



10-я международная конференции Геонауки: время перемен, время перспектив

17–20 апреля 2023 г. | Санкт-Петербург, Россия





Широкополосная обработка и интерпретация данных Вертикального Сейсмического Профилирования (ВСП) по технологии Сейсморазведки Высокой Четкости (СВЧ)

А.А.Табаков, Ю.А.Степченков, В.Н.Ференци (ООО «ГЕОВЕРС», Москва) М.С.Коваленко, Е.А.Чечеткина (РУП «ПО «Белоруснефть», Гомель)

http://geovers.com





Введение

Технология Сейсморазведка Высокой Четкости (СВЧ) - это комплекс программно-технических средств и методик их применения, обеспечивающий получение максимально достоверных результатов обработки данных сейсморазведки в максимально широком диапазоне частот в условиях присутствия сильных помех.

При обработке данных ВСП применяется аддитивный итеративный анализ волнового поля методом проектирования на область допустимых значений коррелируемости полезных волн в максимально широком диапазоне частот. Последний достигается применением нескольких шагов предсказательной и пиковой деконволюции.

Аддитивность означает, что обеспечивается равенство суммы выделенных полезных волн и помех полному анализируемому полю на всех этапах расширения спектра.

Глобальные итерации - это многократно уточняемое извлечение проекции полезных волн из поля помех и помех из полезных волн вплоть до околонулевого значения корреляции между ними. Внутренние итерации — это постепенное уточнение каждой из полезных волн на фоне остальных и на фоне помех с помощью оригинального алгоритма Поликор.

Под анализом понимается разложение волнового поля на сумму выделенных полезных волн и помех.

В описываемой реализации полезными волнами считаются падающие (dp, ds) и восходящие (dpup, dpus) однократные и полнократные (dpupdp, dpupds) и выделенные по факту особенные волны, например дифрагированные.





Введение (продолжение)

На примере обработки реальных данных демонстрируется возможность достижения частотного диапазона 0-300 Гц. Информация 0-1 Гц не может быть достоверно получена из данных и замещается рассчитанной по модели. Таким образом, из данных извлекается информация 1-300 Гц т.е. 8+ октав в сравнении с обычными 3.5-4 октавами (например 8-128 гц).

Высокая разрешенность получаемых в процессе обработки результатов позволяет наряду с обычными параметрами надежно оценивать анизотропию упругих свойств среды, связанною с вертикальной трещиноватостью пород, а также определять углы наклона и азимуты отражающих границ.

Достоверность полученных результатов подтверждается прямым сопоставлением отражательной характеристики ВСП с данными наземной сейсморазведки с возможностью деконволюции ОГТ к ВСП и её инверсии с данными ГИС с возможностями контроля глубин ВСП и привязки отражений с точностью до 1 м.

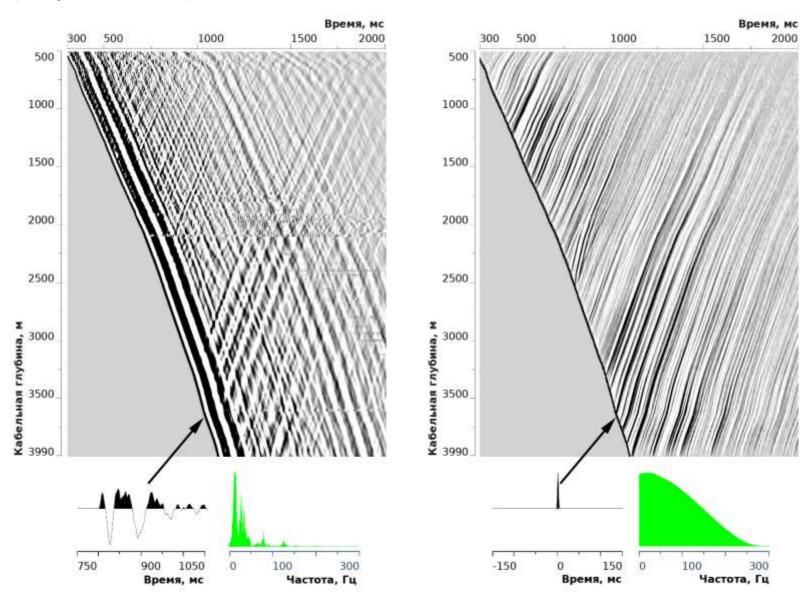
Учитывая относительную сложность оптимальной обработки как по компетенции обработчика, так и по количеству операций, изначально интерактивный процесс обработки и интерпретации замещается Интеллектуальным Роботом (ИР). Концепция ИР заключается в воплощении интеллектуальной деятельности обработчика: анализ данных, выбор следующего шага и параметров процедуры, исполнение, оценка результата и т.д. ИР полностью совмещён с интерактивным графом, в т.ч. по базам данных, и на любой стадии может быть продолжен интерактивно и вновь автоматически.

Ниже приведено первичное волновое поле и выделенные высоко разрешённые падающие и восходящие волны. Далее показаны промежуточные результаты интерактивной обработки и сопоставление с результатами ИР на первых стадиях обработки.



Фрагменты исходного волнового поля и поля полезных волн, полученного в результате обработки по технологии СВЧ

Исходное волновое поле



Результат обработки СВЧ (прямая волна и отраженные продольные волны)

2000





Основные этапы обработки данных в технологии СВЧ

- 1. Предварительная обработка
- 1.1 Оценка и вычитание шумов до первых вступлений
- 1.2 Коррекция времен и формы импульса по КП
- 1.3 Оценка параметров поляризации волнового поля, ориентация в систему координат PRT
- 2. Кинематическая обработка
- 2.1 Определение границ пластов и скоростной модели по данным ГИС и по интервальным скоростям от ближнего ПВ
- 2.2 Подбор скоростей и коэффициентов анизотропии в результате совместной оптимизации по годографам от ближнего и удаленных ПВ
- 3. Разделение волнового поля (селекция), выделение шума и полезного сигнала
- 4. Предсказывающая деконволюция
- 5. Деконволюция по форме падающей волны
- 6. Увязка данных ВСП, ГИС и наземной сейсморазведки
- 7. Прогноз скоростной характеристики ниже забоя скважины
- 8. Дополнительные возможности технологии СВЧ
- 8.1 Оценка анизотропии скоростей поперечных волн для выделения интервалов с вертикальной трещиноватостью
- 8.2 Оценка углов и азимутов наклона отражающих границ
- 9. Автоматизированная СВЧ обработка с использованием методов ИИ





1. Предварительная обработка

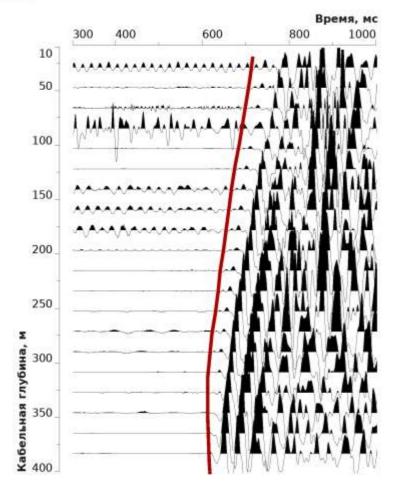
- 1.1 При значимых смещениях нуля выполняется минимально фазовая ВЧ фильтрация и плавная нульфазовая фильтрация, например 0/300 гц (0.6 от Котельникова).В такой версии практически не искажаются первые вступления.
- 1.2 Коррекция времён по контрольному прибору.
- 1.3 Оценка и вычитание резонансных колебаний.
- 1.4 Автоматическая предварительная оценка первых вступлений с возможностью ручной коррекции.
- 1.5 Оценка и вычитание предсказуемых шумов до первых вступлений и в небольшом интервале после.
- 1.6 Уточнение первых вступлений, расчёт и коррекция параметров поляризации.
- 1.7 Коррекция формы возбуждения к наиболее разрешённой.
- 1.8 Ориентация в систему PRT.

На следующих слайдах - результаты предварительной обработки:

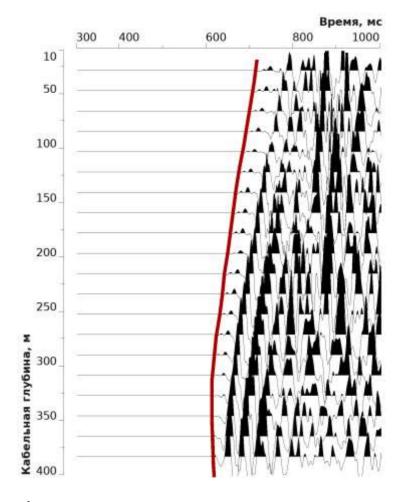




1.5 Оценка и вычитание шумов до первых вступлений



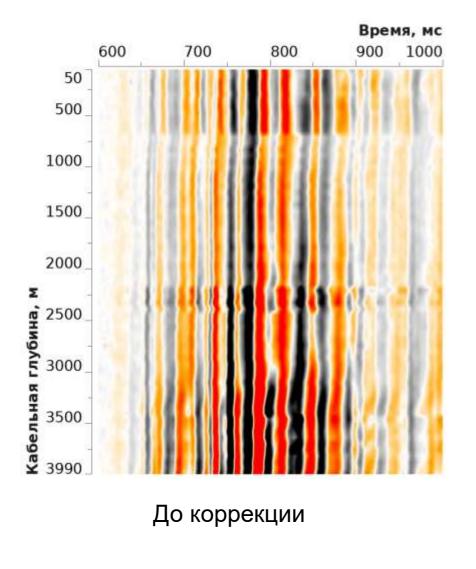
Фрагмент исходного волнового поля (вертикальная компонента)

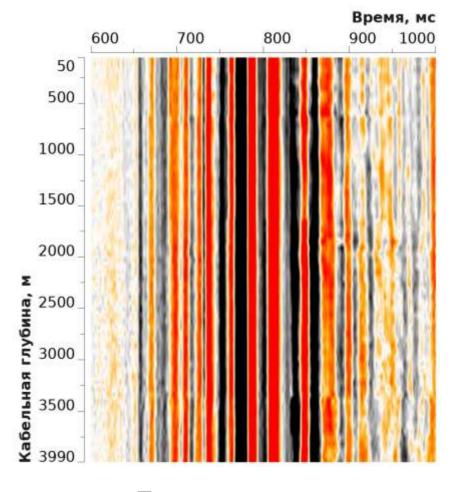


Фрагмент исходного волнового поля после вычитания шумов



1.2 Коррекция времен и формы импульса по контрольному прибору, записи поверхностного контрольного прибора

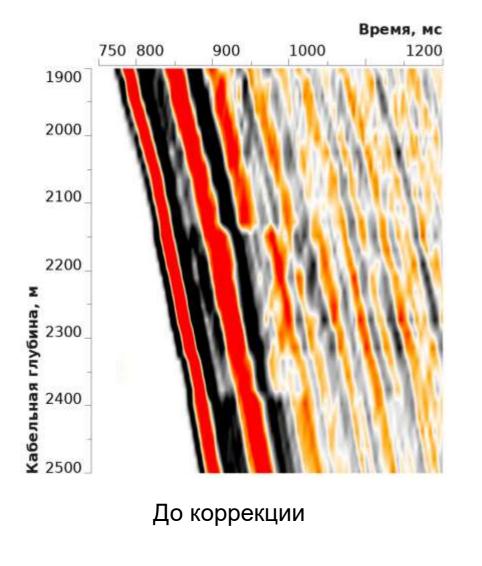


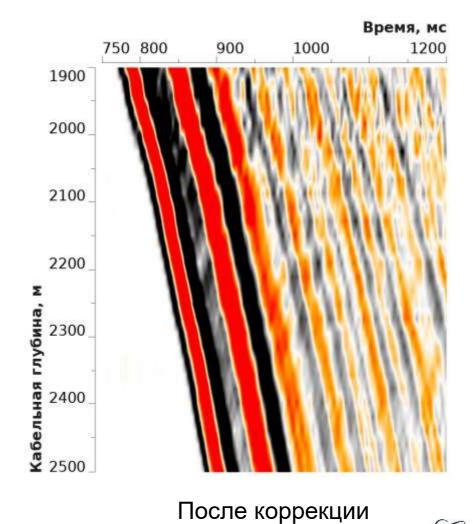


После коррекции



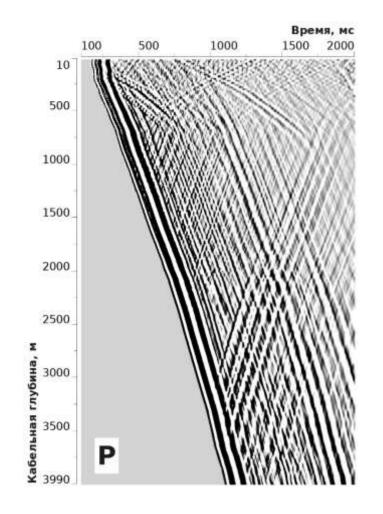
1.7 Коррекция времен и формы импульса по контрольному прибору, записи глубинного зонда ВСП

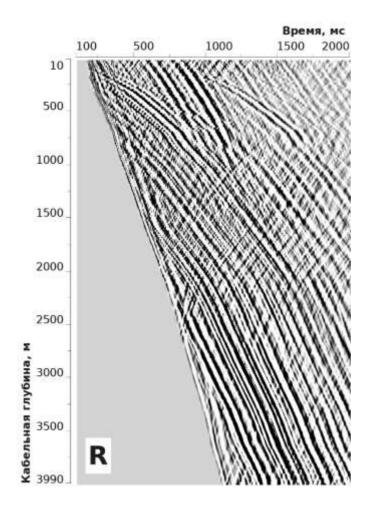


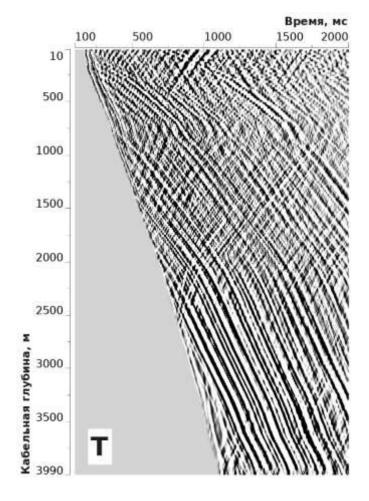




1.8 Ориентация векторного волнового поля в систему координат PRT











2. Кинематическая обработка

2.1.Оценка пластовой скоростной модели без анизотропии.

Вначале производится трансформация годографа первых вступлений так, чтобы он был параллелен годографу первого пересечения нуля. Такой годограф учитывает перекос годографа за счёт поглощения.

Далее рассчитывается пластовая скоростная модель по ближнему ПВ с использованием интервальных скоростей и ГИС.

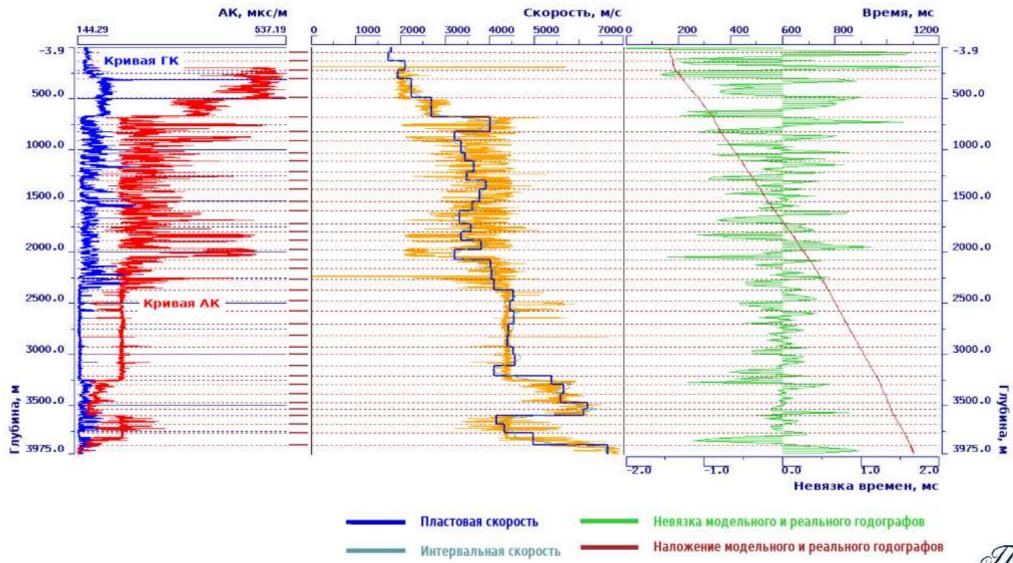
2.2.Оценка статических поправок за ПВ и обобщённой модели с TLA анизотропией.

Начиная с пластовой модели оптимизационным методом оцениваются обобщённая модель с анизотропией и статические поправки за ПВ.





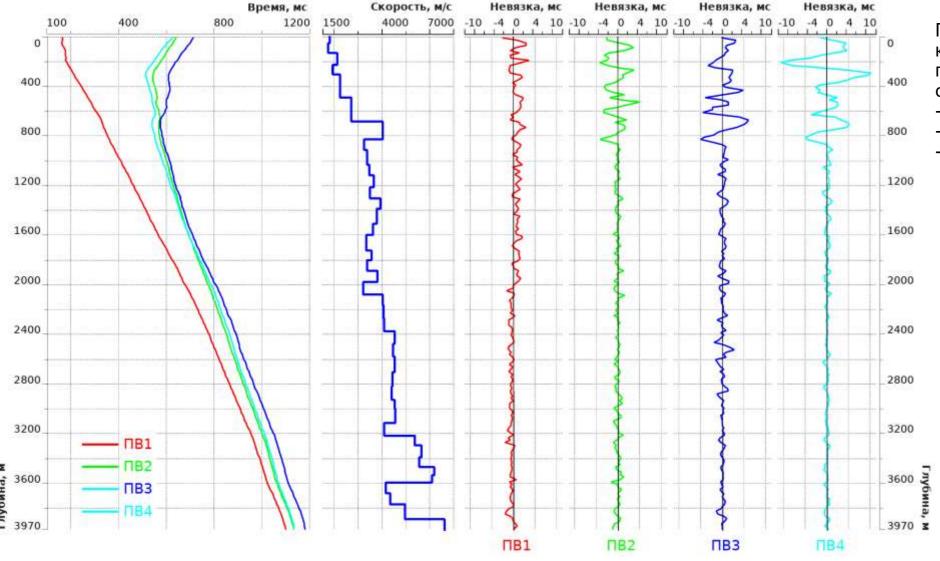
2.1 Определение границ пластов и скоростной модели по интервальным скоростям для ближнего ПВ и по данным ГИС



Скорость по АК



2.2 Подбор коэффициентов анизотропии скоростей продольных волн в результате совместной оптимизации по годографам удаленных ПВ



При совместной оптимизации коэффициентов анизотропии продольных волн была учтена статика:

- -13 мс для ПВ2,
- -6 мс для ПВ3,
- -5 мс для ПВ4.





3. Разделение волнового поля (селекция), выделение шума и полезного сигнала

Первым шагом выделяется прямая, переходящая в головную, волна вблизи первых вступлений путём скользящего весового суммирования на большой (~100 уровней) базе вдоль годографа первых вступлений.

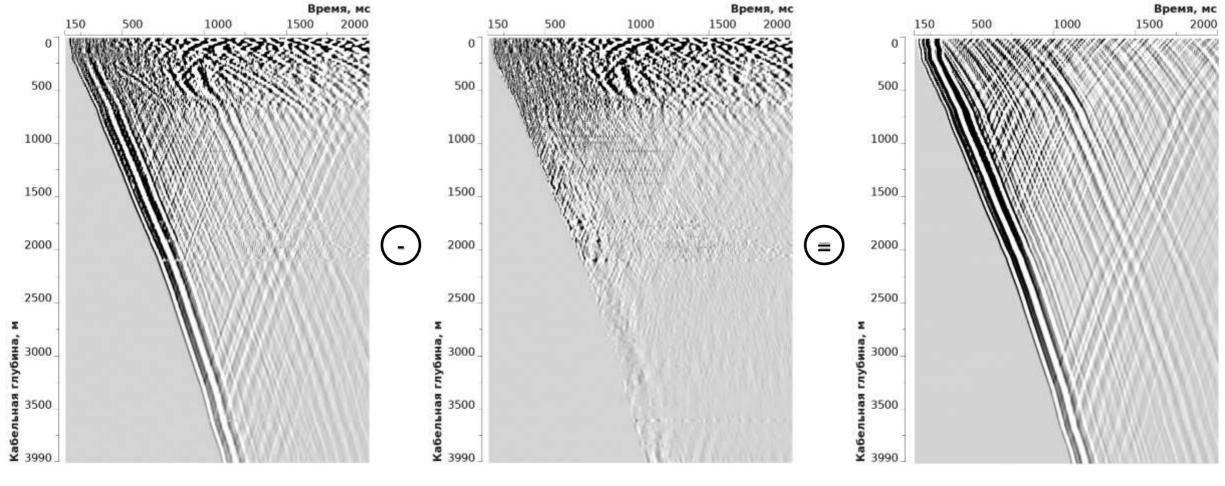
К ней присоединяются выделенные по скоростной модели полнократные падающие волны (dpupdp). Спектр полученного поля используется как эталон для отсеивания помех, значительно отличающихся по спектру от эталона.

Весь набор регулярных волн (dp, dpds, dpup, dpus, dpupdp, dpupds, ds) определяется также скользящим весовым суммированием (с использованием алгоритма Поликор) по скоростной модели.





3. Разделение волнового поля (селекция), выделение шума и полезного сигнала



Исходное волновое поле Шумы Полезные волны



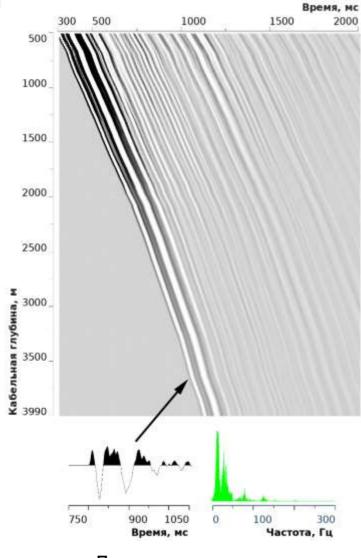


4. Предсказывающая деконволюция

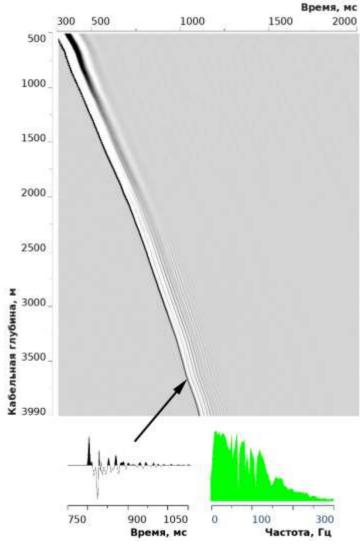
Оператор ошибки предсказания конструируется из единицы и последующего оператора предсказания с обратным знаком. Первое значение автокорреляции умножается на величину (1+a²), где а - отношение шум/сигнал. Автокорреляция для расчёта оператора оценивается как средняя по автокорреляциям падающих волн (dp+dpupdp) обычно в нижней части скважины.



4. Предсказывающая деконволюция (прямая волна, Р-компонента)



До деконволюции



После деконволюции





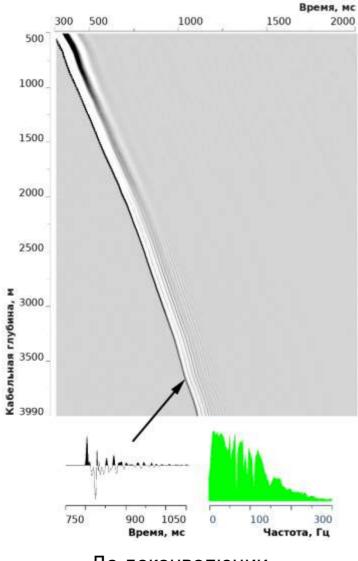
5. Пиковая деконволюция по форме падающей волны

Пиковая деконволюция для ближнего ПВ обычно рассчитывается по падающей волне на каждой глубине после ПД и применяется ко всем выделенным компонентам полного поля после ПД. Для удалённых ПВ применяется либо один оператор по осреднённой падающей волне, либо комплексный - до головной волны потрассно, далее одним оператором. Желаемый выход - единица на времени модельного годографа для данного ПВ с фильтром 0/300 гц (при шаге дискретизации 1 мс).

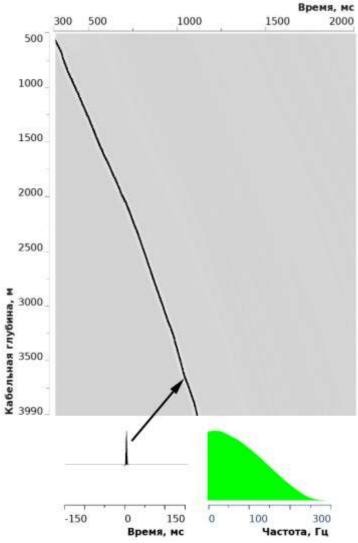




5. Пиковая деконволюция (прямая волна, Р-компонента)



До деконволюции

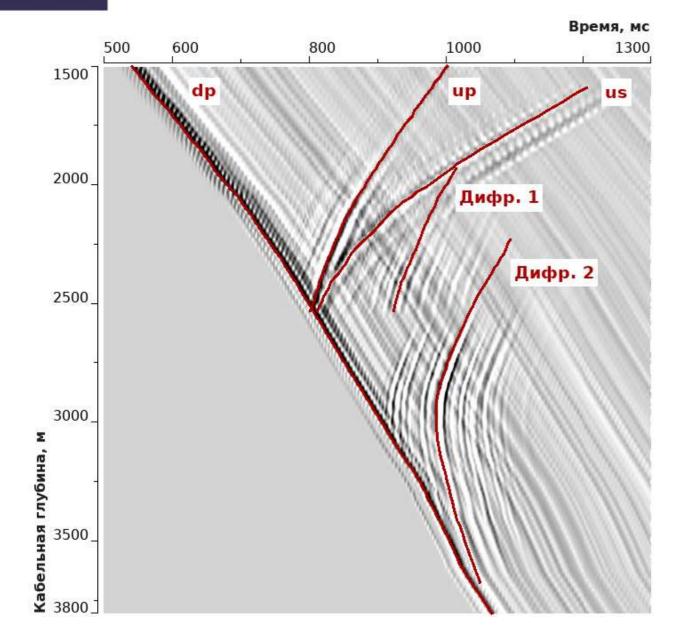


После деконволюции





5. Дифрагированные волны (R-компонента)



dp – падающая продольная волна

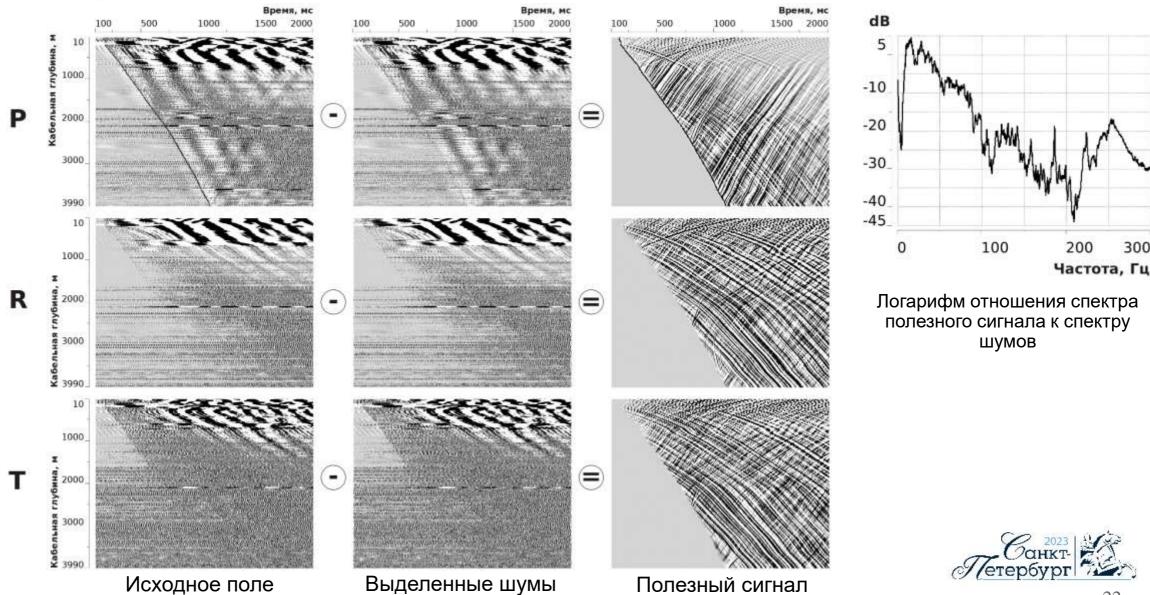
up, us – отраженная продольная и поперечная волна от крутопадающей наклонной границы

Дифр. 1, 2 – дифрагированные волны





5. Фрагменты волнового поля в широком спектре 0-300 Гц



300

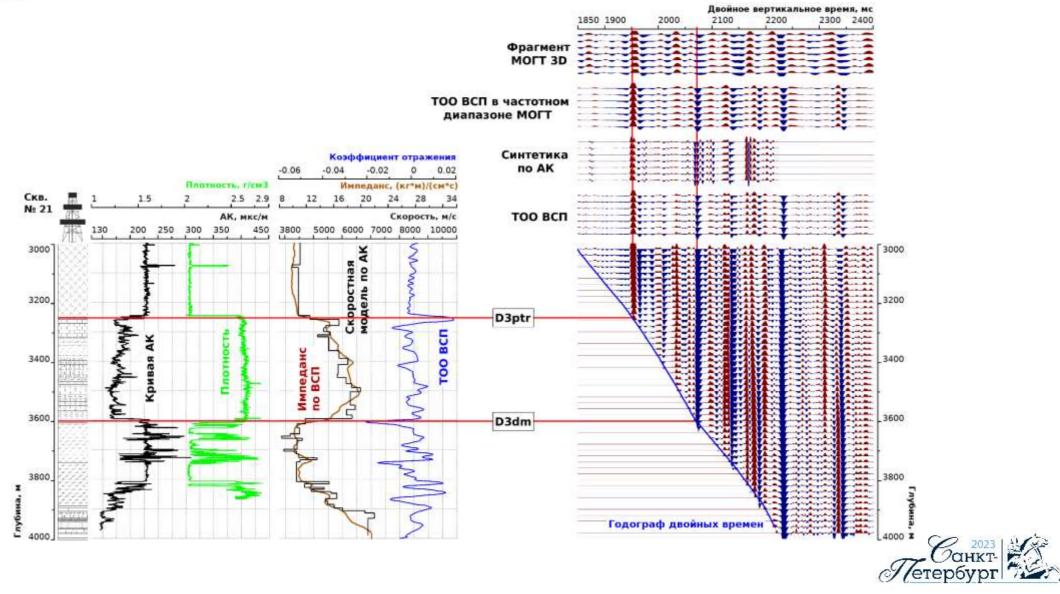


6. Увязка данных ВСП, ГИС и наземной сейсморазведки

Увязка производится по обычной схеме, но сопоставление с ГИС производится дополнительно по инверсии отражательной характеристики с добавлением околонулевых частот из модельной импульсной сейсмограммы. При этом устраняется произвол при выборе сигнала для свёртки.

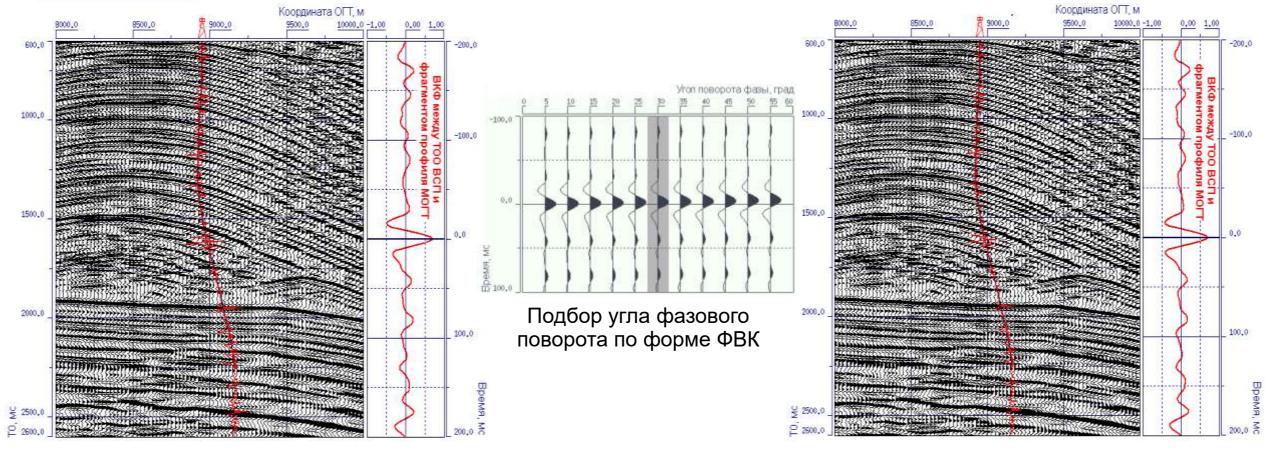


6. Фрагмент увязки ВСП с данными ГИС и наземной сейсморазведки





6. Увязка трассы однократных отражений ВСП с данными МОГТ 3D, коррекция фазы сигнала МОГТ



Привязка ТОО ВСП до коррекции фазы сигнала МОГТ

Привязка ТОО ВСП после поворота фазы сигнала МОГТ на 30°



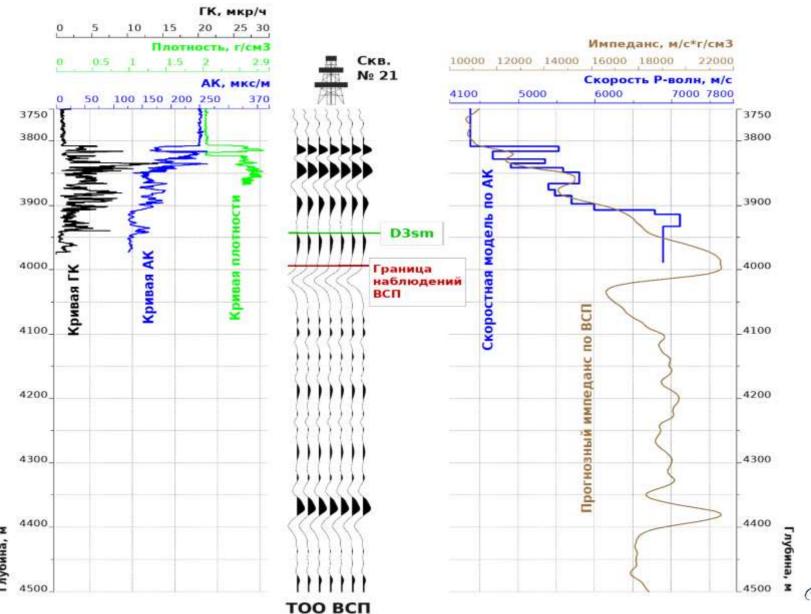


7. Прогноз акустических импедансов ниже забоя скважины

Наличие хорошо прослеживаемых отражений на нижних трассах ВСП даёт возможность рассчитать акустические импедансы ниже забоя скважины. Скорости для прогнозирования в масштабе глубин можно присвоить после корреляции маркирующих отражений из соседних скважин, либо рассчитать пропорционально акустическим импедансам. Литологическая интерпретация делается с опорой на величину импеданса по априорным связям для каждого региона. На слайде показан пример прогнозирования с уровня выше забоя, чтобы убедиться в совпадении прогноза во вскрытой части.



7. Прогноз разреза ниже забоя скважины



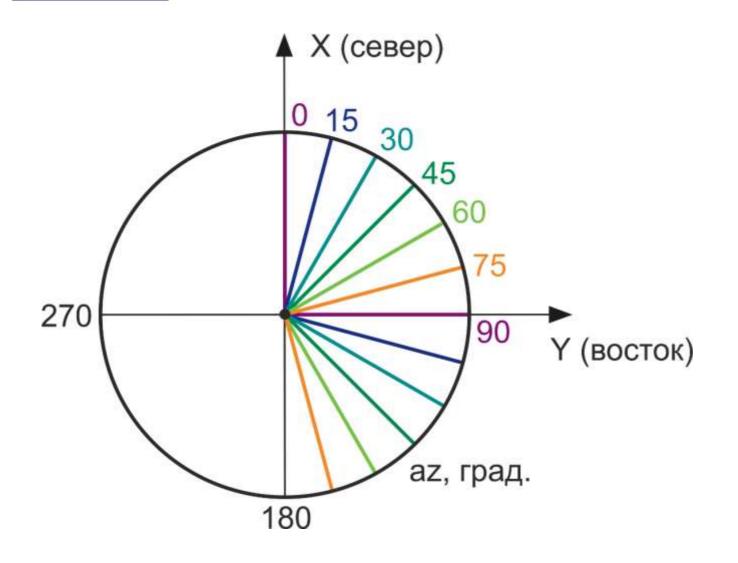


8. Дополнительные возможности технологии СВЧ

Высокое качество выделения и деконволюции полезных волн позволяет дополнительно к стандартным результатам оценить углы наклона и азимуты отражающих границ, а также азимутальную анизотропию скоростей поперечных волн, связанную с вертикальной трещиноватостью. Последняя может определяться по обменам вниз или вверх.



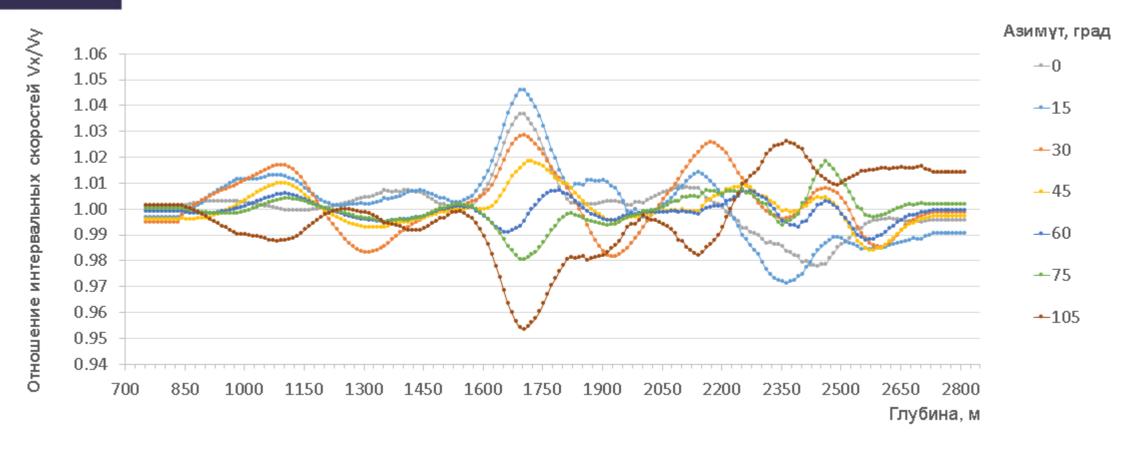
8.1 Оценка анизотропии скоростей поперечных волн



Анизотропия:
$$A(az) = \frac{Vx(az)}{Vy(az)}$$



8.1 Оценка анизотропии скоростей поперечных волн

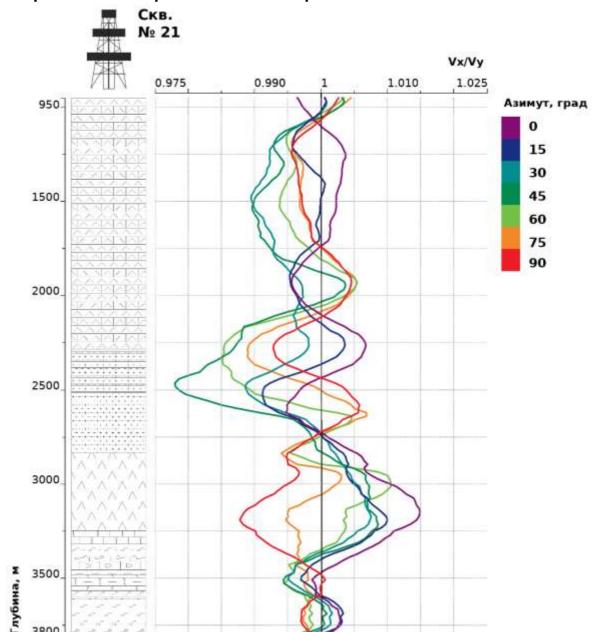


Из соотношений видно, что в интервале глубин 1650-1750 м в направлении азимута 150 наблюдается анизотропия скоростей поперечных волн, достигающая 4.5%, которая может быть обусловлена вертикальными трещинами, ориентированными на 150 восточнее северного направления (ось X направлена на север).



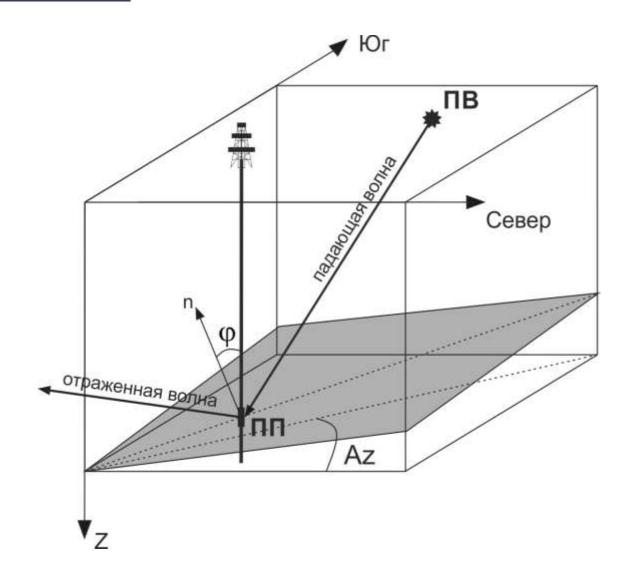
8.1 Оценка анизотропии скоростей поперечных волн







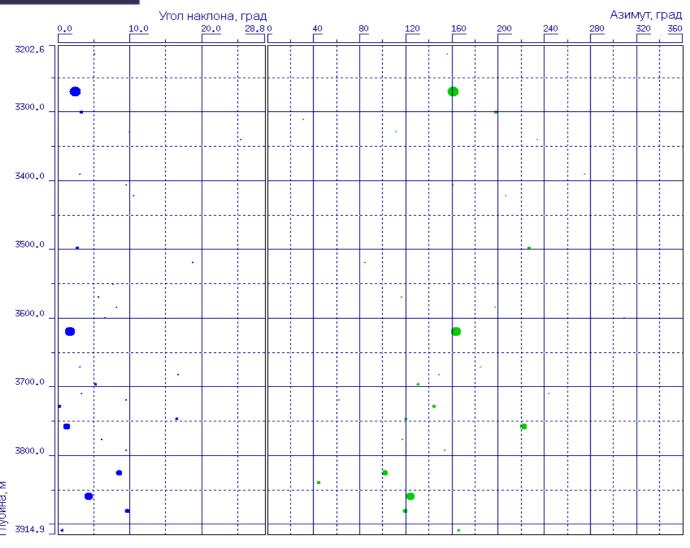
8.2 Определение наклонов границ раздела среды (наклонометрия)



φ - угол наклона отражающей границыAz – азимут отражающей границы



8.2 Определение наклонов границ раздела среды (наклонометрия)



Оценки углов и азимутов отражающих границ. Изображаются точками, размер которых соответствует достоверности определения угла наклона и азимута границы.

Оценки наклонов отражающих границ

Глубина, м	Угол, град.	Азимут, град.
3270	2.4	160.8
3619	1.7	163.4
3758	1.1	221.8
3825	8.6	101.9
3858	4.2	123.7
3881	9.6	119.7





9. Автоматизированная обработка по технологии СВЧ с применением методов ИИ. Интеллектуальный робот.

Интеллектуальная коррекция времен и формы импульса по контрольным приборам. Основные этапы, требующие принятия решений:

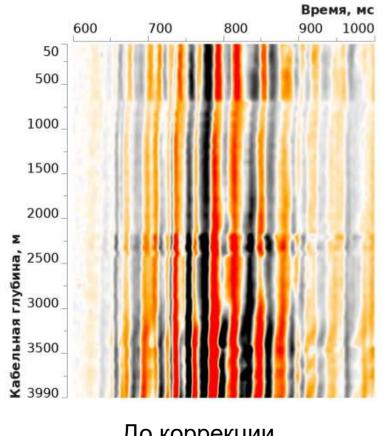
- 1. Построение предварительного годографа первых вступлений по данным глубинного зонда ВСП. Основано на интеллектуальном анализе характеристик волнового поля для оценки интервалов с устойчивым выделением вступлений прямой волны и последующим пикированием времен первых вступлений на этих интервалах. В областях неустойчивой корреляции вступлений годограф проводится на основе моделирования с использованием генерализованной скоростной модели для данного региона исследований.
- 2. Расчет статических поправок для каждого контрольного прибора. Выбор наилучшего контрольного прибора по результату анализа применения рассчитанных статических поправок к временам первых вступлений от глубинного зонда ВСП.
- 3. Анализ записей наилучшего контрольного прибора и выбор эталонной трассы для построения операторов коррекции формы импульса. Коррекция записей контрольного прибора и глубинного зонда ВСП.



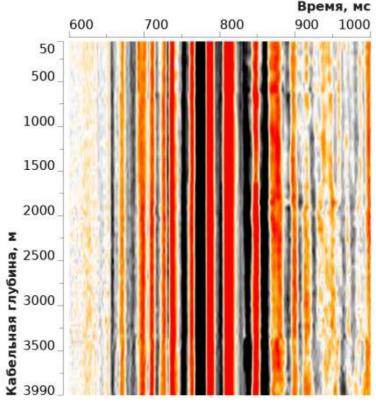


9. Коррекция статики и формы импульса по контрольному прибору. Сравнение результатов ручной и автоматизированной обработки с использованием интеллектуального робота.

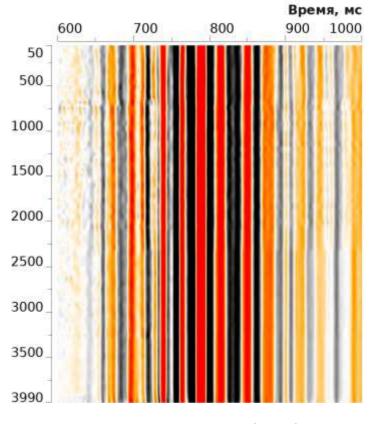
Поверхностный контрольный прибор



До коррекции



Ручная обработка



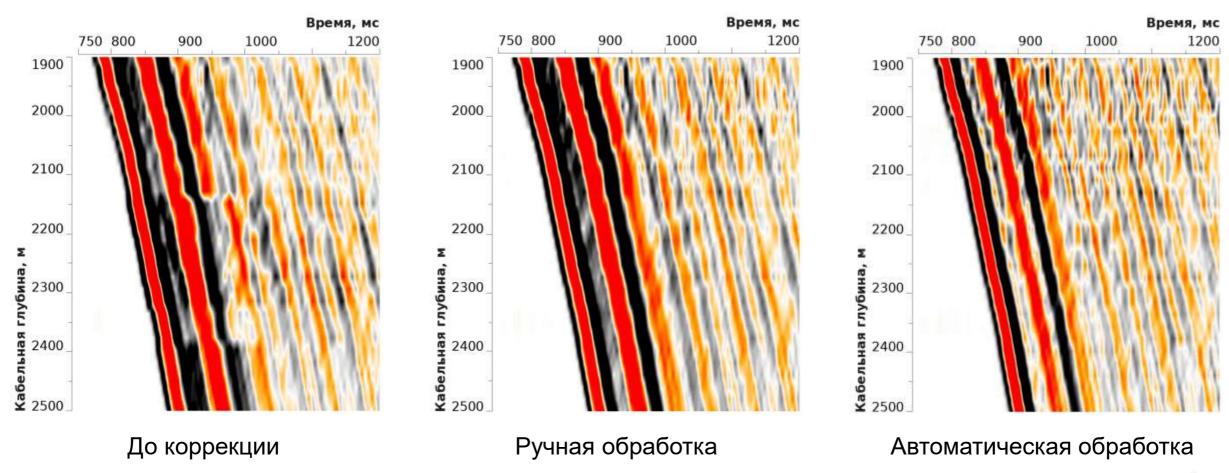
Автоматическая обработка





9. Коррекция статики и формы импульса по контрольному прибору. Сравнение результатов ручной и автоматизированной обработки с использованием интеллектуального робота.

Фрагмент вертикальной компоненты зонда ВСП







Выводы

Обработка данных ВСП по технологии СВЧ позволяет существенно повысить информативность сейсморазведки благодаря достижению четкости получаемых результатов до семи октав (1-300 гц)

Точность контроля глубин ВСП и привязки отражений на поверхности достигает 1-2 м, появляется возможность расширения их спектра.

Достоверность увязки данных ГИС и поверхностной сейсморазведки через ВСП по технологии СВЧ значительно выше, чем по распространенному методу моделирования по данным ГИС, который содержит неопределенность при выборе сигнала для свертки с идеальной импульсной сейсмограммой, получаемой из акустического и плотностного каротажа.

Эффективность технологии СВЧ позволяет достоверно выделять интервалы разреза с вертикальной трещиноватостью, ее направленность, а также определять углы наклона и азимуты отражающих горизонтов.



Список литературы

- 1. Е.И.Гальперин. Вертикальное сейсмическое профилирование опыт и результаты применения. М., Наука, 1994.
- 2. B.B. Tal-Virsky., A.A. Tabakov. High-Resolution prediction of acoustic impedances below bottom-of-hole. Geophysical Prospecting, April 1983, p225–236.
- 3. А.А. Табаков. Обратная фильтрация данных ВСП с предварительным разделением волн. «Геофизические исследования на нефть и газ в Узбекистане» —Ташкент, 1974. Вып. 9. С. 105 108.
- 4. А.А.Табаков, Ю.А.Степченков, В.Н.Ференци. Обработка и интерпретация данных сейсморазведки с трехмерной геометрией наблюдений по технологии высокой четкости (ВСП, МОГ, ОГТ 2Д/3Д, 2Д/3Д+ВСП, ГРП). Москва, Санкт-Петербург, 2022 ..., http://geovers.com