленности и вторичными посттектоническими изменениями пород. Высокая степень тектонической трещиноватости здесь обоснована анализом кернового материала.

На Чкаловском месторождении, детально изученном сейсмическими исследованиями МОГТ 3Д, в результате проведения ВСП в скважине 501 на восточном окончании одноименного локального поднятия удалось дополнить ранее предложенную дизъюнктивно-блоковую модель строения доюрского основания новыми представлениями, основанными на сейсмостратиграфическом подходе.

При анализе временных разрезов ВСП МОВ и увязанных с ними разрезов МОГТ было отмечено, что в доюрском интервале на профилях вкост субширотного простиранения оси поднятия расположение сейсмических отражений относительно горизонта Φ_2 представлено в виде типичного кровельного прилегания или эрозионного среза (рис. 4.22). Кровельное прилегание отмечается на некоторых участках временных разрезов не только у верхней поверхности доюрского комплекса, но и внутри него; особенно отчетливое проявление его можно видеть на склонах зон погружения (рис. 4.22).

По характеру волнового поля было определено, что уровень эрозионного среза контролируется в первом приближении изогипсой –2880 м. С контуром изогипсы предположительно связывается граница перспективной зоны, в которой в результате эрозионного среза произошла глубокая проработка выведенных на поверхность пород и образование коры выветривания повышенной мощности. В наибольшей степени вторичному изменению, очевидно, подверглись породы на приподнятых блоках. На одном из таких блоков вскрыта толща повышенной тектонической трещиноватости, из интервала которой получен фонтанный приток нефти дебитом 100 т/сут с примесью

1 % пластовой воды. Проведенный анализ волнового поля и результаты бурения скважины Р-501 позволили пересмотреть перспективы нефтеносности восточного окончания Чкаловского л.п. в сторону их повышения.

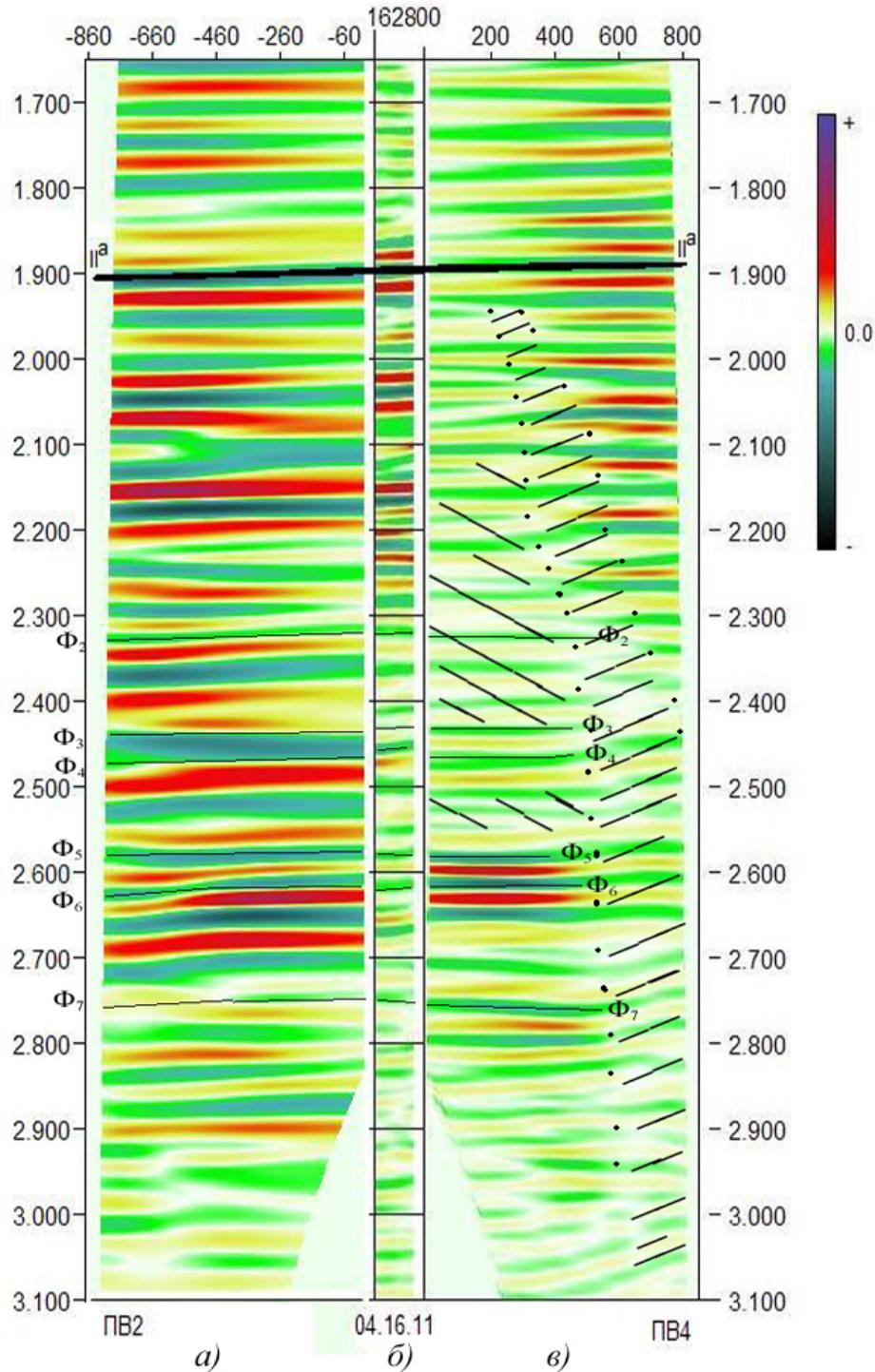


Рис. 4.21. Сводный временный разрез:

а) профиль ВСП МОВ (ПВ2); б) профиль ОГТ 2Д (04.16.11); в) профиль ВСП МОВ (ПВ4)

-  Зона дробления
-  Зона околотектонических изменений пород

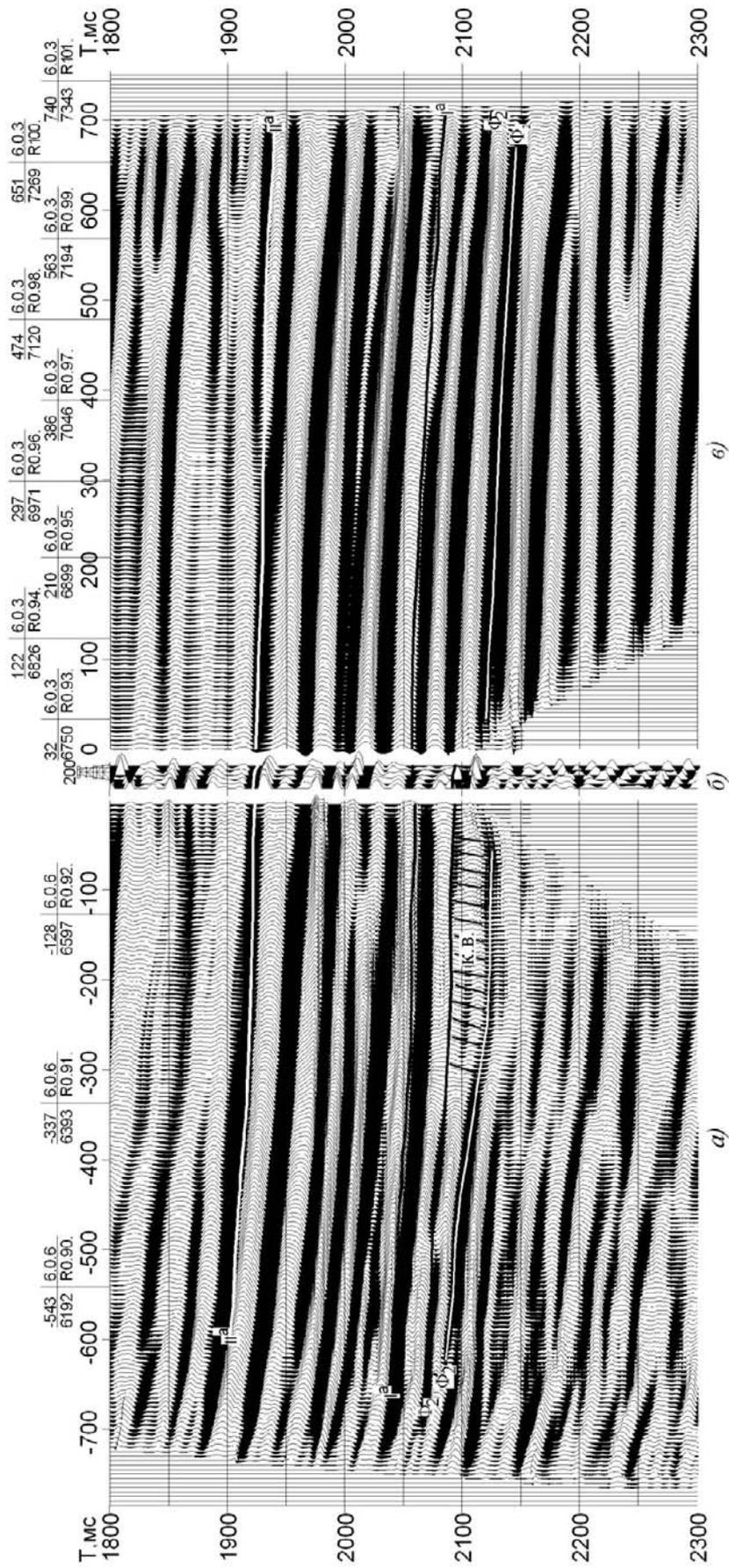


Рис. 4.23. Сводный временной разрез:
 а) профиль ВСП МОВ (ПВ6); б) профиль ОГТ ЗД (линия R93); профиль ВСП МОВ (ПВ3).
 Герасимовская площадь

Аналогичная задача была решена при ВСП в скважине Р-200 на Герасимовском месторождении, основной продуктивный пласт М которого в доюрском основании связан с древней корой выветривания. Высокопродуктивные коллектора пласта М приурочены к участкам с повышенной трещиноватостью пород коры выветривания.

Вскрытая скважиной Р-200 кора выветривания мощностью около 75 м достаточно уверенно выделяется на материалах ВСП. На временном разрезе ВСП МОВ и схеме расчленения кровля и подошва отбиваются отражениями Φ_2 и Φ'_2 ; временная мощность, заключенная между ними, составляет около 0.030 с.

Особенно отчетливое отображение коры выветривания можно видеть на временном разрезе по направлению на ПВб. По взаимному расположению горизонтов Φ_2 и Φ'_2 видно, что мощность коры выветривания, зафиксированная в разрезе скважины Р-200, сохраняется на расстоянии около 300 м от скважины. В направлении подъема горизонтов происходит сначала довольно резкое, а затем плавное сокращение мощности; на удалении 500 м она уже составляет только 0.015 с, что соответствует ~30 м глубинной мощности. Проведенная интерпретация позволила рекомендовать заложение эксплуатационной скважины в точке, удаленной от скважины Р-200 на 300...400 м к юго-западу (рис. 4.23).

4.4.3. Выделение водонефтяного контакта

Разрезы ВСП МОВ, получаемые по записям на непродольных профилях, характеризуются повышенной разрешающей способностью благодаря приему сигналов во внутренних точках среды и исключению фильтрующего влияния верхней части разреза. Более высокое разрешение записи на разрезах ВСП позволяет в некоторых случаях наряду с детальным расчленением изучаемых коллекторов выделить отражение, связанное с водонефтяным контактом (ВНК). В качестве одного из таких примеров служат результаты, полученные при ВСП скважины 453 –Останинская.

На временных разрезах ВСП МОВ по непродольным профилям здесь наблюдается интерференционная картина второй положительной фазы отражающего горизонта Π^a , проявляющаяся в виде раздвоения этой фазы за счет появления горизонтальной высокочастотной оси синфазности с отрицательной полярностью. Горизонтальные отражения на временных разрезах, получившие название «плоского пятна», обычно связывают с межфлюидными контактами.

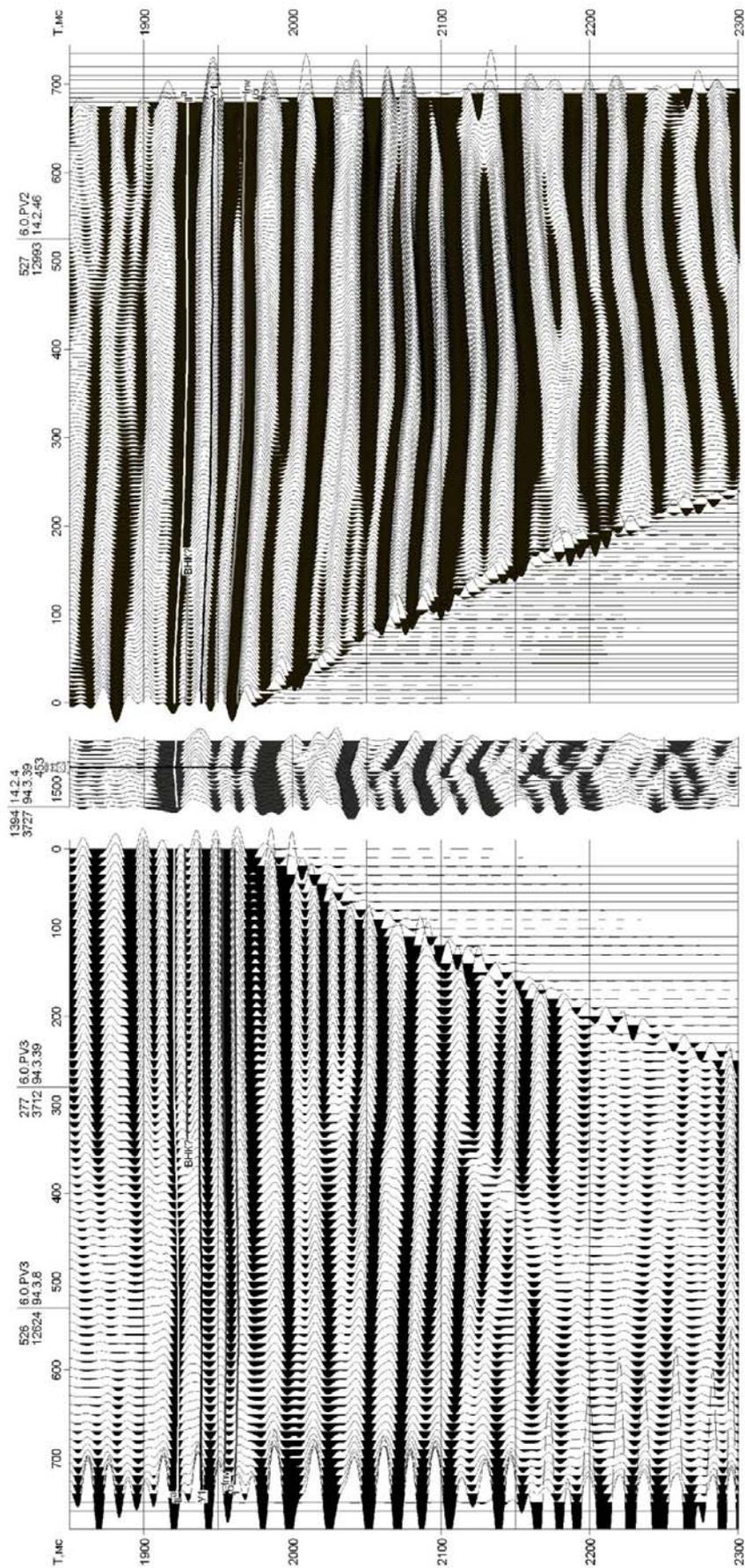
Времени регистрации наблюдаемой горизонтальной оси синфазности на одном из разрезов ВСП МОВ (рис. 4.24) соответствует глубина 2522 м (а.о. – 2396 м), а времени начала ее образования – глубина 2518 м (а.о. – 2392 м).

В прокаротированной скважине 453 проведено испытание пласта Ю_1^1 в интервалах 2504.6...2516.6 м (а.о. – 2378.6...2390.6 м) и 2518.6...2522.0 м (а.о. – 2392.6...2396.0 м). В соответствии с заключением по результатам испытания ВНК отбивается на глубине а.о. – 2391 м. Практически абсолютное совпадение а.о. ВНК и границы, генерирующей горизонтальное отражение, вполне свидетельствует об их тождественности.

4.4.4. Детальное расчленение разреза

Под детальным расчленением того или иного интервала геологического разреза по данным ВСП подразумевается выделение сейсмогеологических комплексов с временными толщинами, доступными для разрешающей способности сейсморазведки. Последняя определяется как минимальное расстояние ΔH между двумя соседними границами, отражения от которых на сейсмических записях прослеживаются раздельно.

Сейсмогеологические предпосылки к получению разрешающей записи отражений связаны, прежде всего, с акустической (главным образом) и плотностной дифференциацией пород, слагающих разрез.



в)

б)

а)

Рис. 4.24. Сводный временной разрез:
 а) профиль ВСП МОВ (ПВ3); б) профиль МОГТ 2Д (140204); в) профиль ВСП МОВ (ПВ2).
 Останинская площадь

Рассмотрим решение задачи на примере расчленения разреза среднеюрских отложений по данным ВСП в скважине Р-200 на Герасимовской площади.

Для толщи юрских отложений в целом, ограниченных снизу корой выветривания палеозойских образований и кровлей битуминозных аргиллитов баженовской свиты, характерна высокая степень вертикальной литологической расчлененности, отчетливо отображающейся на графиках АК. В частности, на типичном для площади графике АК скважины 10 Герасимовская (рис. 4.25) видно, что в целом вся толща юрских отложений характеризуется резкой осцилляцией скоростей V_p , обусловленной высокой частотой переслаивания отложений в вертикальном разрезе.

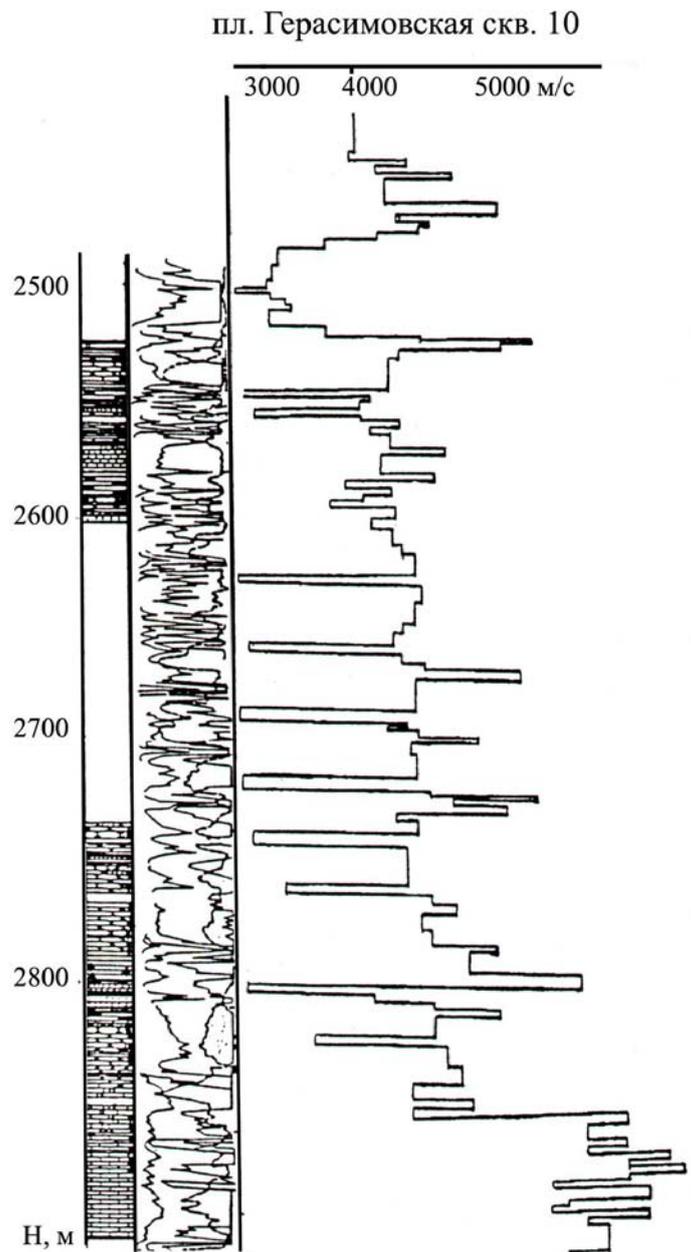


Рис 4.25. График плавных скоростей продольных волн $V_{пл}=f(H)$ по данным АК скв. 10. Герасимовская площадь

В толще среднеюрских отложений роль доминирующих элементов в формировании отраженных волн играют угольные пласты, обладающие аномально низкими ско-

ростями продольных волн по сравнению с вмещающими песчано-глинистыми отложениями (рис. 4.26).

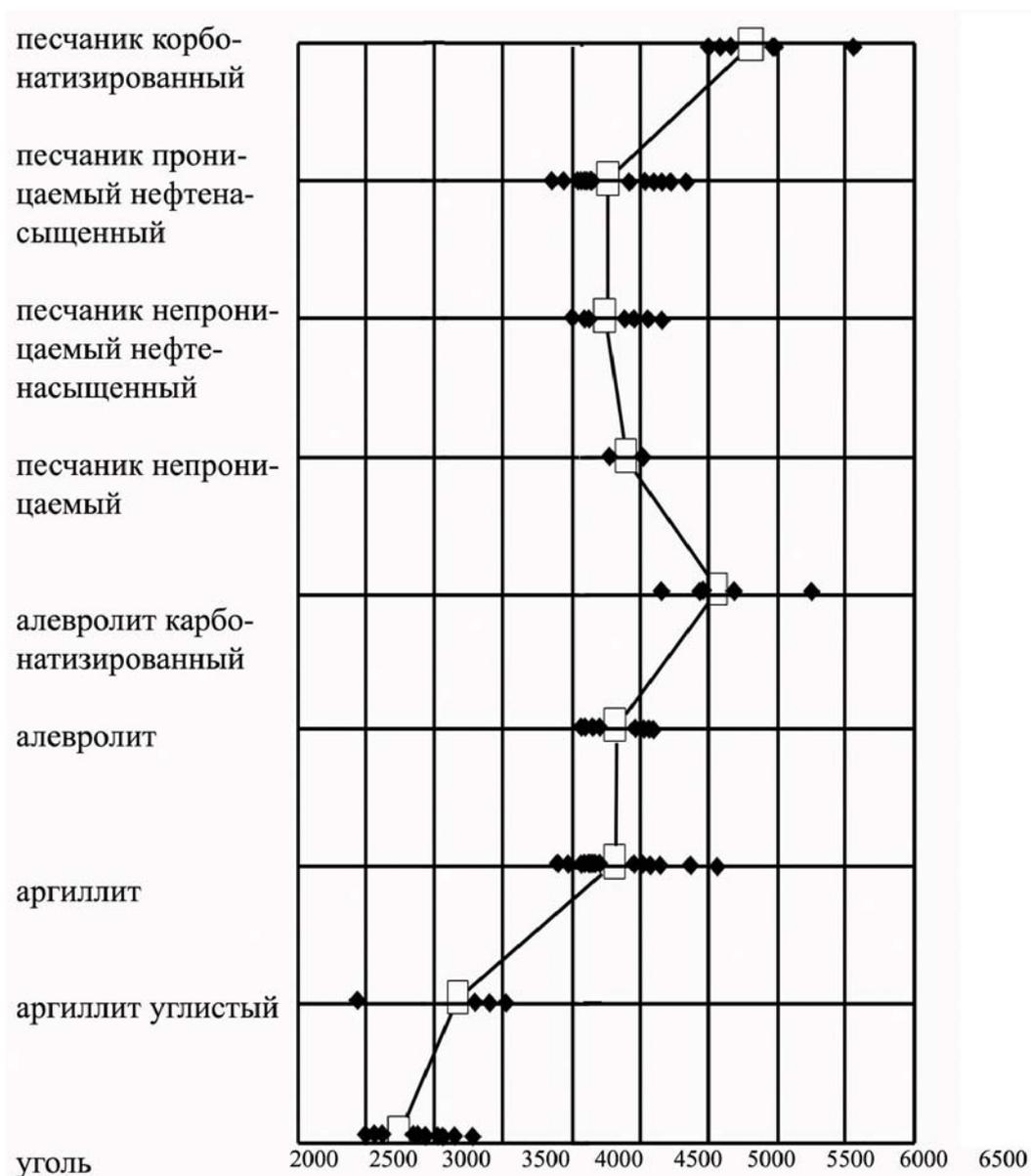


Рис 4.26. Зависимость скорости продольных волн от литологии пород в интервале пластов Ю₇—Ю₁₁ Герасимовская площадь. 388 измерений

По сопоставлению с данными ГИС в волновом сейсмическом поле, представленного сейсмограммой со спрямленными осями синфазности (рис. 4.27) в среднеюрском интервале можно выделить шесть отраженных волн, коррелируемых на временных разрезах в качестве отражающих горизонтов: I^a, I^{a7}, I^{a6}, I^{a5}, I^{a4} и I^{a2-3}, приуроченные соответственно к интервалам угольных пластов: У₁₀, У₇, У₆, У₅, У₄ и У₂₋₃. Наиболее высокой амплитудной выразительностью из них характеризуются отражения I^a, I^{a7} и I^{a5}; первое из них обладает свойствами регионального репера, а второе и третье относятся к числу зональных или локальных реперов.

Таким образом, интервал среднеюрских отложений общей мощностью примерно 170 м по полученным материалам ВСП в скважине Р-200-Герасимовской удалось расчленить на шесть сейсмогеологических комплексов толщиной 25...30 м.

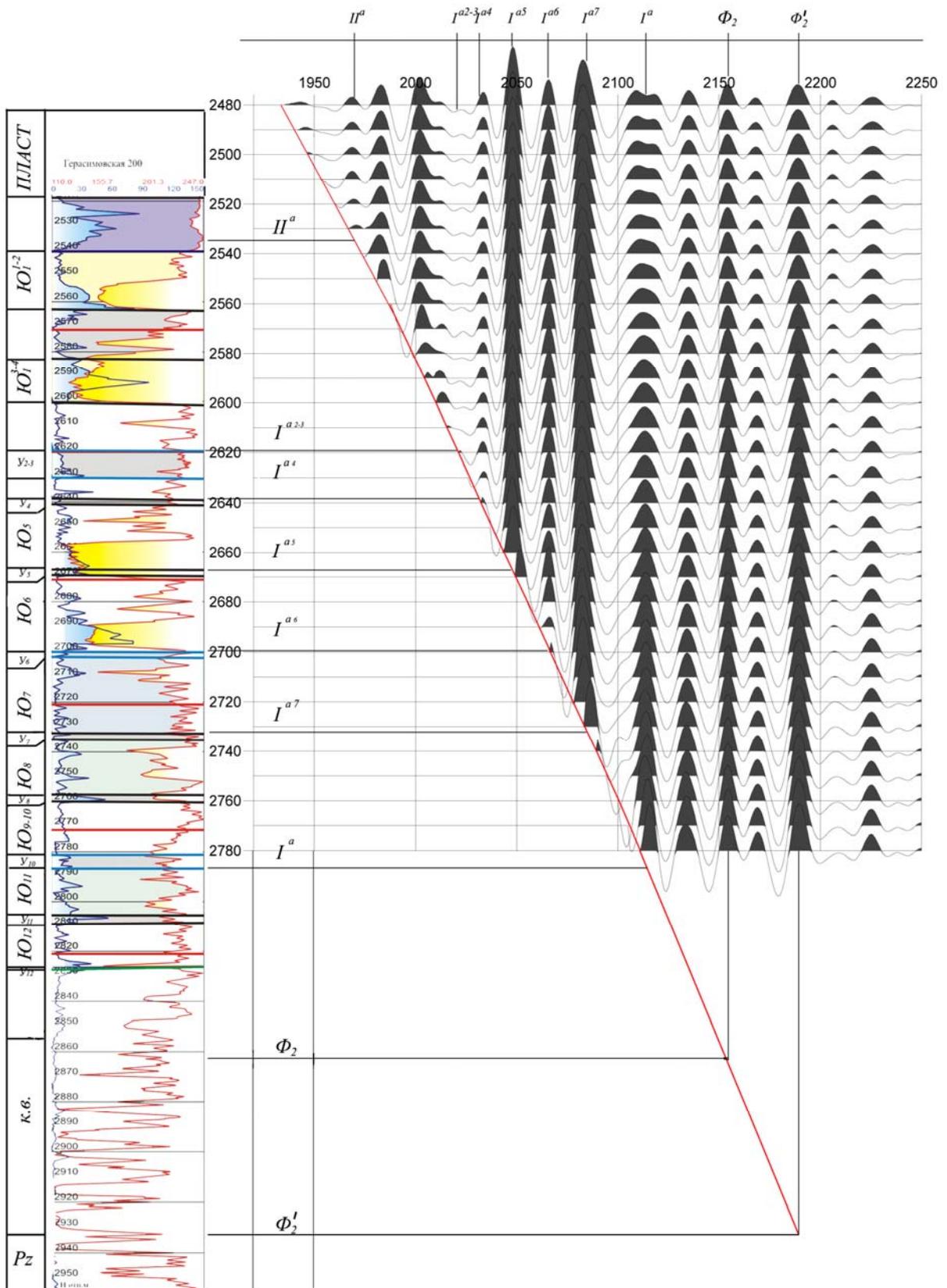


Рис. 4.27. Схема детального сейсмогеологического расчленения толщи отложений в интервале верхняя юра-поверхность коренного палеозоя. Скважина Р-200 Герасимовская

4.4.5. Выделение клиноформного строения

Одной из задач, выдвигаемых перед сейсмическими исследованиями, является картирование клиноформного строения в шельфовом неокомском комплексе. Косослоистая модель нижнемеловых отложений хорошо согласуется с условиями залегания, распространения и взаимоотношения неокомских пластов, установленных на основе детальной корреляции разрезов скважин и анализа волновых картин на региональных сейсмических профилях.

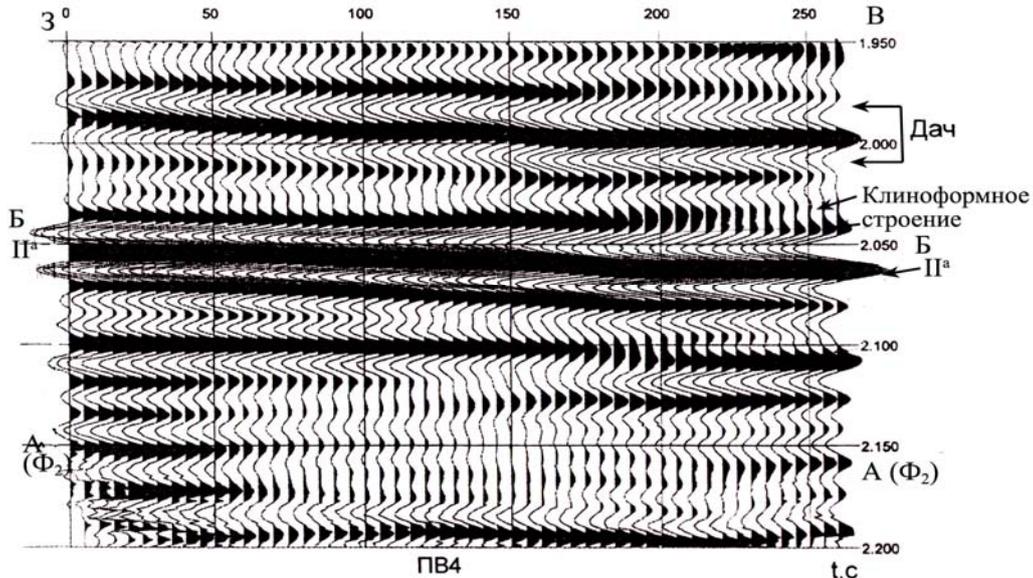


Рис. 4.28. Появление клиноформного строения нижнемеловых отложений на временном разрезе ВСП МОВ. Сква. Р-9 Восточно-Ларломкинской площади. Дач – пласты ачимовской паки; Б и II^a – кровля и подошва баженовской свиты; А (Φ₂) – поверхность палеозойских образований

Фрагмент такой модели отчетливо отображается на одном из разрезов ВСП МОВ, полученного по материалам НВСП в скв. Р-9 Восточно-Ларломкинской площади (рис. 4.28). С правой стороны рисунка непосредственно над опорным отражением Б (кровля баженовской свиты) можно видеть интерференционную картину, обусловленную постепенным сближением, а затем слиянием близко расположенных осей синфазности.

4.4.6. Возможности прогноза залежей УВ на основе изучения характера распределения скоростей распространения продольных V_p и поперечных V_s волн

В результате ранее проведенных работ в Томской области [1] с достаточной степенью достоверности установлено, что нефте- и особенно газонасыщение коллекторов вызывает снижение значений V_p и практически не сказывается на величине V_s, вследствие чего в пластах, содержащих УВ, наблюдаются повышенные значения параметра $\gamma = V_s / V_p$, функционально связанного с коэффициентом Пуассона. Эта особенность соотношения скоростей V_s и V_p может быть использована как весьма существенный дополнительный критерий при прогнозе залежей УВ.

Распределение скоростей V_s и V_p в разрезе можно определять по соотношению разностных времен продольных и обменных волн между горизонтами, ограничивающими интервал временных разрезов по РР и PS – волнам, содержащий продуктивный пласт.

На рис. 4.29 приведены временные разрезы по РР и PS – волнам по одному из профилей ВСП в скважине Р-502 Чкаловского нефтяного месторождения.

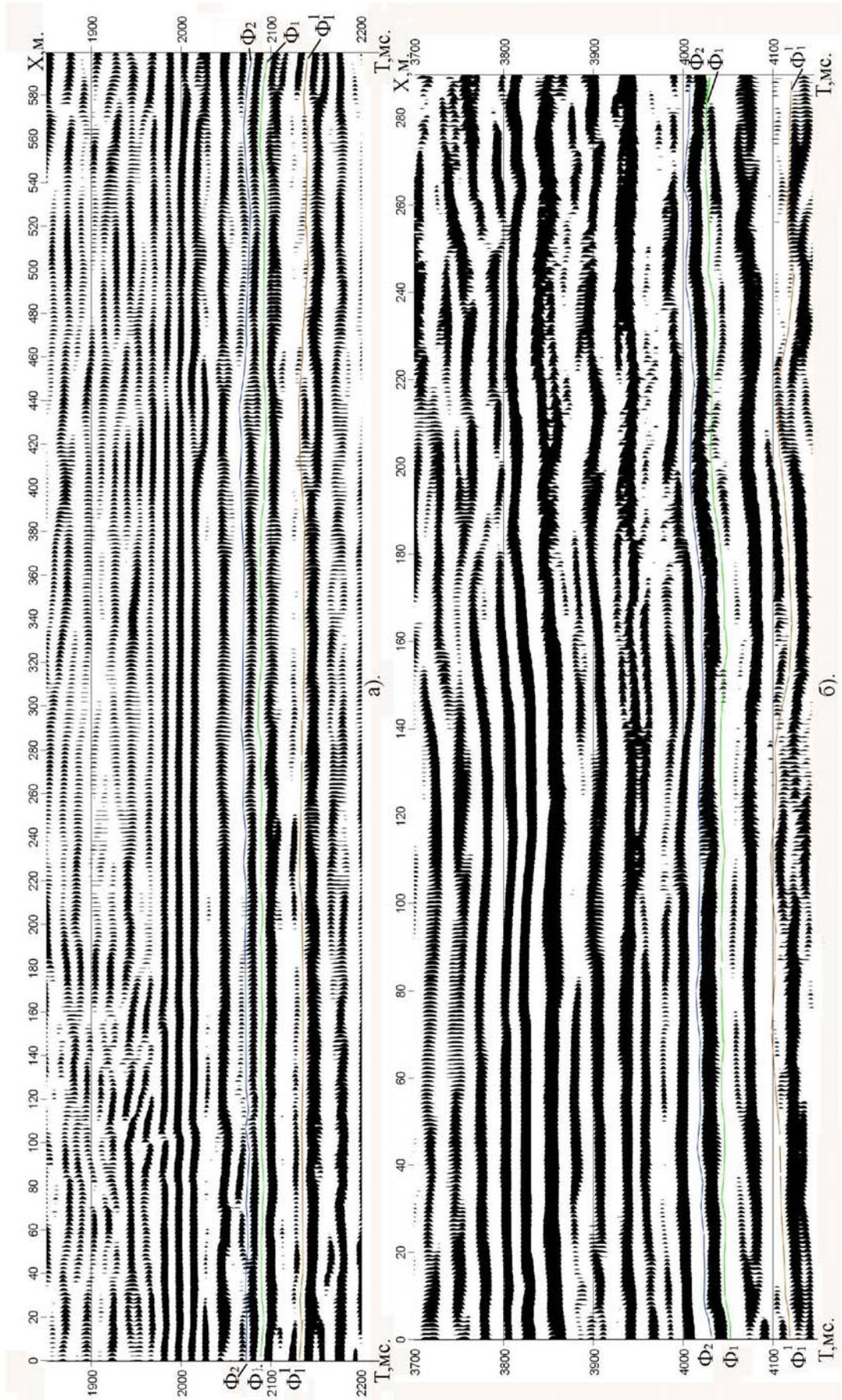


Рис. 4.29. Фрагменты временных разрезов ВСП МОВ по продольным (а) и обменным (б) волнам. Скв. Р-502 Чкаловская, ПВ4
 Φ_1 и Φ_1^1 – отражающие горизонты, стратифицируемые с подошвами коры выветривания и зоны дезинтеграции

На рис. 4.30 показаны графики параметра $\gamma = V_s/V_p$, значения которого рассчитывались по формуле:

$$\gamma_t = \frac{\Delta t_{pp}}{2\Delta t_{ps} - \Delta t_{pp}}$$

Δt_{pp} и Δt_{ps} разности времен между предварительно отождествленными на временных разрезах по PP и PS – волнам горизонтами Π^a (подошва баженовской свиты) и Φ_1^1 (подошва зоны дезинтеграции), в интервале которых вскрыта залежь нефти с достаточно высоким газовым фактором.

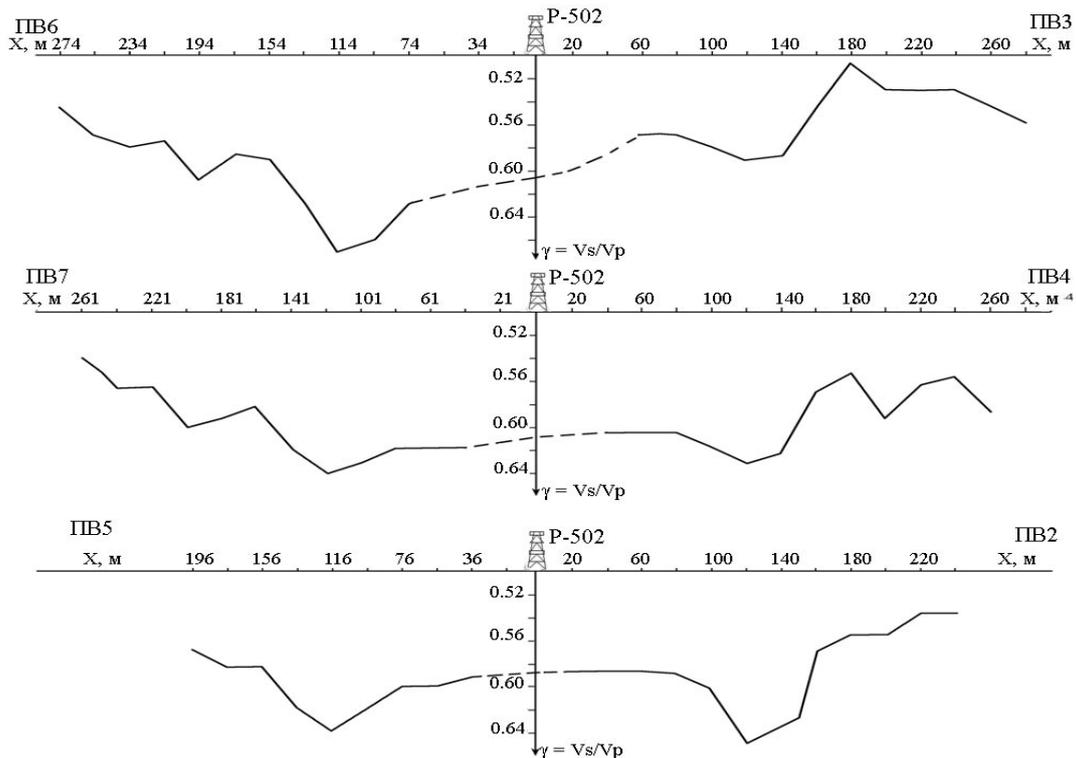


Рис. 4.30. Графики параметра $\gamma_t = V_s/V_p$ во временном интервале отражающих горизонтов $\Pi^a - \Phi_1^1$ по линиям между ПВ и скважиной P-502

Параметр γ_t функционально связан с коэффициентом Пуассона следующей формулой:

$$\sigma = \frac{(1 - 2\gamma^2)}{2(1 - \gamma^2)}$$

Графики γ_t в связи с укороченностью временных разрезов по обменным волнам охватывают весьма ограниченную по размерам околоскважинную зону, с радиусом от 200 до 280 м.

Величины γ_t , как видно из рисунка, варьируют в пределах 0.5...0.64 и при фоновых значениях в среднем 0.5 [1] являются аномальными. Аномальный характер γ_t можно, по-видимому, связывать в первую очередь с наличием газовой шапки, вскрытие которой не производилось во избежание осложнений предстоящей эксплуатации нефтяной залежи.

4.4.7. Примеры временных разрезов, построенных с учетом многослойного характера покрывающей среды (или эффекта преломления)

Программная реализация алгоритма, рассмотренного в разделе 3.6.5. настоящей работы, позволила кардинально повысить качество и достоверность информации временных разрезов ВСП МОВ, являющихся при ВСП, по сути, единственным материалом, освещающим геологическое строение околоскважинного пространства. По своей структуре и содержанию они подобны разрезам МОГТ, но отличаются от последних более высоким разрешением записи и латеральной детальностью.

В отличие от ранее применявшейся программы разработанная программа построения временных разрезов не требует подбора скоростного закона, в качестве которого используется скоростная модель, полученная при обработке вертикального годографа прямой продольной волны с ближнего ПВ. Учет преломления падающих и восходящих лучей осуществляется при этом благодаря применению специальных формул при расчете теоретических годографов. Исключение процедуры подбора скоростного закона в существенной степени ускоряет процесс построения временных разрезов.

Применение новой программы построения временных разрезов ВСП МОВ не только по продольным, но и по обменным волнам в Томской геофизической компании приобрело промышленный характер, оно позволило резко сократить сроки обработки материалов.

Ниже приведены временные разрезы, полученные при ВСП на ряде скважин Томской области.

На рис. 4.31 показаны временные разрезы по наблюдениям на непродольных профилях (НВСП) скв. Р-315 – Западно-Полуденной. В соответствии с поставленной задачей картирования границ в низах алымской и верхах вартовской (киялинской) свит интервал наблюдений ограничивался 1700 м. На демонстрируемых разрезах можно видеть высокую степень насыщенности осями синфазности отражений, связанных с границами в меловых отложениях. Однозначно уверенно прослеживается основной отражающий горизонт III, стратиграфически приуроченный к отложениям в низах покурской свиты. В нижней части разрезов, расположенной в подзбойном интервале вертикального профиля, вполне отчетливо выделяется и прослеживается группа юрских отражений и, в частности, опорный отражающий горизонт II^а. Нужно заметить, что для построения временного разреза в подзбойном интервале профиля использовался экстраполированный скоростной закон.

При проведении ВСП в скважине Р-502 Чкаловской в качестве основной задачи предусматривалось картирование зоны дезинтеграции верхней части доюрского основания, являющейся основным продуктивным объектом. На временных разрезах ВСП МОВ (рис. 4.29) по сопоставлению с данными бурения удалось выделить отражения от подошв коры выветривания (Φ_1) и зоны дезинтеграции (Φ_1^1), а после увязки с разрезами ОГТ, проследить их на последних в пределах разведочной площади. Это позволило провести построение структурных карт по отражающим горизонтам, ограничивающим продуктивный пласт и карты его (или зоны дезинтеграции) толщин.

Временные разрезы по продольным и обменным волнам, построенные по данным ВСП МОВ в скважине Р-42 Солоновская, представлены на рис. 4.32. Основной продуктивный объект здесь приурочен к коре выветривания доюрского основания. Отождествляемый с кровлей юры выветривания отражающий горизонт Φ_2 на временных разрезах по продольным и обменным волнам имеет крайне сложный характер, обусловленный развитием в зоне скважины повышенной тектонической трещиноватости.

В комплексе с разрезами МОГТ – 2Д временной разрез ВСП МОВ по продольным волнам был использован для построения структурной карты в околоскважинном пространстве.

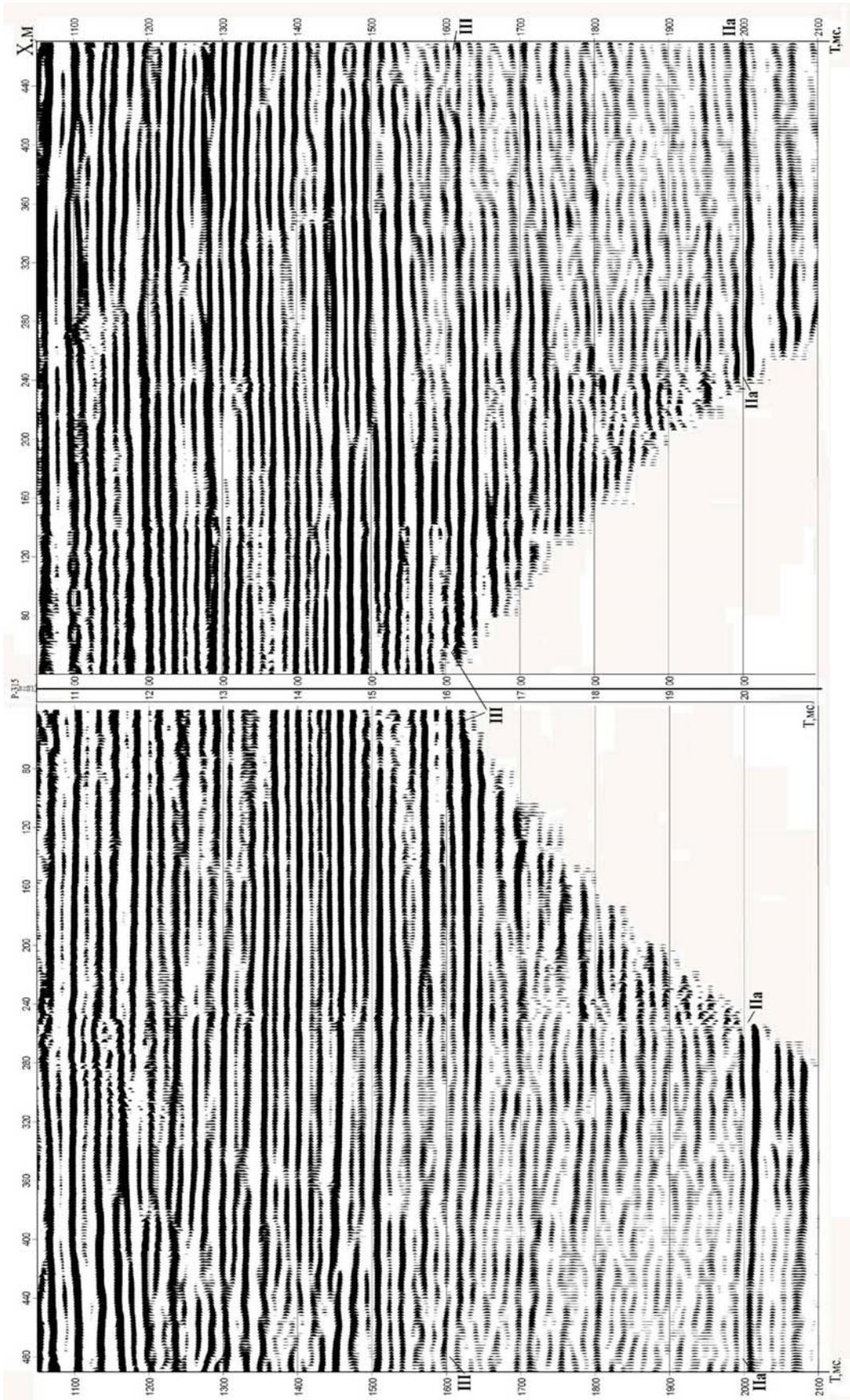


Рис. 4.31. Временные сейсмические разрезы ВСП МОВ.
Скв. Р-315. Западно-Полуденная площадь.

Отражающие горизонты: IIa – подошва баженовской свиты (верхняя юра), III – низы покурской свиты (нижний мел)

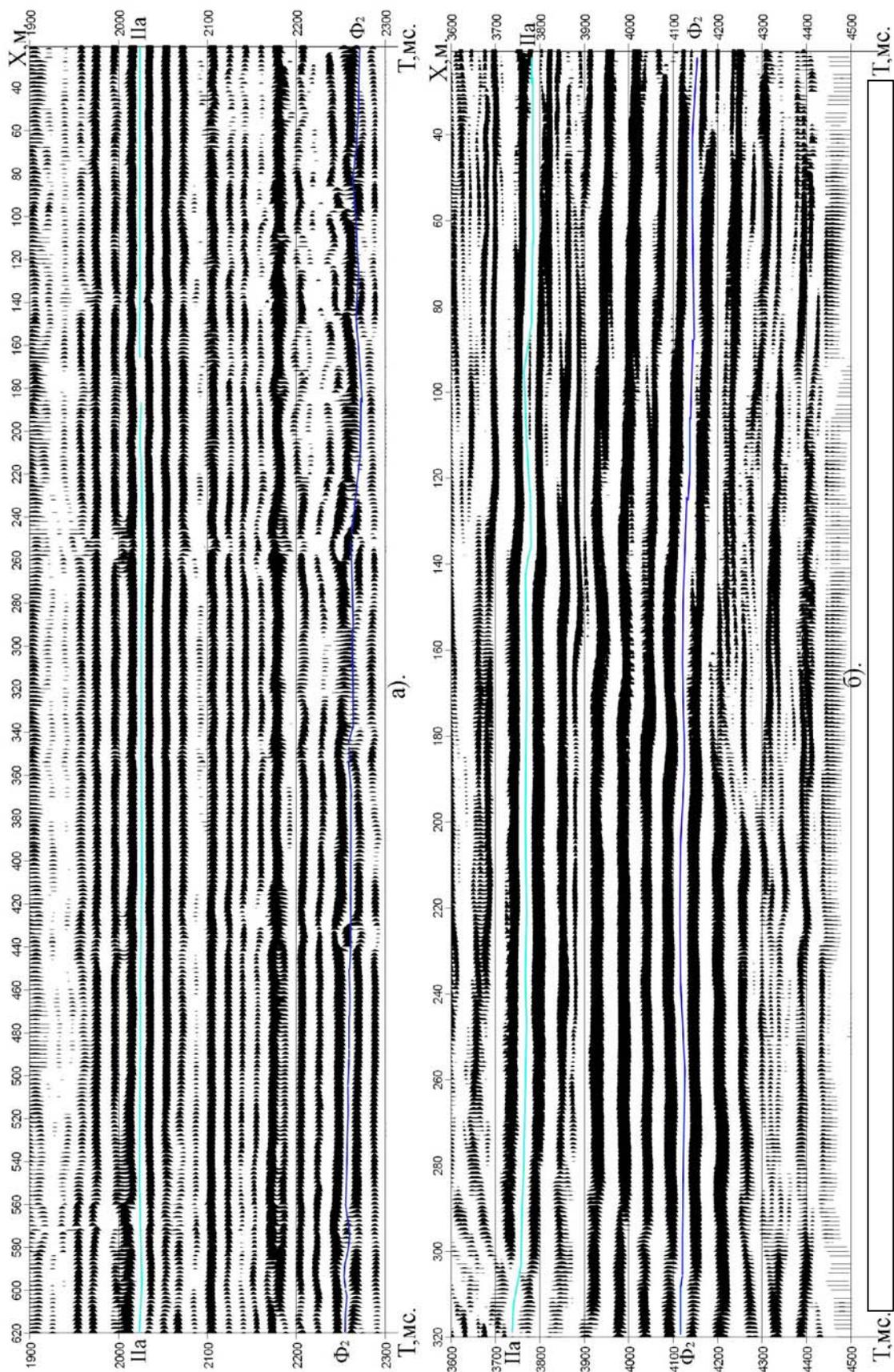


Рис. 4.32. Временные сейсмические разрезы ВСП МОВ по продольным (а) и обменным (б) отраженным волнам. Скв. Р-42 Солоновская площадь

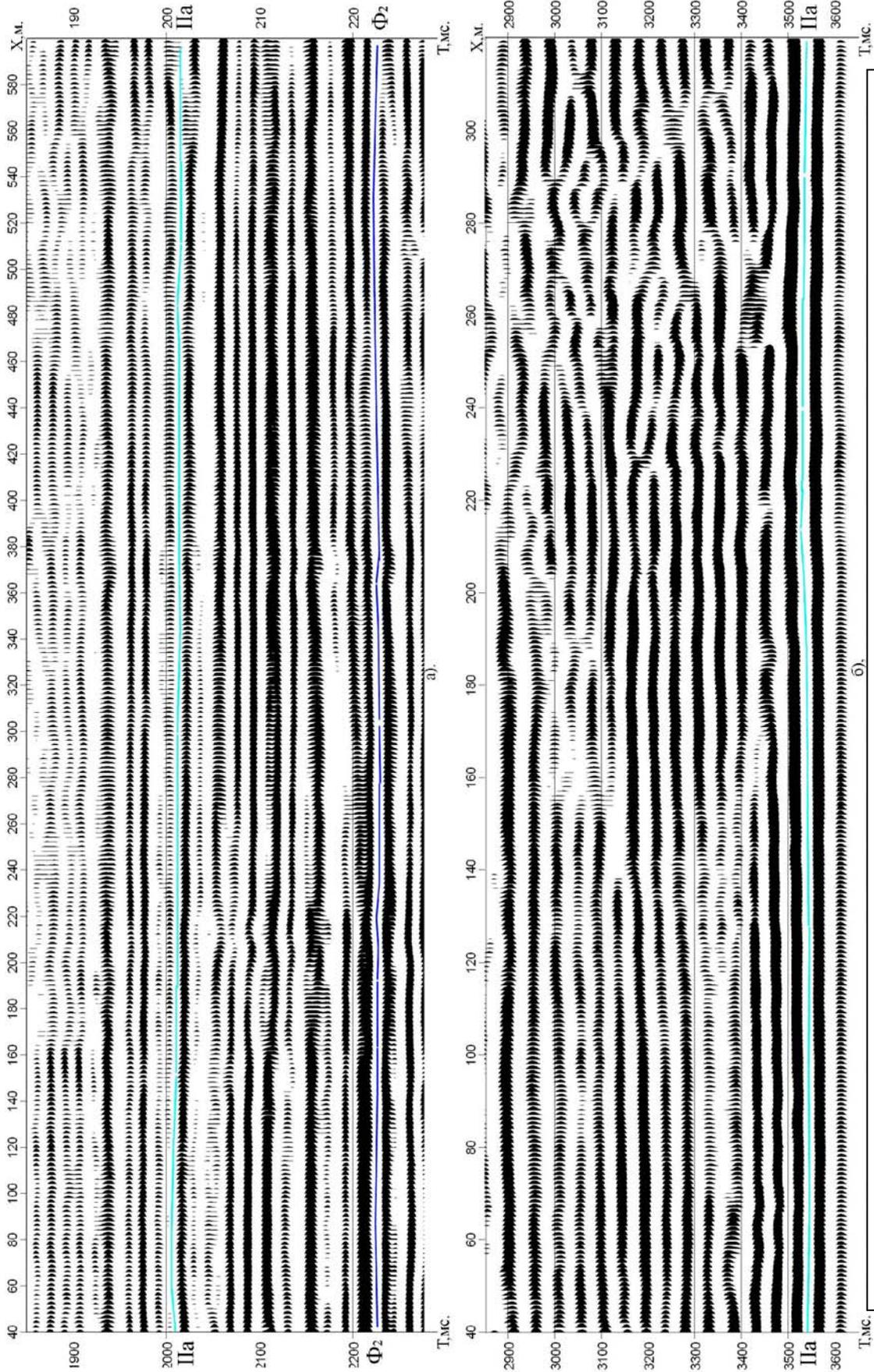


Рис. 4.33. Временные сейсмические разрезы ВСП МОВ по продольным (а) и обменным (б) волнам. Скв. Р-453 Останинская площадка

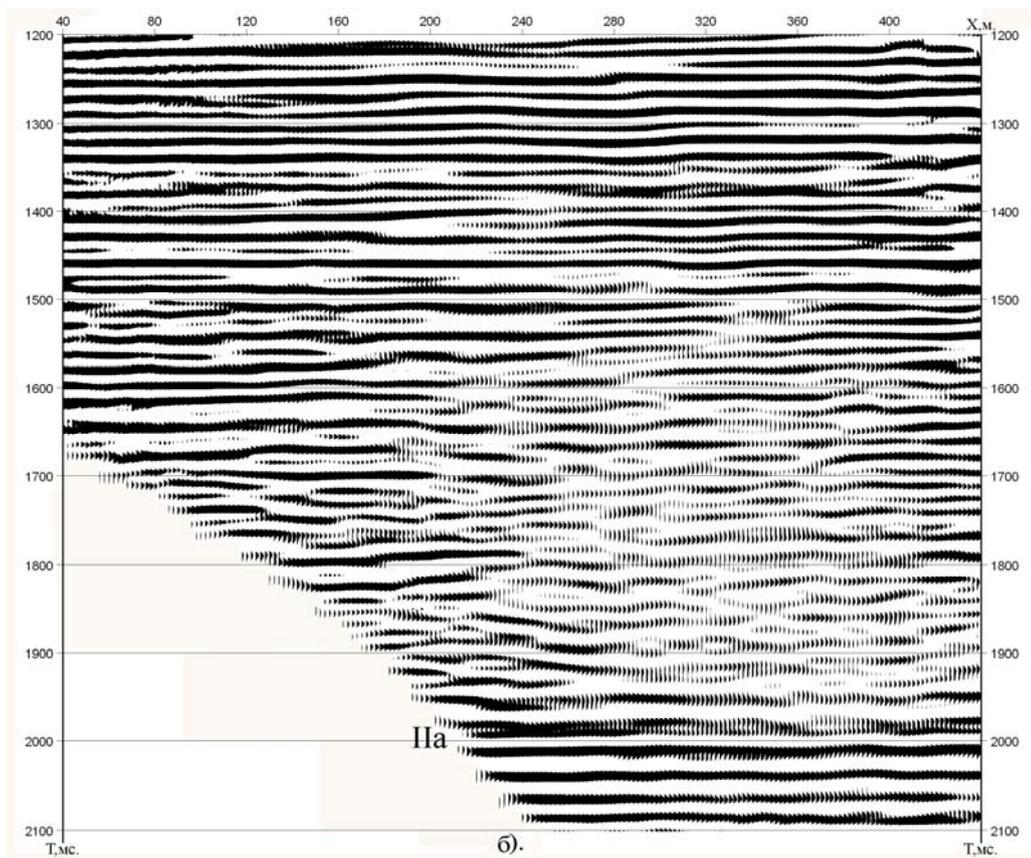
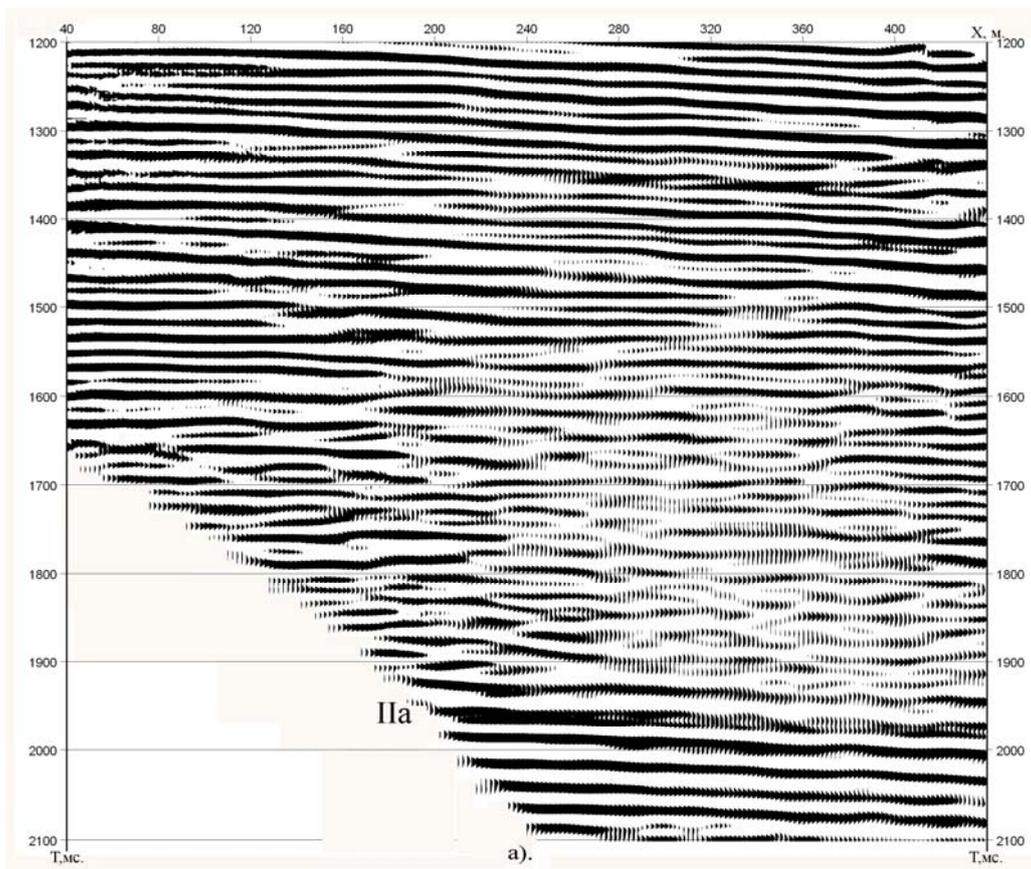


Рис. 4.34. Временные сейсмические разрезы до учета (а) и после учета (б) инклинометрии. Скв. Р-534 Западно-Полуденная, ПВ2

Получение фонтанного притока из трещиноватых пород доюрского основания и проявление их в волновом сейсмическом поле ВСП и ОГТ в виде разрушенной записи отражающего горизонта Φ_2 послужили основанием для рекомендации картирования в пределах Солоновской площади с помощью сейморазведки в первую очередь зон с повышенной тектонической трещиноватостью, предпосылки к выявлению залежи УВ в которых наиболее реальны.

На рис. 4.33 демонстрируется (без комментариев) временные разрезы по продольным и обменным волнам, построенные по данным ВСП в скважине Р-453- Останинской. Разрезы характеризуются устойчивым прослеживанием отражающих горизонтов.

На рис. 4.34 показана работа программы учета инклинометрии скважины. Не учет отхода скважины от вертикали приводит к ложному представлению о наклонном залегании отражающих горизонтов (а). После учета искривления скважины отражающий горизонт на временном разрезе принимает реальное положение (б).

ЛИТЕРАТУРА

1. Баянов А.С. Методика и результаты комплексного применения продольных и обменных отраженных волн в Пудинском нефтегазоносном районе Томской области. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. – Томск, 1989.
2. Баянов А.С., Болгова Е.Ф. Отчет о результатах сейсмических наблюдений методом ВСП в скважине № 3 Северо-Фестивальной площади. ООО «Томская Геофизическая Компания», Томск, 2005 г.
3. Баянов А.С., Болгова Е.Ф. Отчёт о результатах проведения геофизических работ методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в разведочной скважине № 453 – Останинской, договор от 24-04/06 с ОАО «Томскгазпром» для ОАО «Томскгазпром». ООО «Томская Геофизическая Компания», Томск, 2006.
4. Баянов А.С., Болгова Е.Ф. Отчет о результатах проведения геофизических работ методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в параметрической скважине Восток-1, договор 142/06 от 23 мая 2006 г. с ЗАО «Нефтепромбурсервис». ООО «Томская Геофизическая Компания», Томск, 2006.
5. Баянов А.С., Болгова Е.Ф. Отчет о результатах проведения геофизических работ методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в параметрической скважине Восток-3, договор 143/06 от 23 мая 2006 г. с ЗАО «Нефтепромбурсервис». ООО «Томская Геофизическая Компания», Томск, 2006.
6. Баянов А.С., Болгова Е.Ф. Отчет о результатах проведения геофизических работ методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в скважине Р-200 – Герасимовская, договор № 04-07/06 от 04.07.06 г. с ООО «Томскгазпром-геофизика». ООО «Томская Геофизическая Компания», Томск, 2006.
7. Баянов А.С., Болгова Е.Ф. Отчет о результатах проведенных геофизических работ методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в скважине Р-501 Чкаловская, договор № 25-10-06 от 25 ноября 2006 г. с ЗАО «Нефтепромбурсервис». ООО «Томская Геофизическая Компания», Томск, 2007.
8. Баянов А.С., Степанов Д.Ю. Методика построения и особенности временных разрезов по данным ВСП. Сб. Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях: Материалы всероссийской научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения основателя Сибирской школы геофизиков. – Томск: Из-во ТПУ, 2003. – С. 77–80.
9. Больших С.Ф., Горбатова В.П., Давыдова Л.Н. Изучение кинематических и динамических характеристик отраженных и головных волн на моделях слоистых сред // Прикладная геофизика. – Вып. 30. – Гостоптехиздат, 1961.
10. Гальперин Е.И. вертикальное сейсмическое профилирование. Издание второе, переработанное. – М. «Недра», 1982.
11. Сейсморазведка. Справочник геофизика / под редакцией д-ра тех. наук И.И. Гурвича, канд. тех. наук В.П. Номоконова. – М.: «Недра», 1981.
12. Shanks J.L., Treitel S., Frasier C.W. Some aspects of fan filtering // Geophysics. – 1967. – V. 32. – № 5. – P. 789–800.

Учебное издание

БАЯНОВ А.С.
МЕРКУЛОВ В.П.
СТЕПАНОВ Д.Ю.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Научный редактор
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры геофизики Института геологии и нефтегазового дела ТПУ
М.М. Немирович-Данченко

Компьютерная верстка *К.С. Чечельницкая*
Дизайн обложки *О.Ю. Аршинова*

Подписано к печати 25.07.2011. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 11,63. Уч.-изд. л. 10,52.
Заказ ___-11. Тираж 35 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru