

Опыт проведения исследований на нефтегазовых месторождениях с использованием многокомпонентной регистрации сейсмических данных

В.И. Кузнецов, Г.В. Волков, В.З. Кокшаров, ОАО «Тюменнефтегеофизика», г. Тюмень

Результативность сейсморазведки определяется возможностью анализа волновых полей, типом и параметрами волн, используемых при интерпретации. Для увеличения эффективности сейсмических исследований и получения наиболее полных сведений о среде необходима совместная обработка и интерпретация волн разных типов. Такое комплексирование получило название многоволновой сейсморазведки (МВС), в основе которой заложен скалярный подход к выделению волн различной поляризации. Современные мировые тенденции развития сейсморазведки указывают на то, что при решении многих геологических задач эффективным может оказаться совместное использование волн с различным типом поляризации колебаний: продольных, поперечных и обменных.

Преимущества совместного использования продольных и поперечных волн связаны с возможностью более достоверного определения свойств пород, прогноза литологии, выявления трещиноватости, оценки свойств флюидов по всему месторождению.

В связи с невозможностью по экономическим и технологическим причинам проведения в настоящий момент работ с направленными источниками становится актуальной задача поиска других, альтернативных методов изучения упругих свойств горных пород. Одним из таких перспективных направлений является применение обменных PS-волн, для возбужде-

ния которых могут быть использованы те же ненаправленные источники, что и для продольных, и которые, по опыту сейсморазведочных работ, имеют достаточную интенсивность.

Предпосылками для использования обменных PS-волн являются особенности геологического разреза, характеризующегося наличием контрастных акустических границ и пространственный анализ волновых полей, наблюдаемых во внутренних точках среды на материалах трехкомпонентного ВСП (рис. 1). Принципиальным отличием трехкомпонентной регистрации является использование для анализа волнового поля частоты, поляризации колебаний и направления распространения волн.

Повышенный интерес к трёхкомпонентным наблюдениям обусловлен тем, что они дают не только опорную информацию для корректной интерпретации сейсмических материалов, но в ряде случаев используются и для непосредственного решения литологостратиграфических и промысловых задач изучения продуктивных коллекторов. Установлено, что метод наземной МВС совместно со скважинными сейсмическими наблюдениями (трехкомпонентное вертикальное сейсмическое профилирование – ВСП) может успешно использоваться для решения следующих задач:

1. определение скоростей распространения, частотного состава, затухания и пространственной поляризации продольных (P) и поперечных (S) волн;

2. стратиграфическая привязка отражающих горизонтов на P- и PS- волнах и их отождествление с данными промысловой геофизики (ГИС);

3. изучение геологического строения, физических свойств и напряжённого состояния геологического разреза;

4. прогнозирование характера флюидонасыщения коллекторов по данным коэффициента Пуассона и особенностям динамических характеристик – эффект «яркого» пятна;

5. изучение на поперечных волнах анизотропии геологического разреза, в том числе нефтегазовых коллекторов, с оценкой преимущественной азимутальной ориентации вертикальных трещин, вызванных негидростатичным напряжённым состоянием горных пород, и определение максимальной проницаемости коллекторов;

6. мониторинг изменения физических характеристик нефтяных пластов и контроль процессов разработки нефтегазовых месторождений путём проведения периодических повторных наблюдений методами МВС и ВСП;

7. изучение на трех компонентах волнового поля во внутренних точках среды с целью определения кинематических и динамических характеристик волн различной поляризации и установление их связи с литолого-фацialsными и коллекторскими свойствами продуктивных горизонтов.

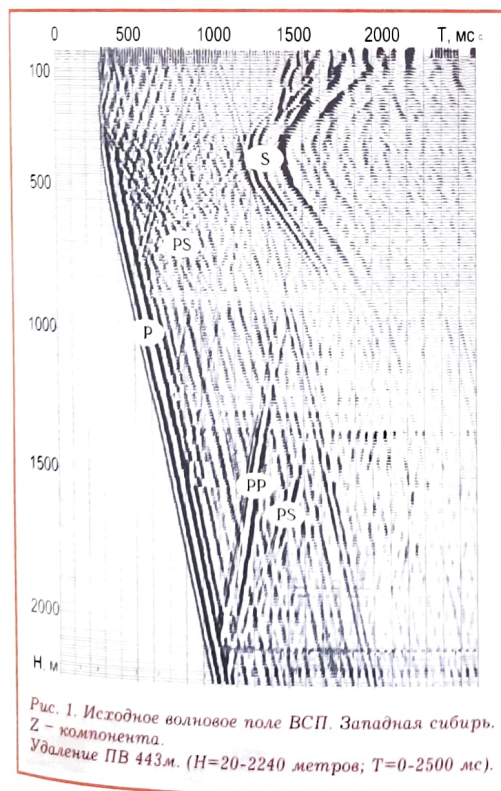


Рис. 1. Исходное волновое поле ВСП. Западная Сибирь. Z – компонента. Удаление ПВ 443 м. (H=20-2240 метров; T=0-2500 мс).

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ...
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Проектирование многоволновой сейсморазведки.

На исследуемом участке проводится комплекс наземных и скважинных наблюдений МВС с использованием всех типов волн: продольных, поперечных и обменных. Общая сложность поставленных задач и новизна используемой аппаратуры требуют проведения достаточно существенного объема опытных полевых работ, обеспечивающих наилучшее возбуждение и регистрацию волн с различным типом поляризации колебаний. При проведении таких работ основное внимание желательно уделить дискретности расстановки, характеристике источника возбуждения упругих колебаний, исследованию свойств верхней части разреза. Скважинные наблюдения должны дать опорную информацию об акустических и поглощающих характеристиках разреза, анизотропии отдельных ее интервалов с оценкой направления преимущественной ориентации трещин.

Для приема упругих колебаний используются трехкомпонентные цифровые сейсмоприемники. Наблюдения проводятся по системе МОГТ. Используется обычно центральная система наблюдений.

Отработка производится различными типами источников: взрыв в скважине, поверхностные вибрационные или импульсные источники. Определение оптимальных параметров этих источников должно быть проведено на участках, характеризующихся различными поверхностными условиями. Оценка эффективности источников должна производиться по анализу интенсивности выделенных после обработки отраженных P- и PS-волн от нескольких горизонтов, зарегистрированных на одиночных сейсмограммах.

Для каждого из источников варьируются их характерные параметры с целью выбора оптимальных условий возбуждения. Для взрывных воздействий определяются оптимальная глубина и вес заряда, а также наиболее эффективные способы их укупорки в скважине.

Для невзрывных импульсных источников варьируются условия их установки, число группируемых источников, расстояние между ними и количество накопленных. Для вибрационных источников — длительность свип-сигнала, граничные частоты и закон изменения частоты излучаемых колебаний, количество вибраторов в группе и расстояние между вибраторами в группе.

Из-за различия в деталях поверхностных и глубинных сейсмогеологических условий возможного района работ конкретные технологические параметры методик могут потребовать существенного уточнения.

Общее представление о последовательности процедур обработки сейсмических данных ЗС дано на рис. 2. Основными этапами обработки являются: создание проекта профиля (ввод полевых данных, присвоение системы наблюдений и топогеодезии); повышение отношения сигнал-помеха сейсмических данных и преобразование формы сигнала (подавление волн-помех и дековолюция); оценка статических поправок; получение суммарных разрезов Z-, X-, Y-

компонент.

Каждая из компонент волнового поля

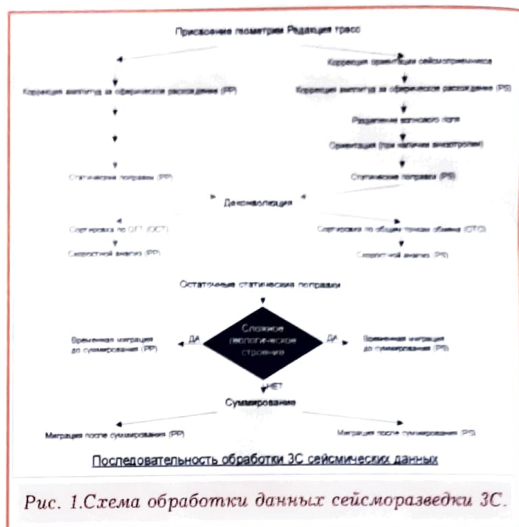


Рис. 1.Схема обработки данных сейсморазведки ЗС.

(горизонтальные и вертикальная) обрабатываются отдельно, поскольку времена регистрации целевых горизонтов и скорости распространения продольных и обменных волн различны. Поэтому, несмотря на общность схемы обработки данных, состав и последовательность использованных для получения суммарных временных разрезов продольных (Z-компонента) и обменных волн (X- и Y-компоненты) отличаются.

Данные, полученные вертикальной (Z) компонентой, обрабатываются на первоначальном этапе исследований, и служат ориентиром для обработки данных, полученных на горизонтальных компонентах.

Полевое оборудование.

Ведущие фирмы-разработчики полевого геофизического оборудования (Input/Output, Sercel) создали сейсмоприемники нового поколения: VectorSeis и DSU3. Цифровые датчики имеют две главные составляющие: компактный силиконовый акселерометр с маленькой инертной массой, подвешенной на миниатюрных пружинах, и специально разработанная управляющая микросхема. Три ортогональные компоненты образуют ядро цифровых сейсмоприемников.

Одной из отличительных особенностей этих сейсмоприемников от ранее и ныне используемых аналоговых электродинамических приборов является цифровой способ передачи информации от трехкомпонентного сейсмоприемника к регистрирующей аппаратуре, что исключает возможность их группирования непосредственно в поле. Отсутствие возможности группирования цифровых сейсмоприемников требует применения меньшего шага их расстановки на профиле с целью повышения эффективности процедур пространственно-временной фильтрации.

Датчики, созданные с применением передовой MEMS-технологии (Micro Electro Mechanical System) в техническом вакууме, по своей физической сути являются акселеромет-

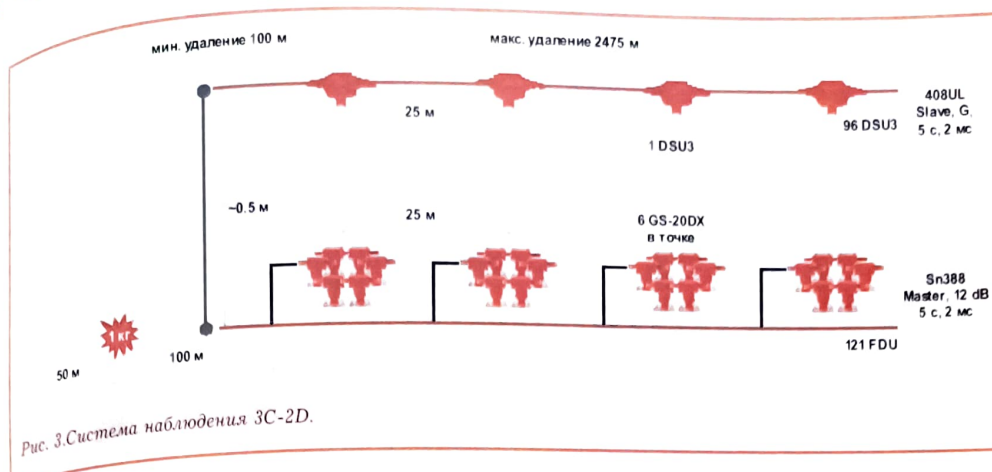


Рис. 3. Система наблюдения 3С-2D.

рам. Широкий динамический диапазон принимаемых колебаний среды обеспечивает компенсационный принцип измерения. Технологии MEMS обеспечивают получение амплитудно- и фазо-частотных характеристик при приеме сигнала принципиально нового качества и полную (23 разряда + знак) цифровую передачу данных.

Примеры проектов 2D-3С, выполненных ОАО «Тюменнефтегеофизика»

Бахилковский проект.

При выполнении тестового сейсмического профиля 2D на Бахилковском месторождении выполнено сопоставление цифровых 3С датчиков DSU3 со стандартными электродинамическими сейсмодатчиками. Система полевых наблюдений 3С-2D приведена на рис. 3.

Сравнение сейсмических данных по Z-компоненте (Р-волны) послужило доказательством двух основных преимуществ новой технологии цифровой регистрации. Во-первых, благодаря полной цифровой передаче данных от датчика в центральный блок телеметрической системы отсутствует шум. Во-вторых, улучшенные амплитудно-частотные характеристики акселерометра DSU3 позволяют регистриро-

вать энергетически более выраженную высокочастотную составляющую упругих колебаний.

В рамках проекта дополнительно выполнены сейсмические исследования по методике ВСП. Проведена обработка данных ВСП в многоволновой модификации. Результатами обработки являются выделенные волновые поля отраженных продольных РР и обменных PS волн. Также получено распределение комплексного параметра γ , который использовался для последующей обработки наземных 3С сейсмических данных.

Волновая картина по Р-компоненте и R-компоненте ПВЗ представлена на рис. 4. ВСП выполнено в скважине Бахилковская № 5, удаление ПВ от устья скважины составляет 1600 м. Сейсмограммы Р- и R-компонент, изображенные на рисунке представляют собой результат ориентации в направлении источник-приемник и получены путем анализа вектора смещения прямой продольной волны. На сейсмограммах представлены продольные Р и поперечные S падающие и отраженные, а также проходящие и отраженные обменные PS-волны.

В результате обработки получены трассы коридорного суммирования РР- и PS-волн

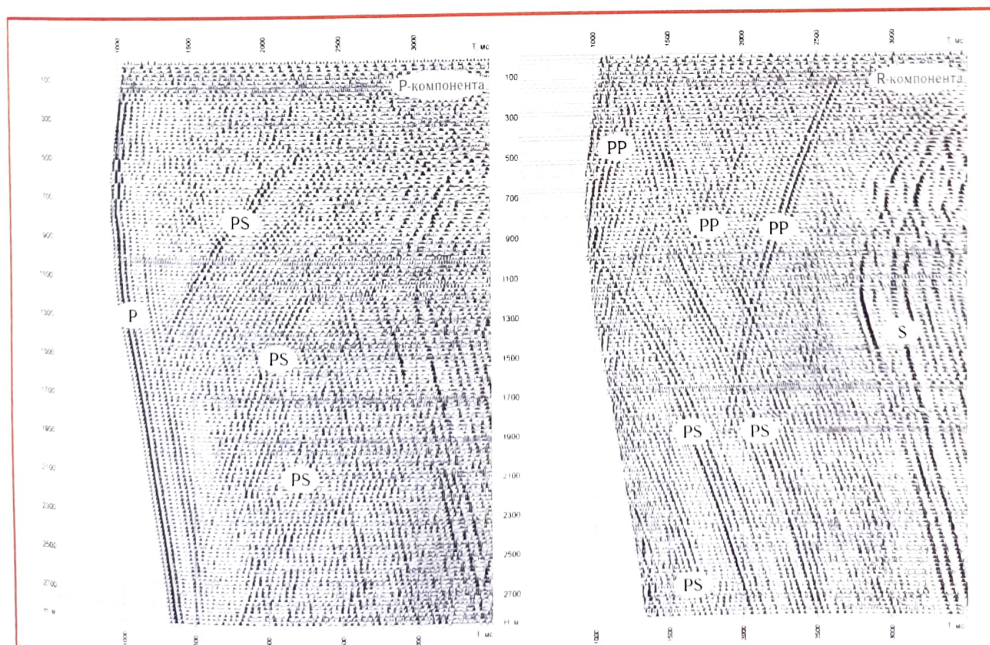
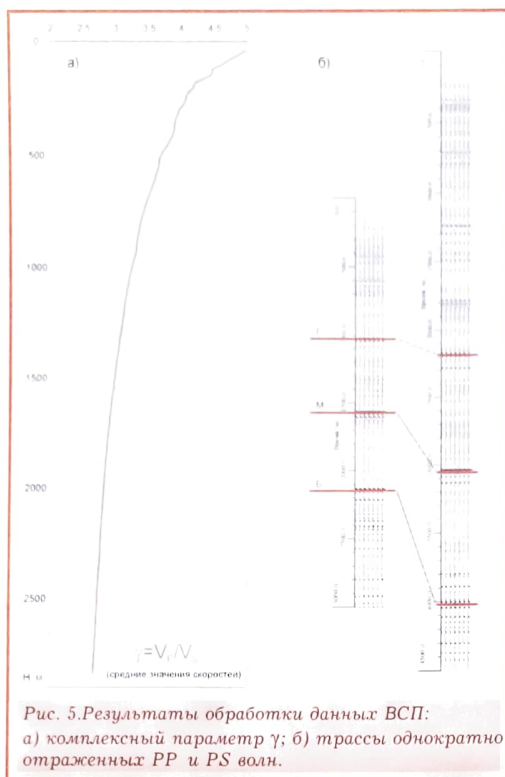


Рис. 4. Исходные волновые поля ВСП. Скважина Бахилковская № 5, ПВЗ. Западная Сибирь

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ



(рис.5), которые служат для привязки данных ВСП к данным наземной сейсмики. Используя информацию о скоростях распространения продольных и поперечных волн, рассчитывается отношение скоростей $\gamma = V_p/V_s$.

Экспериментальные данные многокомпонентного ВСП, полученные на Бахилловской площади, и данные математического моделирования (рис.6) показывают, что на всех основных отражающих горизонтах возникают интенсивные отраженные обменные волны. Данное обстоятельство создает перспективы для совместного использования продольных и обменных (поперечных) волн при решении сложных геологических задач.

На рис.7 представлены исходные сейсмограммы z-, x- и y- компонент общего пункта возбуждения, зарегистрированные трехкомпонентными датчиками DSU3. Компоненты цифрового датчика взаимно-ортогональные: z-компонента направлена вертикально вниз, x-компонента направлена горизонтально и совпадает с направлением по профилю (in-line), горизонтальная y-компонента направлена ортогонально компонентам z и x.

Амплитудные спектры полного волнового поля по z и x компонентам представлены на рис.8.

Значительная часть сейсмограмм осложнена интенсивными приповерхностными волнами. Отсутствие группирования приемников приводит к существенному уровню шума на временах регистрации целевых горизонтов.

Характер сейсмической записи на горизонтальных компонентах отличается от волновой картины на компоненте z. Можно отметить более высокий уровень помех и кинематическое разнообразие регистрируемых волн. Частоты на горизонтальных компонентах ниже и кроме наложения прямой и поверхностной волн на

обменные PS, волновую картину усложняют головные S и монотипные P и S волны. Общий уровень записи на y-компоненте ниже, чем на x-компоненте.

Данные, полученные вертикальными (z) электродинамическими геофонами, были обработаны на первоначальном этапе исследований, и послужили ориентиром для обработки трехкомпонентных данных. Полученные скорости суммирования, статические поправки, а также окончательный суммарный разрез явились важными критериями для сопоставления разных технологий регистрации сейсмических данных и подтверждением корректности использования цифровых акселерометров DSU3. На рис.9 дано сравнение временных разрезов по z-компоненте, полученных при регистрации на цифровые (б) и аналоговые (а) сейсмоприемники.

Хорошо известно, что для обменных волн при фиксированном расстоянии источник-приемник, положение точки обмена изменяется с глубиной. Ввиду несимметричного хода падающего и отраженного лучей обменной PS-волны точка отражения-обмена смещается от средней точки в сторону ПП. Для того чтобы корректно строить изображение среды, необходимо рассчитать смещение точек обмена при формировании сейсмограмм ОТО и последующем суммировании. С помощью процедуры асимптотического бинирования для горизонтальных компонент реализована несимметричная выборка трасс.

На рис.10 дано сопоставление временных разрезов продольных PP- и обменных PS- волн. Для объективного сравнения PS разрез визуально сжат по оси времени в два раза, тем самым имитируется наличие постоянного по глубине соотношения скоростей продольных и поперечных волн. Частотный диапазон по двум разрезам заметно отличается. Очевидно, что коэффициенты отражения на одних и тех же геологических границах для продольных и обменных волн различны. Следовательно, волновая картина для одного и того же интервала разреза энергетически разнообразна. Следует обратить внимание на интервал 1600-2000 мс и 3200-3900 мс временных разрезов продольных и обменных волн соответственно. «Немая» часть временного разреза полученного по PP- волнам, совсем иначе проявляется на разрезе PS- волн. Несмотря на это, наблюдается общая корреляция по основным отражающим горизонтам.

По данным обменных PS-волн на Бахилловском месторождении, с целью прогноза направления преимущественной трещиноватости выполнен анализ анизотропии геологического разреза. Цель работы – проведение поляризационного анализа обменных PS-волн и определение азимутально анизотропных интервалов разреза, а также определение параметров анизотропии и прогноз направлений преимущественной трещиноватости по разрезу.

Анализ поляризации был проведен по горизонту Б в окне 400 мс, что позволило разделить быстрые и медленные поперечные волны во всем исследуемом интервале. Сейсмограммы разделенных отраженных волн приведе-

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

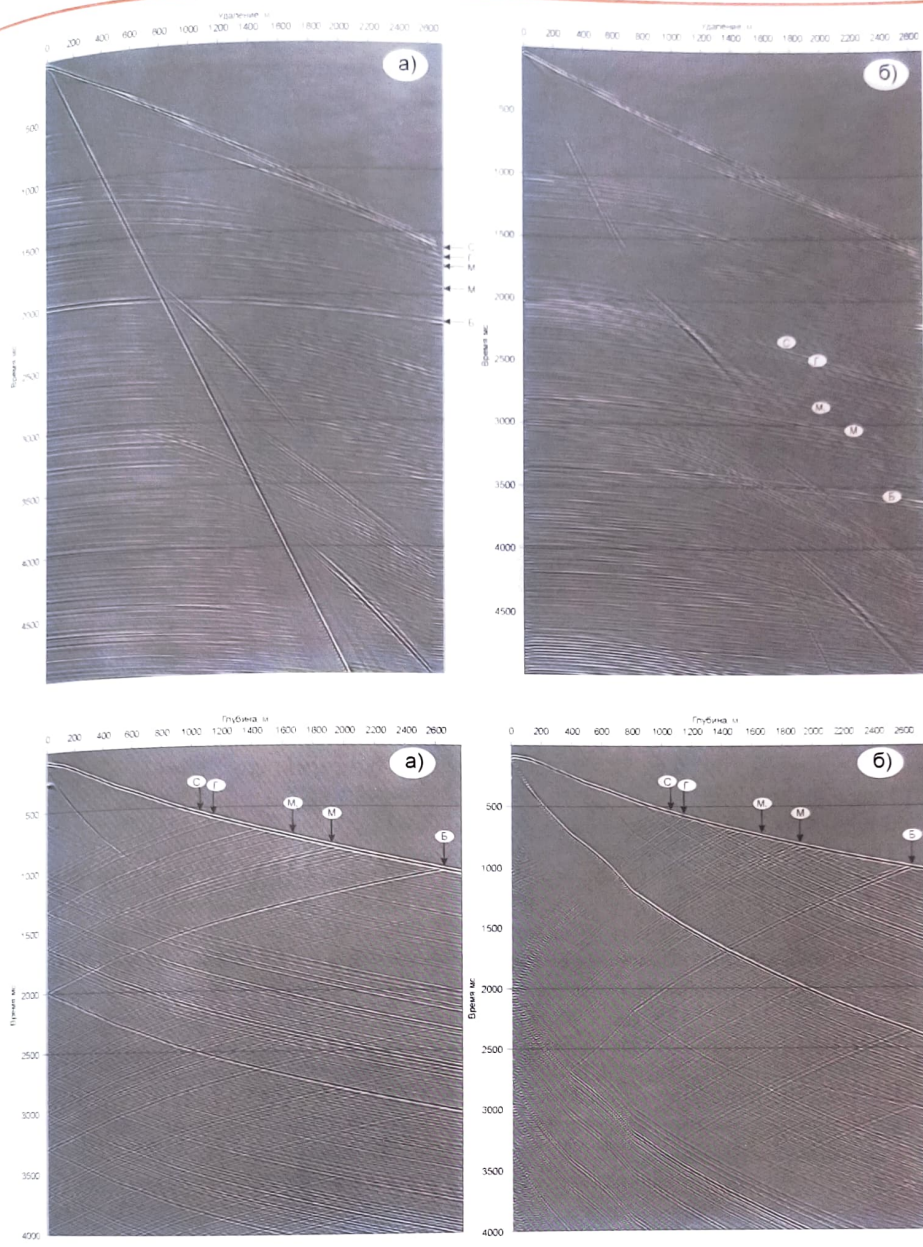


Рис. 6. Синтетические сейсмограммы: 1. МОВ ОГТ, 2. ВСП: а) вертикальная компонента; б) горизонтальная компонента.

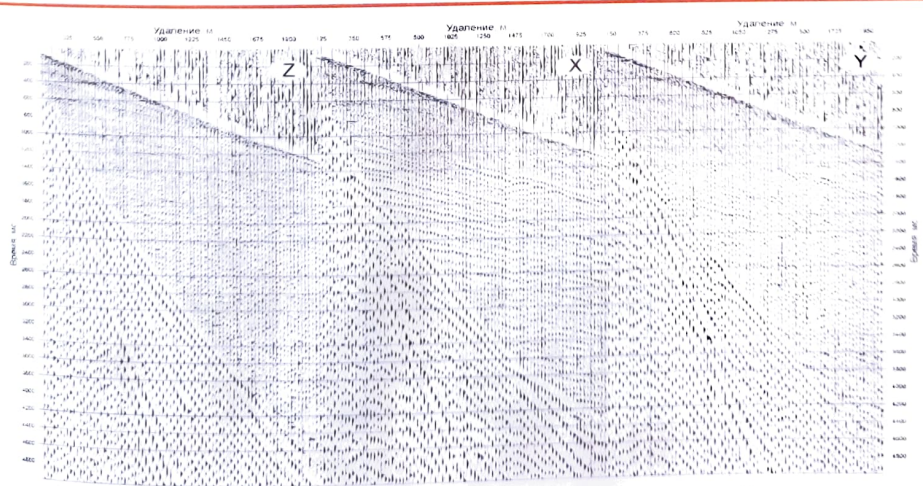
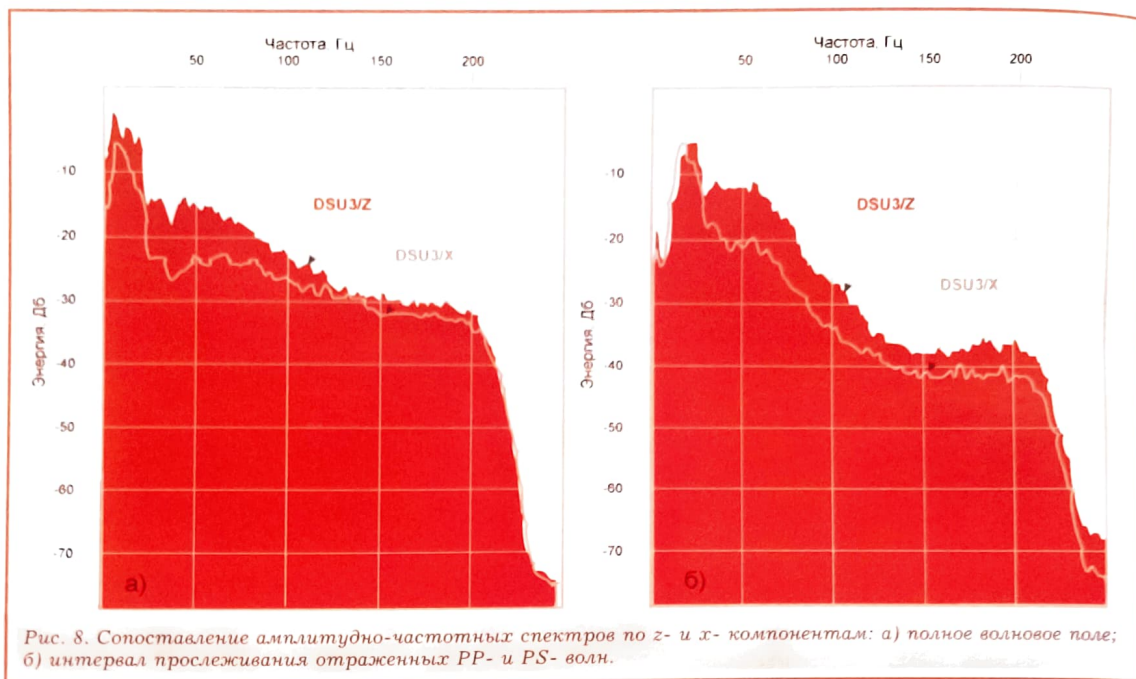


Рис. 7. Исходная сейсмограмма общего пункта взрыва. Z-, X-, Y- компоненты.



ны на рис.11. Графики направления поляризации быстрой поперечной волны и разности времён регистрации быстрой и медленной волны приведены на рис.12.

Проведённые работы позволяют однозначно установить наличие азимутально анизотропных свойств в исследуемом разрезе, вероятно, вызванных наличием направленной трещиноватости, причём распределение параметров анизотропии носит, видимо, блоковый характер.

Одной из наиболее важных возможностей многоволновой сейсморазведки является непосредственное определение одного из упругих модулей горной породы – коэффициента Пуассона σ . Этот параметр в совокупности с V_p и V_s позволяет полнее прогнозировать свойства геологического разреза.

По результатам многоволновых исследований на Бахилловском месторождении выделена аномалия коэффициента Пуассона в интервале юрских отложений ($H=2900-3200$ м, $CDP=4070-4300$) (Рис.13). Этот интервал по данным бурения соответствует зоне нефтегазонасыщения. Полученный результат демонстрирует перспективность использования многоволновой сейсморазведки для решения задачи оценки характера насыщения коллекторов.

Ольшанский проект.

Согласно программе опытно-методических полевых работ по теме: «Экспериментальные исследования возможностей многоволновой сейсморазведки (МВС)» на Ольшанском месторождении были проведены многоволновые исследования в наземной и скважинной модификациях.

Административно Ольшанская площадь располагается в Оренбургской области. Собственник-недропользователь – ОАО «Оренбургнефть».

В пределах Ольшанской площади отработано 2 наземных профиля общей протяженностью 29 км (ПР2 и ПР5). При регистрации сейсмичес-

кого материала использовалась многоканальная телеметрическая станция SN408. Регистрация упругих колебаний осуществлялась одиночными трехкомпонентными акселерометрами DSU3. Шаг дискретизации при регистрации составляет 1 мс, длина записи – 8.0 с.

Наблюдения проводились по системе МОГТ. Использовалась центральная асимметричная (ПР 5) и фланговая (ПР 2) системы наблюдений с максимальным удалением 3770 м и 3990 м. Пункты возбуждения располагались с шагом 20 метров, расстояние между пунктами приема 10 метров ($\Delta PP=10$ м, $PB=20$ м). Средняя кратность перекрытий по общей средней точке составила 80 (PP-волны).

Источники сейсмических колебаний – вибрационные источники KZ-23A. Длительность свип-сигнала составляла 8 с, граничные частоты – 8-90 Гц, закон изменения частоты излучаемых колебаний – линейный, количество вибраторов в группе – 4 единицы, группа – линейная.

Сейсмогеологические условия в пределах выбранного полигона типичны для Оренбургской области. Зона малых скоростей отличается значительной вертикальной и латеральной изменчивостью упругих свойств со значениями скоростей $V_p=500-1000$ м/с. Её мощность изменяется от 5 до 45 м. Скорость в подстилающих породах от 1400 до 2600 м/с. Для геологического разреза до глубин ~1500 м характерен вертикальный градиент скоростей $V_p=1800-6000$ м/с и $V_s=700-3500$ м/с. Далее поведение скоростей достаточно стабильное, за исключением отдельных интервалов.

На рис.14 представлены исходные сейсмограммы Z-, X- и Y- компонент общего пункта возбуждения (ОПВ), зарегистрированные трехкомпонентными акселерометрами DSU3.

В полосе частот – 10-35 Гц амплитудно-частотные характеристики волновых полей, зарегистрированных на компонентах Z и X, практически не различаются. Основное отличие проявляется для более высокой полосы частот.

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

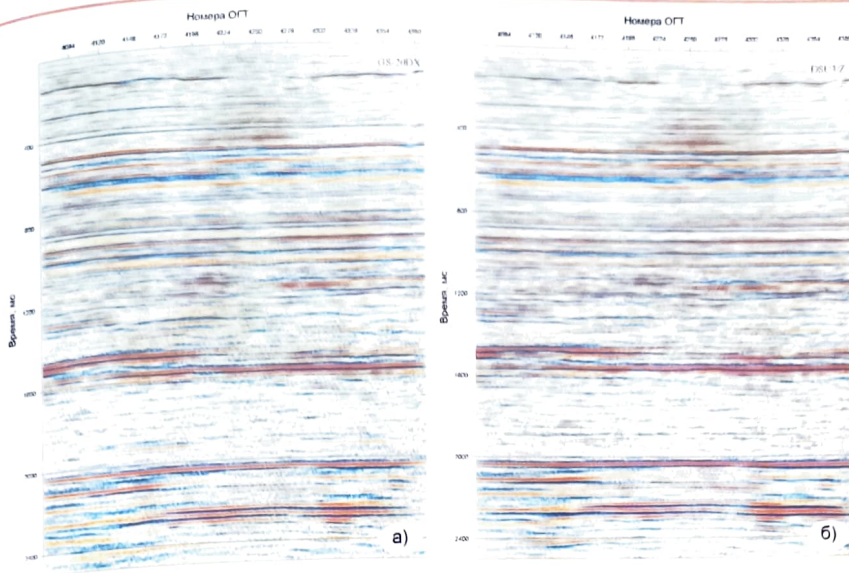


Рис. 9. Временные разрезы по профилю 2D-3C: а) Z- компонента (GS-20DX); б) Z- компонента (DSU3/Z).

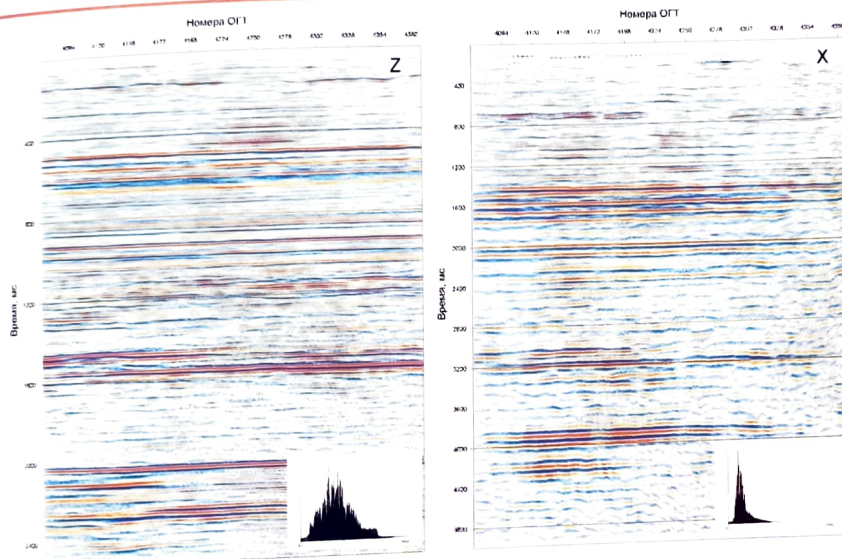


Рис. 10. Временные разрезы по профилю 2D-3C: Z- компонента (PP волны); X- компонента (PS волны).

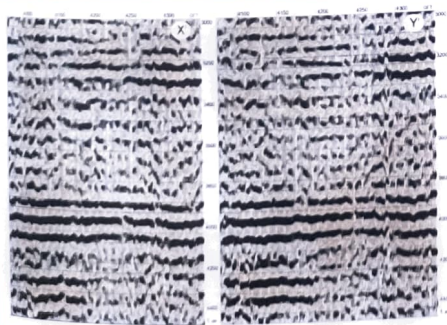


Рис. 11. Фрагменты временных разрезов X'- и Y'-компонент, ориентированных в интервале 3900-4300 мс по вектору смещения быстрой и медленной S- волн.

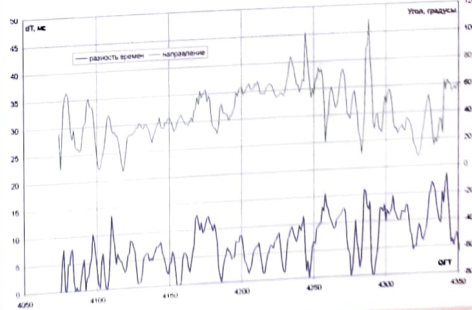


Рис. 12. Графики направления поляризации быстрой поперечной волны и разности времён регистрации быстрой и медленной волн.

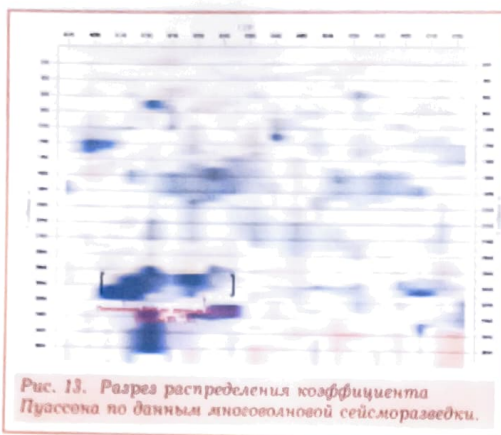


Рис. 13. Разрез распределения коэффициента Пуассона по данным многоволновой сейсморазведки.

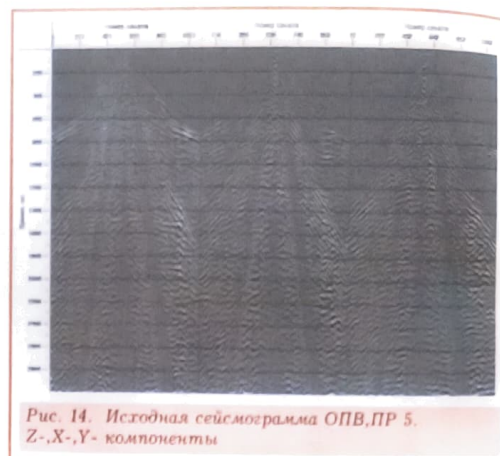


Рис. 14. Исходная сейсмограмма ОПВ.ПР 5. Z-, X-, Y- компоненты

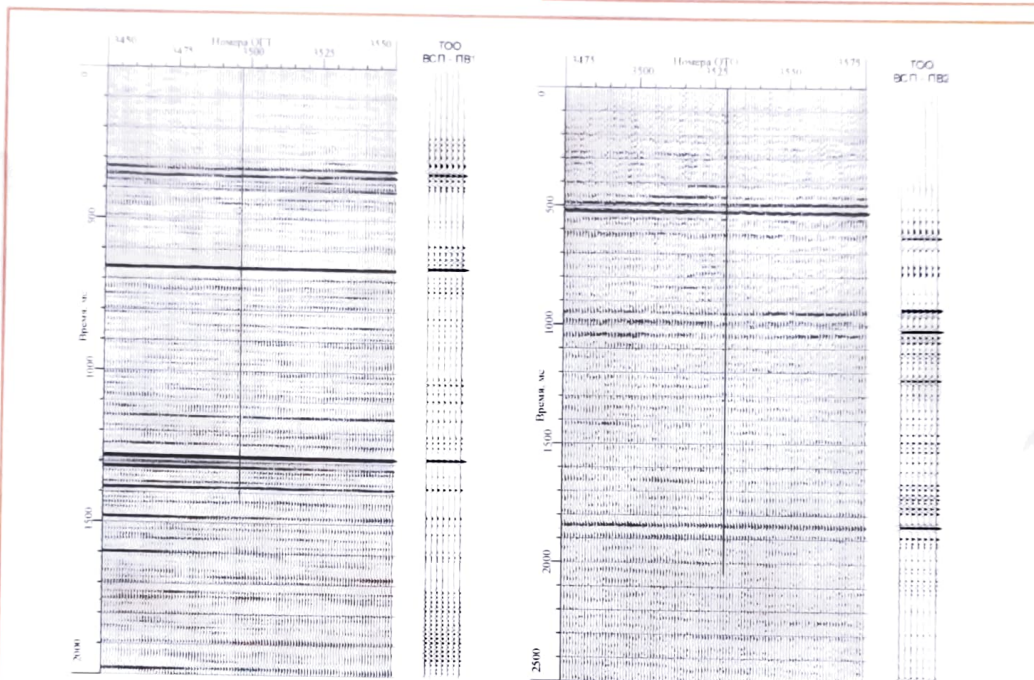


Рис. 15. Сопоставление фрагментов временных разрезов по ПР 5 с траассами однократных отражений ВСП. 1. PP- волны; 2. PS- волны.

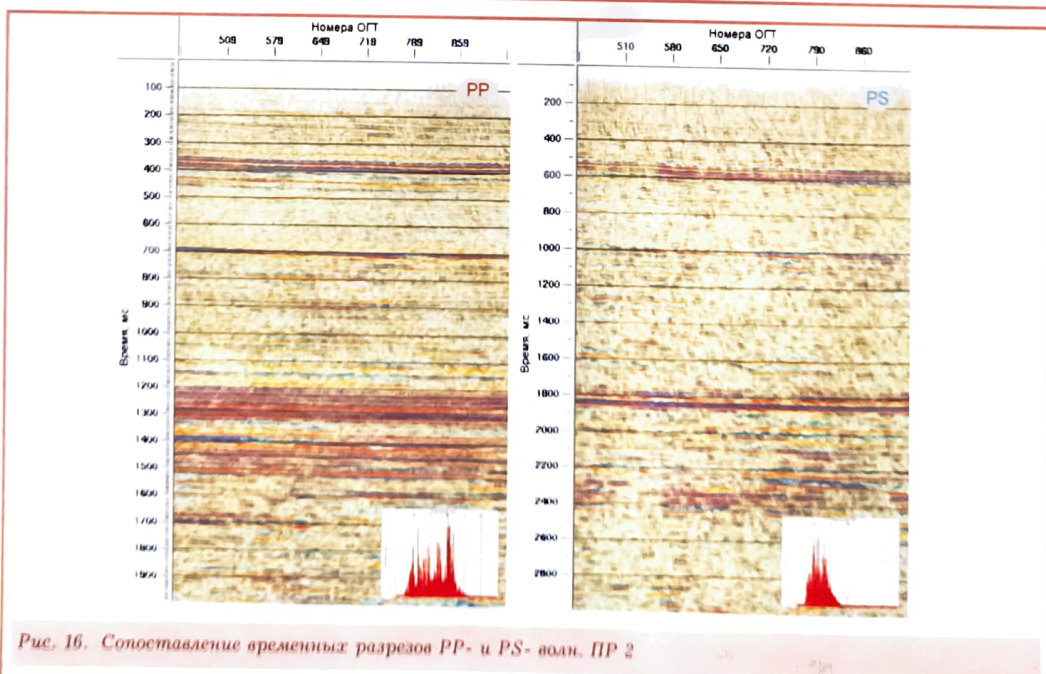


Рис. 16. Сопоставление временных разрезов PP- и PS- волн, ПР 2

Очевидно, что высокочастотная часть записи вертикальной компоненты энергетически выражена сильнее, чем для горизонтальной компоненты.

Окончательные временные разрезы для Z-компоненты были получены суммированием по методу общей глубинной точки ОГТ, а для X- и Y-компонент суммированием по общей точке обмена ОТО. Характер волновой картины по временному разрезу X-компоненты в общих чертах повторяет волновую картину на PP-волнах.

Несмотря на относительную доступность отождествления устойчивых волн разных типов, в большинстве случаев очень важно иметь прямые данные о правильности привязки к геологическим границам (интервалам разреза). На рис.15 приведено сопоставление данных наземных сейсмических исследований с результатом обработки данных ВСП.

На рис.16 дано сопоставление временных разрезов продольных PP- и обменных PS- волн. Для объективного сравнения PS разрез визуально сжат по оси времени в полтора раза. Частотный диапазон по двум разрезам заметно отличается.

Результаты обработки трехкомпонентных данных по Ольшанскому проекту можно оценить как успешные. Отработаны элементы проведения многоволновых исследований. Создан граф обработки многокомпонентных данных. Результаты опробования демонстрируют возможность выполнения обработки в программном комплексе ProMAX.

Выводы и рекомендации.

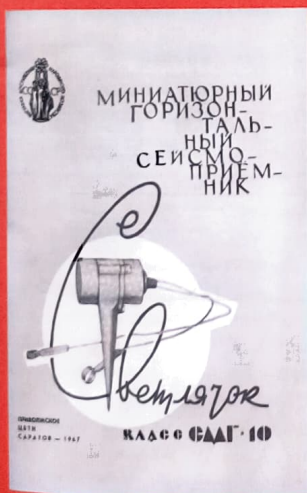
Развитие метода поперечных и обменных волн было начато и продолжается в настоящее время под влиянием расширения круга задач, решаемых сейсморазведкой, одновременно с повышением их сложности. Формируется направление многоволновой сейсморазведки — совместное использование волн, различающихся типом поляризации, по относящихся к одним и тем же исследуемым объектам. В рамках этого направления удаётся повысить достоверность исследования объектов и решать новые геологические задачи на основе изучения особенностей поведения параметра $\gamma = VS/VP$ и изучения параметров анизотропии в интервалах залежи.

Внедрение и методическое развитие ЗС наблюдений МОВ ОГТ создает хорошие перспективы для оптимизации разработки залежей и поиска новых высокопродуктивных объектов. Технологичность этого направления методики сейсморазведочных работ определяется возможностью регистрации продольных и обменных (поперечных) волн цифровыми датчиками.

Использование трехкомпонентных сейсμοприемников позволяет получать гораздо больший объем сейсмической информации, регистрировать полное волновое поле и тем самым корректнее определять упругие свойства горных пород. Применяя для возбуждения упругих колебаний стандартный источник возбуждения Р-волн, можно регистрировать и, соответственно, обрабатывать волны, различающиеся типом поляризации, но относящихся к одним и тем же исследуемым объектам.

ВИРТУАЛЬНЫЙ ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ

СЕЙСМОПРИЕМНИК СВЕТЛЯЧОК



ЭКСПОНАТ № 01/2007

В 1967 году началось массовое внедрение во все геофизические организации СССР миниатюрных сейсμοприемников СВЕТЛЯЧОК для регистрации вертикальных (СМВ-15, СМВ-20, СМВ-30) и горизонтальных (СМГ-10) составляющих отраженных волн при проведении полевых сейсморазведочных работ. Эти сейсμοприемники разработало Специальное конструкторское бюро сейсмического приборостроения (г.Саратов). Преимуществами новой конструкции сейсμοприемника СВЕТЛЯЧОК стали: унификация основных деталей и узлов для СП с различной собственной частотой, высокая стабильность в работе и устойчивость к тряске, повышенный гарантийный срок службы (2 года), а так же весьма малые габариты и вес (100 г.), значительно облегчающие эксплуатацию в полевых условиях.

Экспонат предоставлен в виртуальный геотехнический музей З. Никоноровой (ОАО "СКБ СП", г. Саратов)