

ООО «ТНГ- Групп» предлагает решение уникальных задач ВСП с помощью современного оборудования Geochain X HP

- Мустафин И.Р., Вильданов Р.В., ООО «ТНГ-Геосейс», г. Бугульма
- Звегинцев А.А., ООО «ТНГ-Групп», г. Бугульма

Работы методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) и его модификациями, ранее известного метода под названием «Сейсмокаротаж», ООО «ТНГ-Групп» успешно выполняет на территориях Российской Федерации и ближнего зарубежья на протяжении уже более пяти десятков лет. Данные работы представляют ценность как для сейсморазведки на этапах разведки и доразведки месторождений полезных ископаемых, являются обязательным этапом строительства разведочных скважин, имеют самостоятельное значение при разработке и эксплуатации залежей углеводородов и рудных месторождений.

На сегодняшний день от заказчиков работ ВСП, помимо стандартных задач по изучению скоростных характеристик геологического разреза и реконструкции структурных планов в околоскважинном пространстве, поступает значительное количество запросов по оценке и изучению физического состояния горных пород, их упруго-деформационных свойств, прочностных параметров в их естественно-напряжённом состоянии на конкретных месторождениях руды, нефти и газа. Однако, при этом ТЗ на проведение работ ВСП остается чаще всего неизменным на протяжении десятка лет. В данной статье мы представляем одно из самых современных аппаратных решений, позволяющее ставить тонкие задачи перед методом ВСП, о которых еще вчера можно было только мечтать.

Современное оборудование от мирового лидера.

Скважинная сейсмическая система Geochain X HP компании «Avalon Sciences Ltd» (ASL), Великобритания, используемая в работах ТНГ, позволяет существенно расширить возможности метода ВСП относительно других приборов, представленных на рынке.



▲ Рис. 1. Общий вид составных частей скважинной сейсмической системы Geochain

Кроме стандартных геологических задач, решаемых ВСП и НВСП (определение скоростной модели среды по разным типам волн, литолого-стратиграфической привязки однократноотраженных волн, определения структурных планов и тектонических нарушений в околоскважинном пространстве), скважинная сейсмическая система Geochain X HP может эффективно применяться для решения геологических задач при различных системах наблюдений:

- прогноз геологического разреза ниже забоя скважины в скважинах с высокими термобарическими условиями – опережающий прогноз акустической жёсткости пород, слагающих геологический разрез под бурящимся забоем скважины, особенно актуален в зонах с АВПД;

- мониторинг сейсмических микропроцессов (МСМ), в том числе и при гидро-разрыве пласта (ГРП) – контроль закачки газа в подземных хранилищах и мониторинг геологических процессов в их контурах, определение направления, протяжённости, высоты и интенсивности образования трещин в результате искусственных воздействий на продуктивные пласты нефтегазовых месторождений;
- определение направления и высоты трещиноватости в продуктивных интервалах в окрестностях скважин;
- уровенное ВСП (Walkaway) – изучение структурных особенностей и параметров анизотропии скоростей;
- круговое уровенное ВСП (Walkaround) – изучение анизотропии и анализа расщепления поперечных волн в трещиноватых коллекторах;
- ВСП-ПИ – локализация и детализация сложнопостроенных объектов и тектонических нарушений;
- 2D+ВСП, 3D+ВСП – методы отличаются высокой пространственной разрешающей способностью, позволяющие выделять более отчётливо малоразмерные объекты со сложным рельефом границ, в т.ч. неструктурного типа;
- проведение работ по межскважинному просвечиванию и межскважинной сейсмотомографии;
- ВСП в наклонных скважинах с получением высокоразрешённых и достоверных данных;
- проведения исследований в скважинах в условиях высоких температур до 195°C и давлений до 170 МПа.

Основные характеристики скважинного оборудования Geochain X HP:

- Количество сегментов – 24 прибора (рис.2;3);
- Длина одного прибора - 884 мм;
- Диаметр прибора - 76 мм;
- Вес одного прибора - 19,0 кг;
- Соотношение силы прижима к весу прибора при Дскв. = 305 мм:

- при номинальной силе тока более, чем 7:1;

- при максимальной силе тока более, чем 10:1;

Максимальный диапазон прижима - до 305 мм со стандартным рычагом или до 559 мм с удлинённым рычагом;

Максимальная температура - непрерывная работа при 195°C;

Максимальное давление - до 1750 ат;

Датчики - 3-х компонентная регистрация геофонами SMC 2400 15Hz, по четыре геофона на каждую компоненту;

Чувствительность – 86 350 В/м/с;

Определение ориентации приборов в скважине: определяется наклон и угол поворота прибора в скважине (рис.5);

Передача данных в реальном времени;

Динамический диапазон -> 112 дБ @ 0 дБ до усиления (минимум);

24-битный дельта-сигма преобразователь;

Усиление - 42-54 dB;

Искажения - <0,02%;

Скорость передачи данных (макс) - 4 Мбит/сек;

Частота дискретизации - 2 мс; 1,5 мс; 1,0 мс; 0,5 мс; 0,25 мс;

Непрерывная запись при пассивном мониторинге и при наблюдениях за результатами ГРП.

Сравнительные технические характеристики аппаратуры Geochain X HP компании «Avalon Sciences Ltd» с оборудованием GeoWave II другого мирового лидера в производстве скважинного

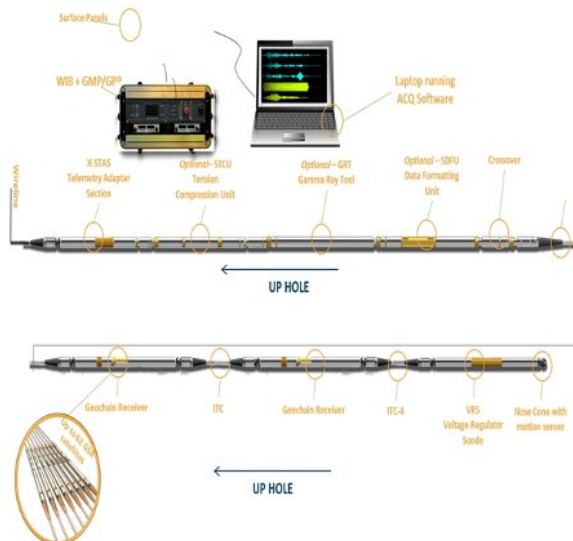
▼ Рис. 2. Вид прибора Geochain X HP.



▼ Табл. 1.

Наименование производителя		Sercel	ASL
Модификация (наименование)		GeoWave II	Geochain X HP
Давление, МПа:	балл:	5	5
		172	175
Максимальная температура, *С :	балл:	5	5
		205	195
Диаметр прибора с башмаками , мм	балл:	4	4
		88	79
Минимальный диаметр скважины (мм):	балл:	4	4
		110	100
Вес прибора, кг:	балл:	4	4
		24	19
Усилие прижима:	балл:	4	4
		6 : 1	7.3 : 1
Разрядность АЦП, бит:	балл:	5	5
		24	24
Тип АЦП:	балл:	5	5
		- - - -	дельта-сигма
Поддерживаемое количество модулей при различных периодах дискретизации (ПД), мс:	балл:	5	4
4		120	62
2		100	62
1		60	60
1/2		40	30
1/4		20	15
Макс. количество модулей в зонде:	балл:	5	4
		120	62
Макс. база зонда, км:	балл:	4	5
		3	12
Количество наземных каналов:	балл:	4	4
		8	16
Регистрация в режиме реального времени:	балл:	5	5
		да	да
Тип регистрации:	балл:	5	5
Короткие записи (стандартное ВСП и т.п.)		да	да
Продолжительная запись (при ГРП и МСМ.)		да	да

Мгновенный динамический диапазон, дБ:	балл:	5	5
при Кус= 0 дБ ПД= 2 мс		127	112
Тип геофонов модуля:	балл:	4	5
		Двойные SGHT-15	4-х составные SMC 2400 15Hz Omni
Чувствительность, В/м/сек (без усилителя):	балл:	4	5
		104	173
Нижняя граница полосы пропускания, Гц:	балл:	5	5
при ПД= 1/4 мс		1,666	1,666
Уровень шумов (отношение амплитуды сигнала к шуму):	балл:	4	4
при Кус= 20 дБ и ПД= 2 мс		> 108 дБ	> 100 дБ
Уровень общих искажений:	балл:	5	5
		0.001%	0.02%
Уровень ослабления перекрестных помех:	балл:	5	5
		> 100 дБ	> 90 дБ
Количество жил корот ажного кабеля:	балл:	4	3
7 жил		да	да
3 жилы		нет	нет
Коаксиальный 1 ж		Доп. опция	нет
Макс. длина кабеля, км:	балл:	4	4
		7	7
Скорость передачи данных, Мбит/с:	балл:	4	5
при длине кабеля 3 км		4.2	4
при длине кабеля 7 км		3	4
Длина межмодульных перемычек, м:	балл:	4	5
максимальная		60	500
Определение ориентации модуля в пространстве:	балл:	0	5
		нет	да
Дополнительное оборудование:	балл:	5	5
Тензометр		да	да
Модуль ГК		да	да
Трактор		да	да
Тесты:	балл:	5	5
Коэффициент усиления		да	да
Уровень искажения		да	да
Уровень шумов		да	да
Смещение		да	да
Импульсный тест		да	да
Итоговый балл (макс. 140):		122	129



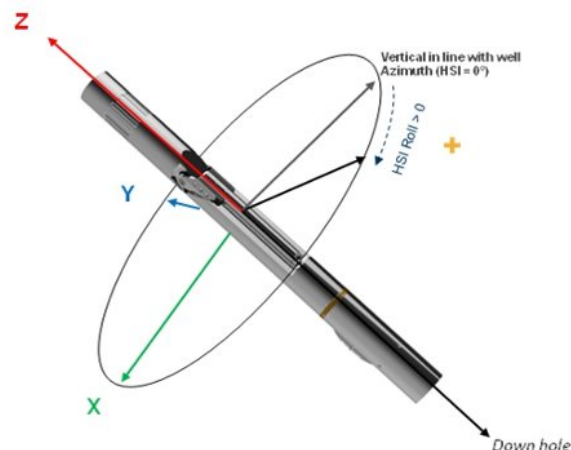
▲ Рис. 3. Общая схема компоновки скважинной сейсмической системы Geochain X HP.

сейсмического оборудования компании «Sercel» приведены в таблице №1.

Причём скважинную сейсмическую систему Geochain X HP в 24-х модульном исполнении в ООО «ТНГ-Групп» можно использовать при работах, как в одной компоновке, так и распределив их на 2, 3 или 4 независимые системы с одновременным применением каждой из них на разных объектах нефтегазовых и рудных месторождений.

Наличие акселерометров в конструкции модулей зонда Geochain позволяет отслеживать наклон приборов и угол поворота приборов, что позволяет качественно выполнить ориентацию зонда.

В качестве примера на рис. 4.1 представлены исходные (неориентированные) сейсмические записи, полученные при регистрации трехкомпонентные приборами зонда Geochain (вертикальная компонента Z и горизонтальные компоненты X и Y) с пространственным положением ПВ относительно ствола исследуемой скважины и на рис. 4.2 результат предварительной обработки - сейсмические записи, полученные после ориентации трехкомпонентной установки согласно рассчитанным углам.



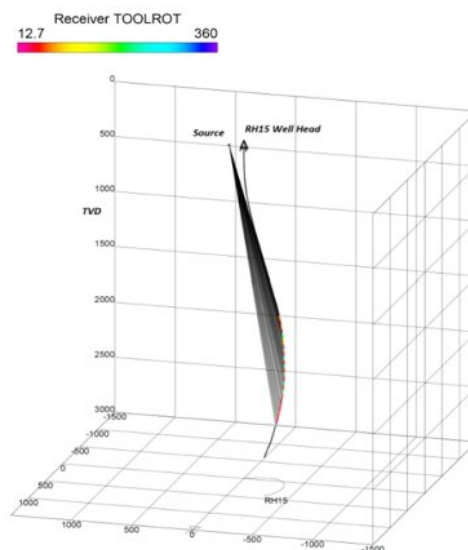
▲ Рис. 4. Определение системой значений наклона и направления прибора Geochain X HP в стволе скважины.

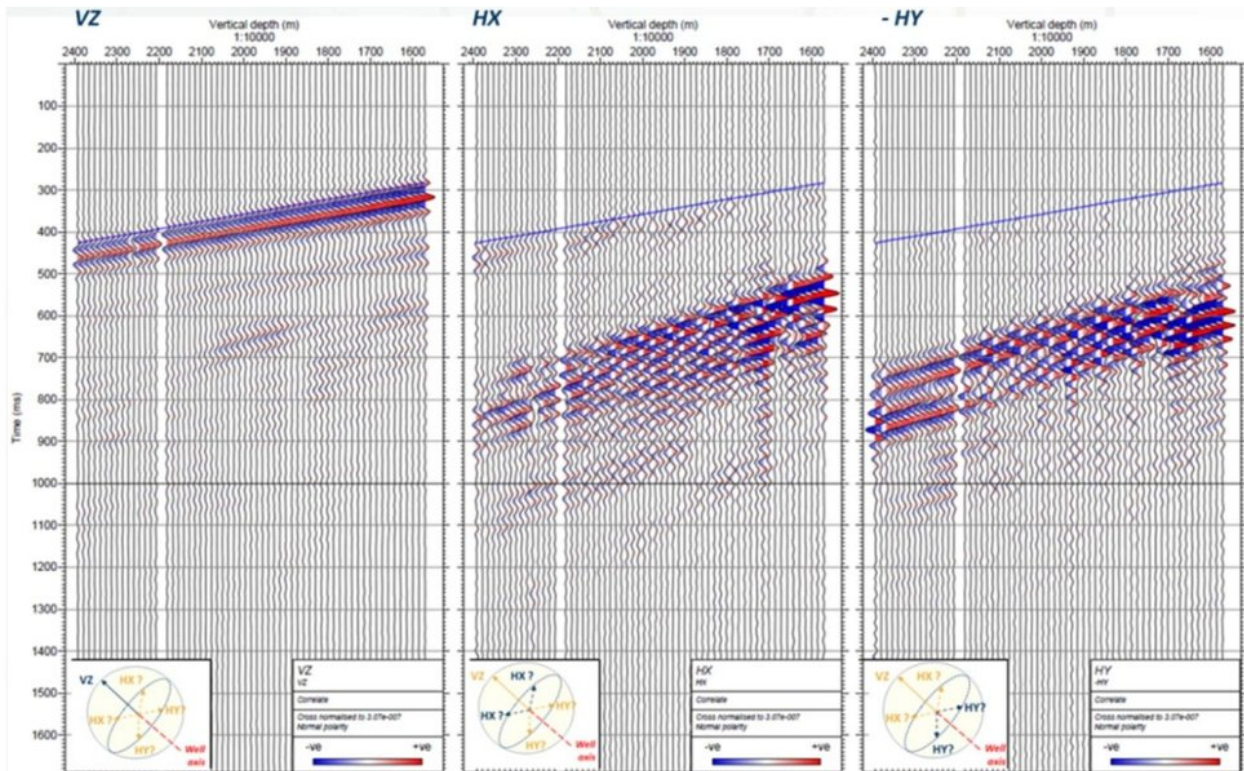
Применение ориентации позволяет получить следящие компоненты для разного типа волн. При этом на вертикальной Z составляющей регистрируется полная амплитуда прямой нисходящей продольной волны, а на горизонтальных компонентах отчетливо прослеживается цуг нисходящих поперечных волн.

Мировой опыт использования оборудования Geochain X HP

Для исследования сложнопостроенного объекта с большим количеством тектонических нарушений и интрузий, формирующих газовые залежи, была поставлена съемка комплексирующая результаты 3D-

▼ Рис. 4.1.



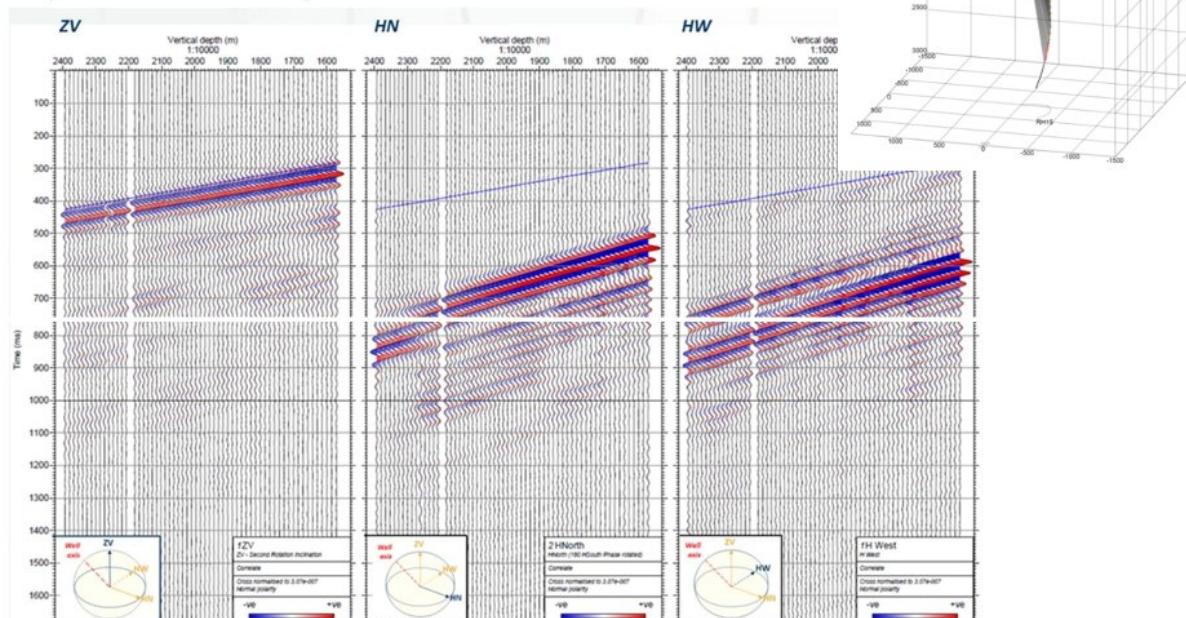


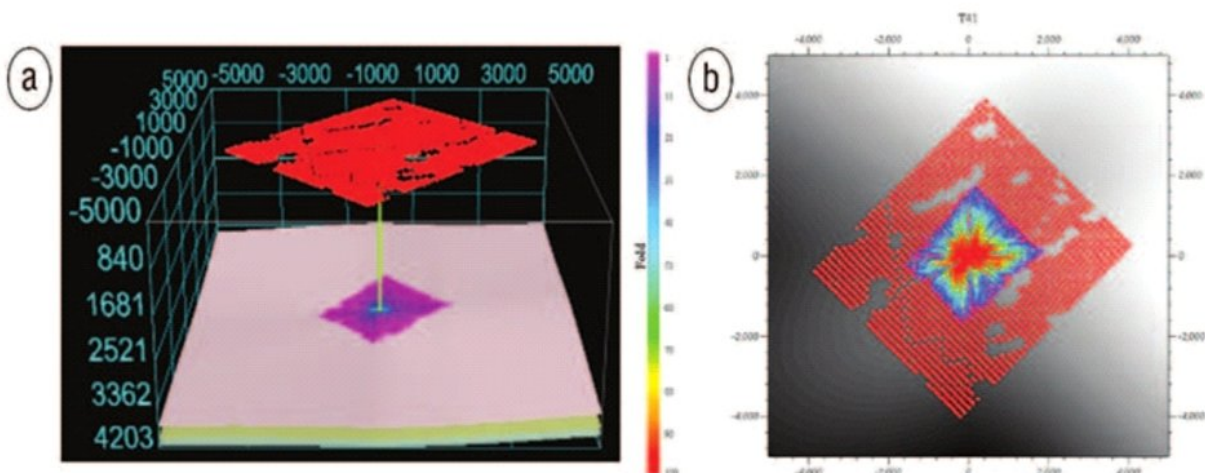
▲ Рис. 4.1. Исходные (неориентированные) сейсмические записи.

ВСП и полноазимутальной сейсморазведки 3D в Северо-Восточном Китае. Объектом изучения являлся газонасыщенный вулканический резервуар.

Полученные сведения о характеристике резервуара и прогноз газонасыщенности отложений дали обнадеживающие

▼ Рис. 4.2. Сейсмические записи, полученные после ориентации трехкомпонентной установки.





▲ Рис. 5. Расположение точек возбуждения и распределение зон кратности в трехмерном пространстве (а), вид сверху (б).

результаты. По рекомендованным данным пробуренные скважины подтвердили наличие газоконденсата, что доказало обоснованность примененной технологии.

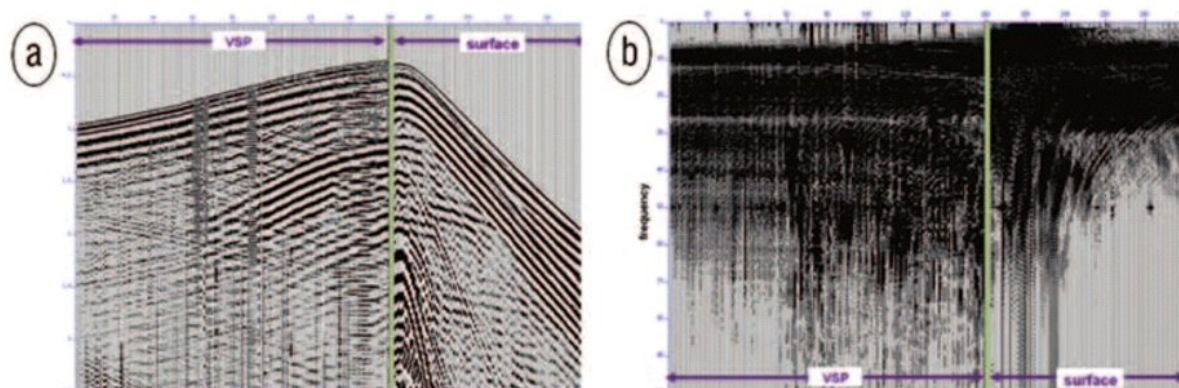
Более высокая разрешенность данных ВСП чем у наземной сейсмики позволило в процессе обработки повысить разрешение материалов, используя данные ВСП как ориентир в частотной области.

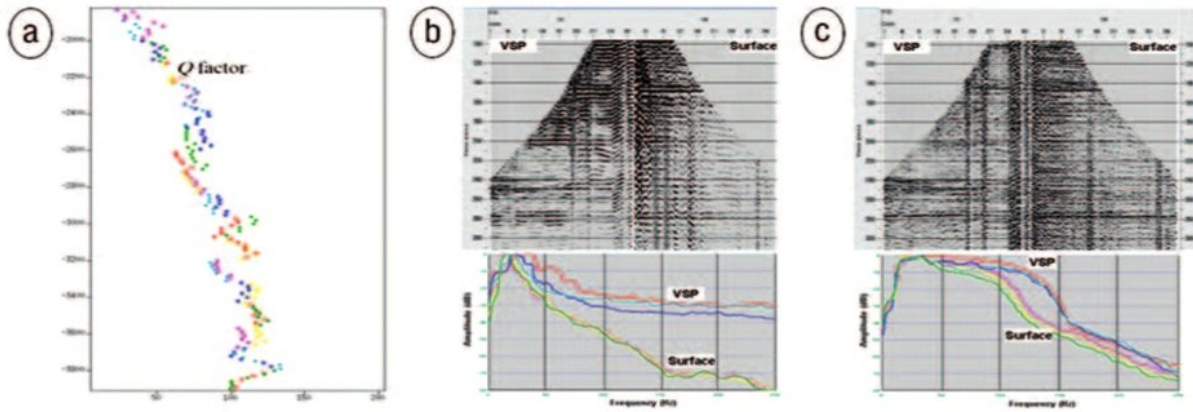
На первом этапе выполнялись исследования ВСП с нулевым смещением ПВ. На основании полученной информации: скоростной характеристики геологического разреза по данным ВСП, и данным наземной сейсморазведки методом 3D, была установлена геологическая модель изучаемого месторождения. Уравнения Цепприца в сочетании с трассировкой лучей использовались для расчета коэф-

фициентов отражении PP- и PS-волн на уровне целевых горизонтов при изменении смещения ПВ, а затем определялось максимальное смещение ПВ от устья скважины на расстояния от 2,5 до 3,0 км. Применение прямоугольной схемы съёмки определялось для соответствия требованиям проведения полноазимутальной наземной сейсмической съемки.

Максимальный радиус исследований 3D-ВСП зависит в основном от удаленности ПВ. На рис.6 показана сетка расположения ПВ. Расстояние между ПВ составляет 50 м, а интервал между линиями ПВ - 150 м. Для полноазимутальной наземной сейсмики сетка расположения ПП составляет 30 линий×192 на 1 ПВ. Расстояние между ПП составляет 50 м, а интервал между приемными линиями - 200 м.

▼ Рис. 6. Сейсмограммы ВСП и наземной сейсморазведки: скомбинированные сейсмограммы (а) и их спектры (б).





▲ Рис. 7. Графики коэффициента Q добротности (а), скомбинированные сейсмограммы ВСП и наземной сейсмозаписи и их частотные спектры до (б) и после ввода коэффициента Q добротности (с).

Из рис.6 видно, что качество полученных данных хорошее. После того, как данные 3-х-компонентного ВСП были ориентированы по вертикальной, радиальной и поперечной составляющим, нисходящие и восходящие Р- и S-волны что облегчило их корреляцию. На рис. 6 показана вертикальная компонента, полученная по ВСП, скомпанованная с записью наземной сейсмике.

Разные методы для вычисления параметра Q (коэффициент добротности) были описаны в литературе (Тонн, 1991). При этом отмечалось, что по данным наземной сейсмозаписи нельзя получить надежные значения Q из-за искажения регистрируемого сигнала различными факторами, связанными как с регистрацией, так и с обработкой данных.

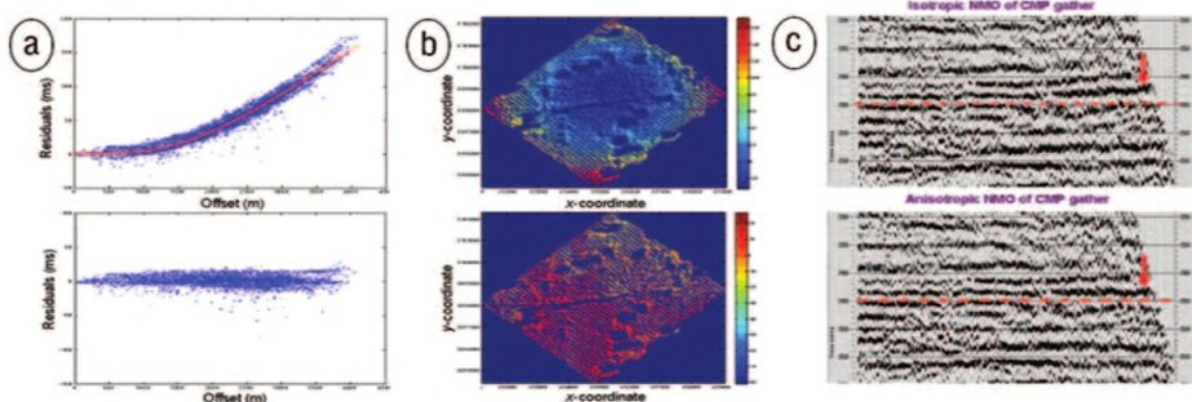
В этих исследованиях параметр Q был рассчитан с использованием данных ВСП по спектральному соотношению. Фильтрация обратного Q показала значительное улучшение качества прослеживания целевых отражений (рис. 7). Это позволило получить сейсмические атрибуты и провести инверсионные преобразования.

Точность оценки скоростной модели ВСП зависит от корректной корреляции первых вступлений. Анализ корреляции первых вступлений сейсмических волн на

сейсмограммах ВСП, полученных при возбуждении из ПВ, расположенных на одинаковых удалениях от исследуемой скважины, позволяет уменьшения влияние ошибки пикировки. Существующие очевидные отличия между фактическим и расчетным временами прохождения с увеличением удалений ПВ указывает на возможное наличие анизотропии. Полученные значения времен первых вступлений для каждого ПВ использовались для расчета скоростей сейсмических волн для каждого удаления, а затем для оптимизации скоростной модели с учетом рассчитанных параметров анизотропии, обусловленной слоистостью среды.

Примененная методика позволяет минимизировать погрешности между вычисленными, с приближением Томсена (Томсен, 1986), первыми вступлениями и фактическими. На рис. 8 показан пример применения корректирующих коэффициентов анизотропии для временных мигрированных разрезов после процедуры суммирования.

При обработке 3D-ВСП каждый этап тщательно контролировался различными методами анализа, разделение волновых полей осуществлялось с сохранением амплитуд. При обработке поверхностных сейсмических данных успешно учитывались рассчитанные параметры доброт-



▲ Рис. 8. Анизотропия (а) график невязки по времени, (б) вид в плане и (с) сравнение временных разрезов ОГТ до (вверху) и после (внизу) ввода поправок невязок по времени.

ности и анизотропии скоростей, полученные из данных ВСП. По результатам работ получены высокоразрешающие данные, точность изображения неоднородностей геологического разреза значительно улучшилась.

Большой массив данных 3D-ВСП и полноазимутальной сейморазведки 3D, полученный при одновременной сейсмической съемке дает нам возможность объединить преимущества ВСП и поверхностной сейморазведки 3D. Результаты проведенных исследований обнадеживают и дают перспективу для дальнейших работ по данной методике. Результаты проведенной интерпретации обработанных данных были подтверждены бурением. Данная технология позволяет сократить расходы на разведку и обеспечить хороший опыт для последующих исследований в аналогичных геологических условиях.

Компания ТНГ готова к проведению подобных работ с применением комплекса методов, современного оборудования, позволяющих решать самые сложные задачи, предлагаемые заказчиком.

Все полученные результаты работ по поставленным геологическим задачам, весь опыт геофизических исследований, наработанный с применением скважинной сейсмической системы Geochain X HP компании «Avalon Sciences Ltd» (ASL),

будет размещен в дальнейших наших публикациях.

Рассчитываем, что полученные результаты работ с применением скважинной сейсмической системы GeochainXHP компании «AvalonSciencesLtd» (ASL) дадут материал для новых публикаций, интересных нашим партнерам и заказчикам.

Подробнее об авторах



Мустафин
Ильфат Ришатович

Директор
ООО «ТНГ-Геосейс»



Вильданов
Ринат Вакильевич

Начальник
ГЭ «ВСП-Сервис»
ООО «ТНГ-Геосейс»



Звегинцев
Анатолий Александрович

Главный геофизик
ПЦОИ ЦГИ
ООО «ТНГ-Групп»