



Геомодель 2025

27-я конференция по вопросам геологоразведки
и разработки месторождений

8 – 11 сентября 2025 г. | Геленджик, Россия

www.geoscience.ru

www.geomodel.ru

Обработка вибросейсмических данных ВСП в комплексе с сейсморазведкой 3D по технологии СВЧ в условиях Оренбургской области Южного Урала

А.З. Недоступов
Т. Р. Шарафутдинов *ООО «ПетроТрейс Сервисиз»*
Р. А. Хафизов

С.Ю. Оковитый *ООО «Сакмарнефть»*

А.А. Табаков
Ю.А. Степченков *ООО «Геоверс»*
В.Н. Ференци

Введение

Технология Сейсморазведка Высокой Четкости (СВЧ) – это комплекс программных и технических средств, а также методик их применения, предназначенный для получения максимально достоверных результатов обработки сейсмических данных в наиболее широком диапазоне частот при высоком уровне помех.

Оптимальная обработка данных - трудоемкий процесс, требующий высоких компетенций обработчика. Часть процедур в технологии СВЧ автоматизирована с использованием интеллектуального робота **АРИО** (**А**нализ данных, принятие **Р**ешения, **И**сполнение решения, **О**ценка результата). Робот АРИО воплощает интеллектуальную деятельность человека. На любой стадии обработки он может быть продолжен интерактивно и вновь автоматически.

Представлены результаты обработки данных ВСП по технологии СВЧ, зарегистрированных на месторождении в Оренбургской области Южного Урала с применением вибрационного источника сейсмических волн. Изначально перед работами ставились задачи, традиционные для метода ВСП: получение скоростной характеристики разреза, увязка с данными ГИС и МОГТ, уточнение строения околоскважинного пространства по данным НВСП, прогноз ниже забоя скважины. Дополнительно была исследована возможность достижения частотного диапазона 1-250 Гц, который находится за пределами частот, возбуждаемых вибратором (6-150 Гц).

Достоверность полученных результатов подтверждается сопоставлением отражательной и скоростной характеристик по ВСП с литологией, данными ГИС и данными сейсморазведки на поверхности. Достижение частотного диапазона 1-250 Гц при стандартной (при шаге дискретизации 1 мс) обработке в диапазоне 1-300 Гц подтверждается наличием значительной доли энергии полезных волн в высокочастотной части спектра результирующих волновых полей за пределами частот возбуждения виброисточника. Это является следствием ограниченности сигнала во времени.

Методика полевых работ



Инклинометрия скважины

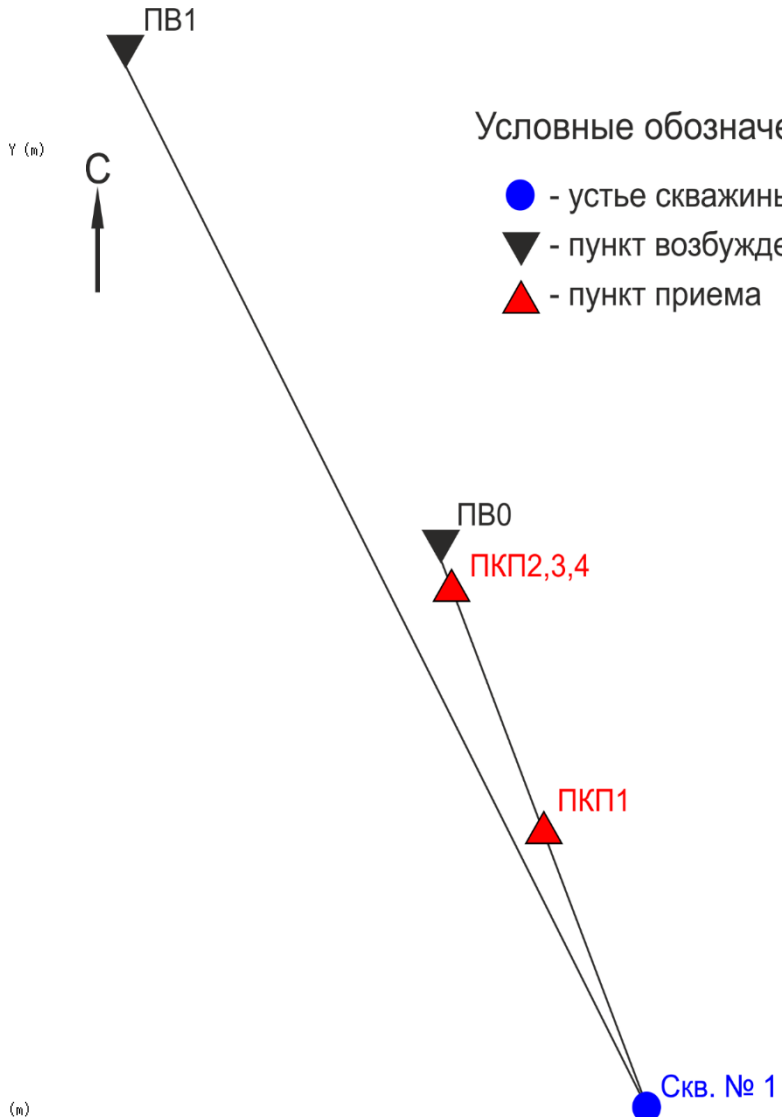
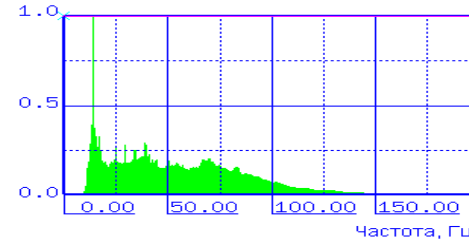
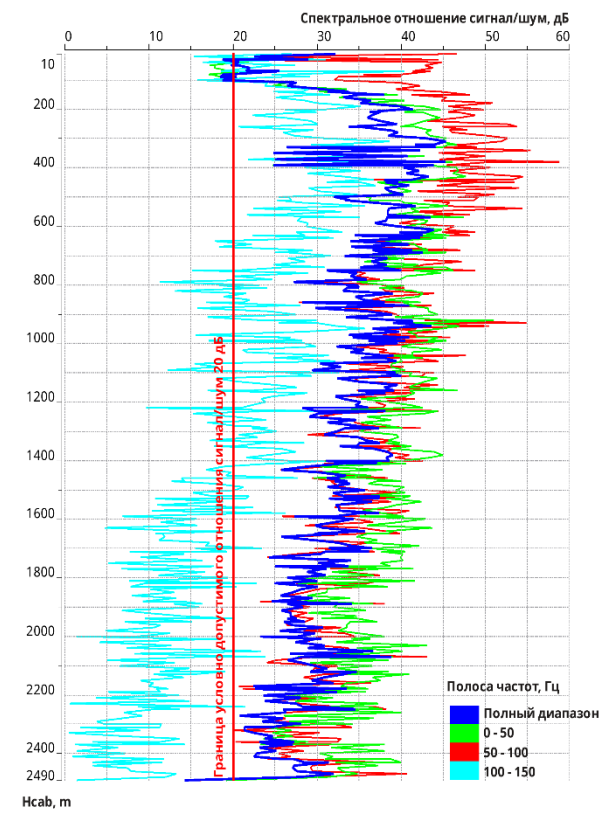


Схема расположения ПВ

Условные обозначения:

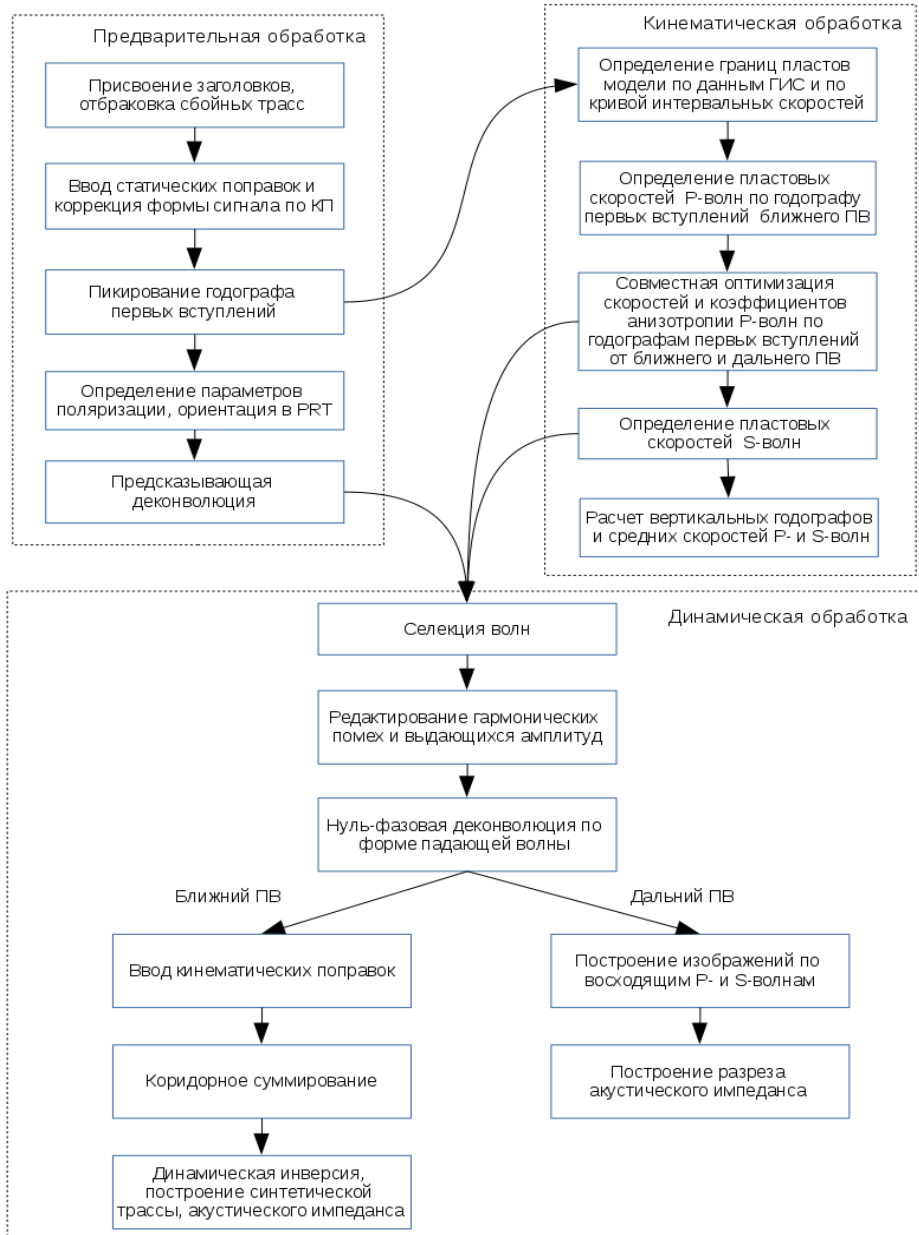
- - устье скважины
- ▼ - пункт возбуждения
- ▲ - пункт приема

Возбуждение колебаний	
Тип источника	Вибратор НЕМИ-50
Число источников	1
Количество накоплений	5
Параметры свип-сигнала	Линейный, 6-150 Гц, 12 с
ПВ0	
Азимут (г.м.с.)	338°04'03"
Удаление (м)	100.42
Превышение (м)	-1.83
Контроль идентичности	ПКП1,2,3,4
ПВ1	
Азимут (г.м.с.)	332°16'40"
Удаление (м)	200.38
Превышение (м)	-4.34
Контроль идентичности	ПКП1,2,3,4
Регистрация	
Аппаратура	ВСП-СК6-823
Число точек зонда	4
Число компонент	3
Шаг дискретизации (мс)	1
Длина записи (мс)	4000
Интервал глубин регистрации (м)	10-2490
Шаг по глубине (м)	10

ПВ1

За уровень минимальной достаточности принято значение 20 дБ, что соответствует равенству сигнала и шума для волн, отраженных от границ с коэффициентами отражения 0.1.

Граф обработки и интерпретации данных ВСП/НВСП в программном комплексе «Юниверс» по 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.
- 1.4 Построение годографов первых вступлений.
- 1.5 Предсказывающая деконволюция (для взрывного источника).

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 дальнего ПВ.
- 2.3 Определение скоростей распространения поперечных волн.

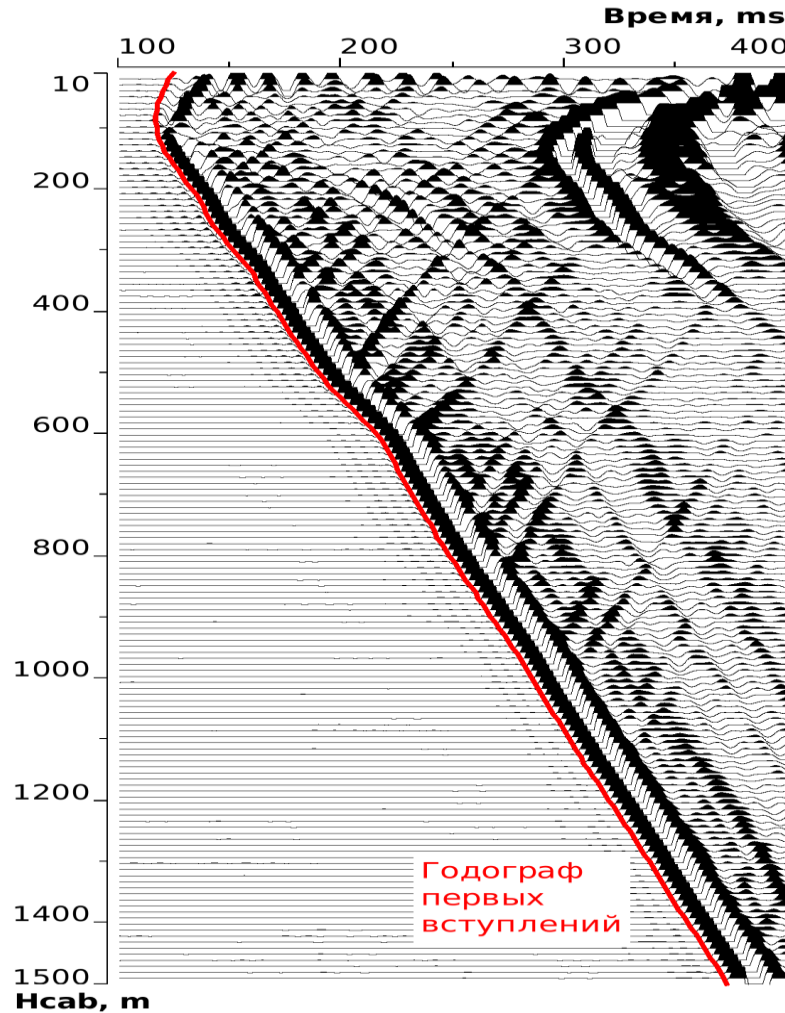
3. Динамическая обработка.

- 3.1 Модель-базированное аддитивное разделение волнового поля (селекция), выделение шума и полезного сигнала.
- 3.2 Деконволюция по форме падающей волны (нульфазовая деконволюция).
- 3.3 Построение трассы однократных отражений (ТОО), кривой акустического импеданса для ближнего ПВ.
- 3.4. Построение изображений околоскважинного пространства для удаленных ПВ.
- 3.5 Построение разреза акустических импедансов для удаленного ПВ.

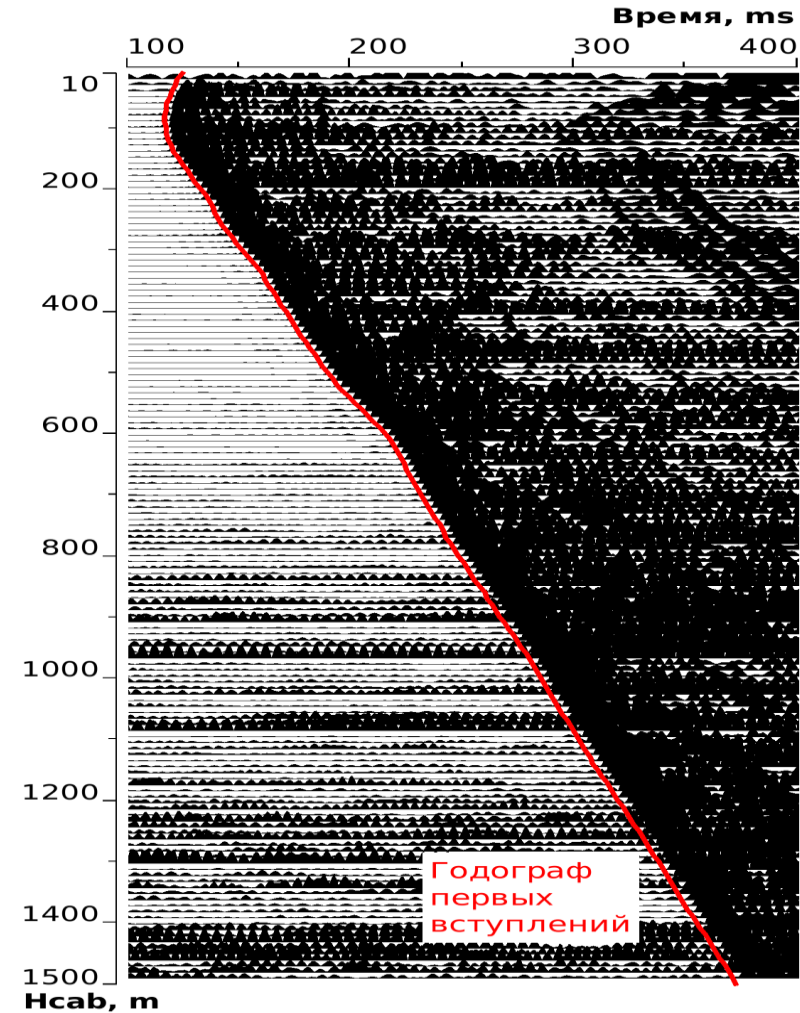
4. Интерпретация.

- 4.1 Расчет кинематических и упругих характеристик среды.
- 4.2 Увязка данных ВСП, ГИС и наземной сейсморазведки.
- 4.3 Прогноз скоростной характеристики ниже забоя скважины.
- 4.4 Оценка анизотропии скоростей поперечных волн, выделение интервалов с вертикальной трещиноватостью.
- 4.5 Структурно-литологическая интерпретация.

Предварительная обработка, автоматическое определение первых вступлений на примере ближнего ПВО



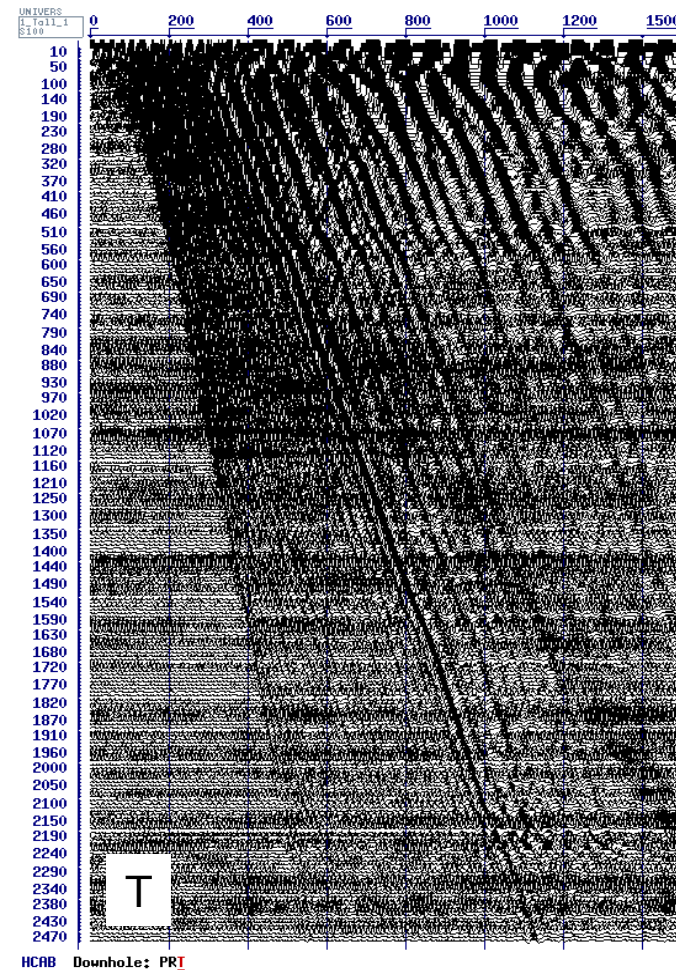
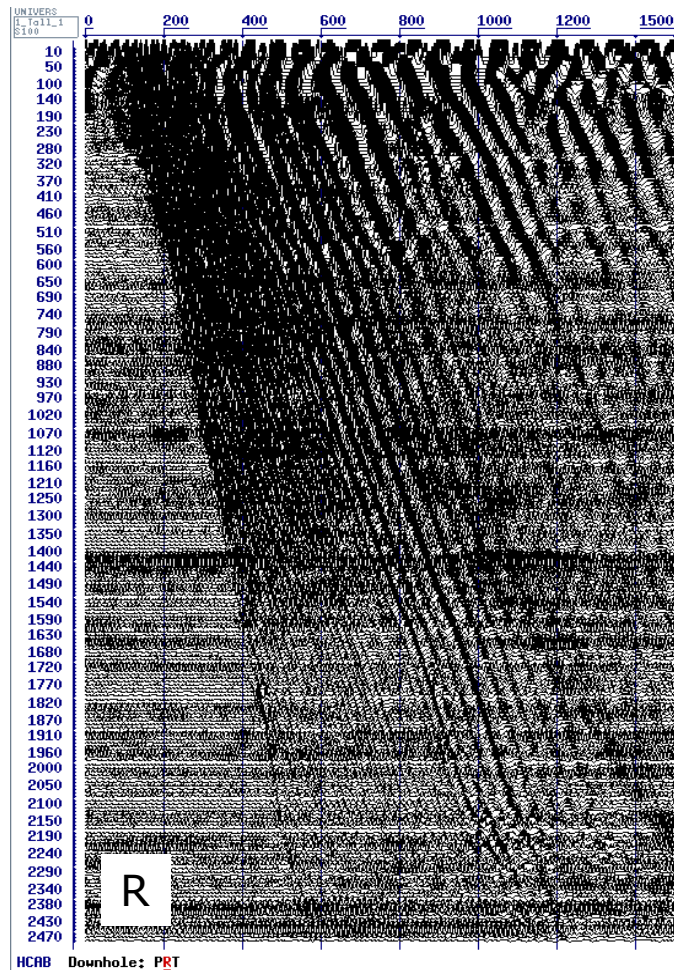
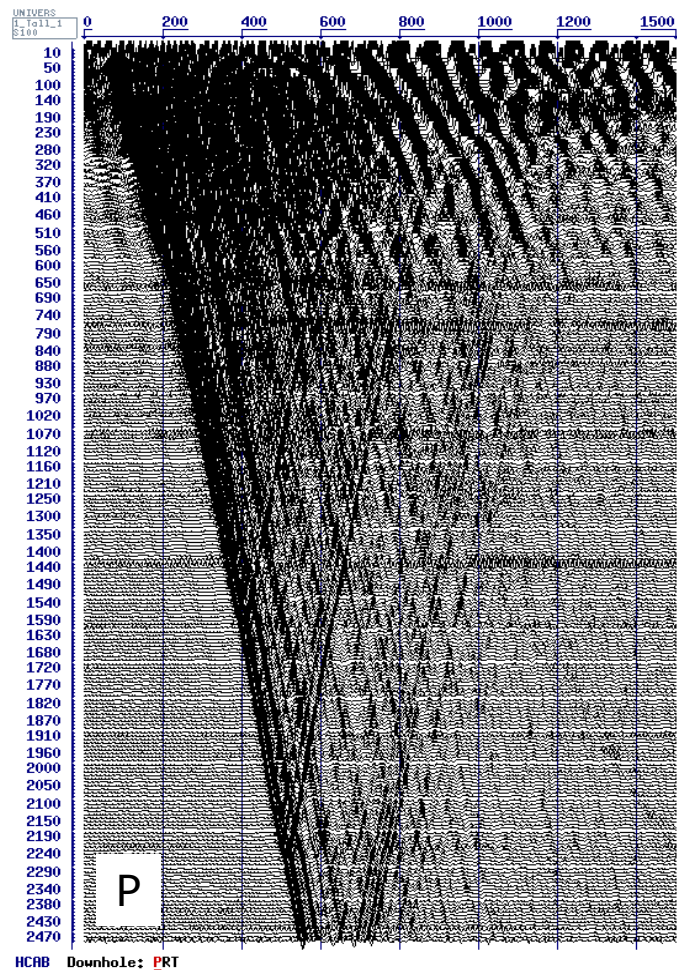
Z-компонента



|XY|

Пикирование годографа проводится как по вертикальной компоненте поля, так и по модулю горизонтальных компонент. В окончательном годографе первых вступлений учитываются поправки за поглощение.

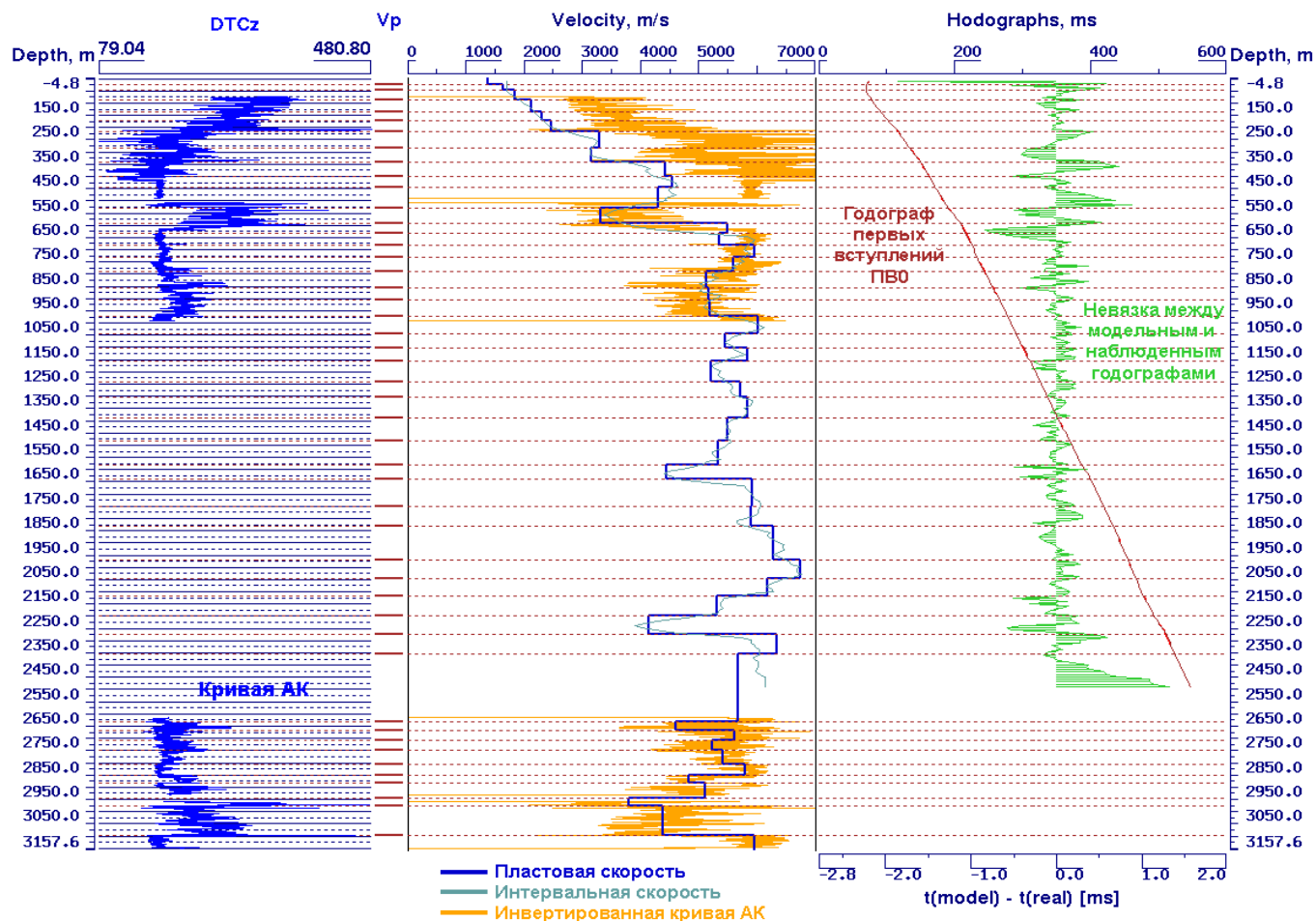
Предварительная обработка, ориентация волнового поля в систему координат PRT на примере удаленного ПВ1



При ориентации волнового поля в систему координат PRT, максимальная доля энергии прямой падающей волны сосредотачивается в компоненте P, что создает необходимые условия для ее выделения и вычитания из волнового поля.

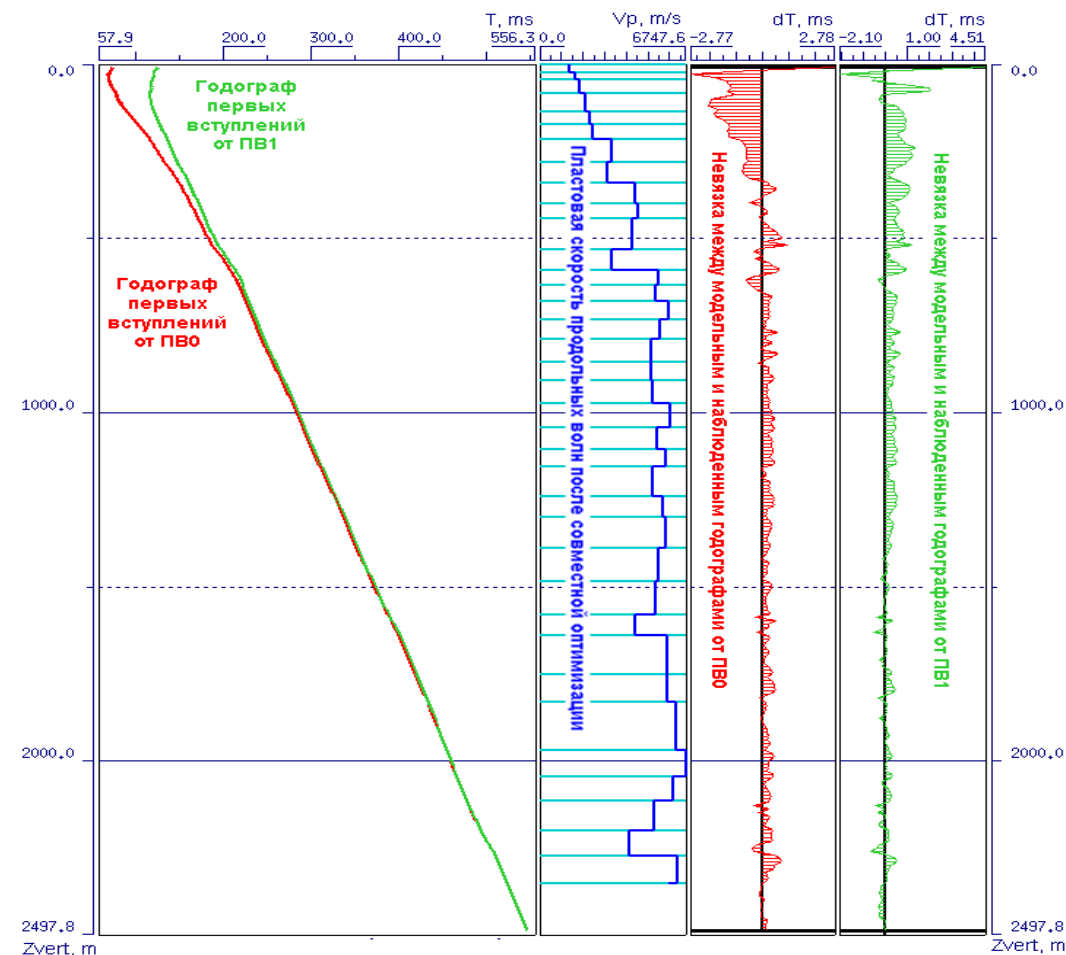
Вектор P направлен из ПВ в точку приема; R – ортогонален P и находится в вертикальной плоскости, проходящей через ПВ и точку приема; T – горизонтальный вектор ортогональный векторам P и R

Кинематическая обработка



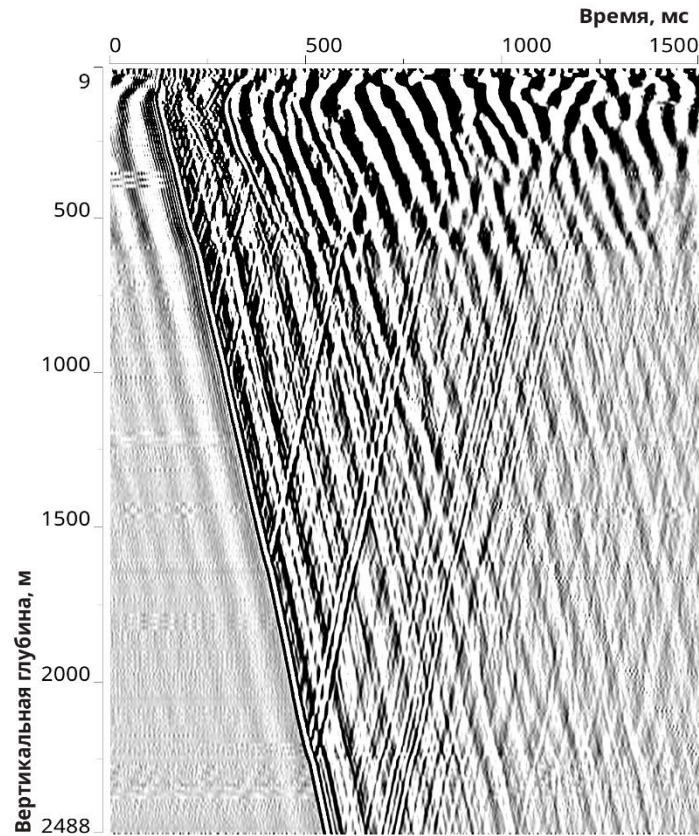
Определение границ пластов скоростной модели и начального приближения пластовых скоростей продольных волн по годографу от ближнего ПВ0

Подбор коэффициентов анизотропии скоростей продольных волн и статических поправок за ПВ в результате совместной оптимизации по годографам ближнего ПВ0 и дальнего ПВ1

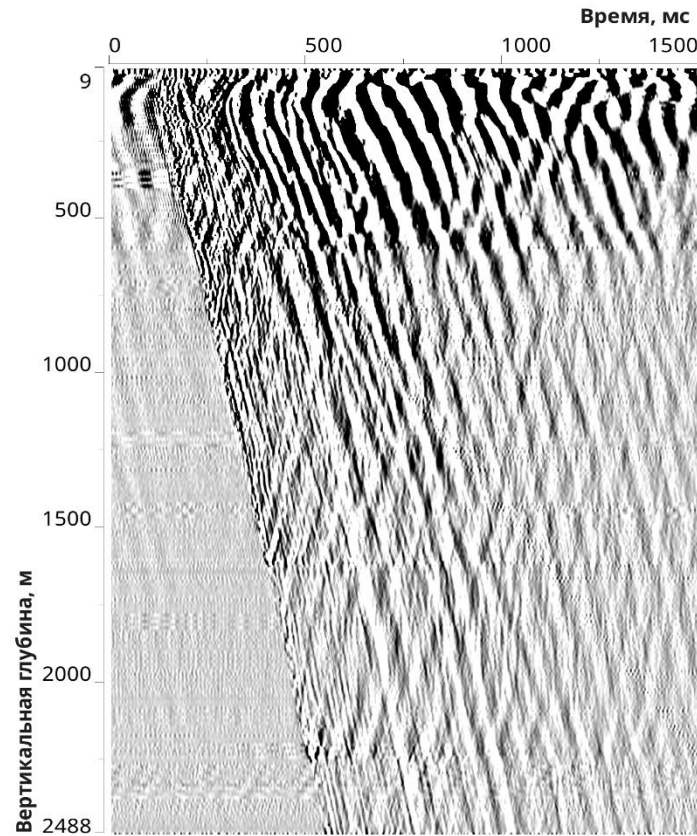


Статическая поправка за ПВ1 составила -4.2 мс

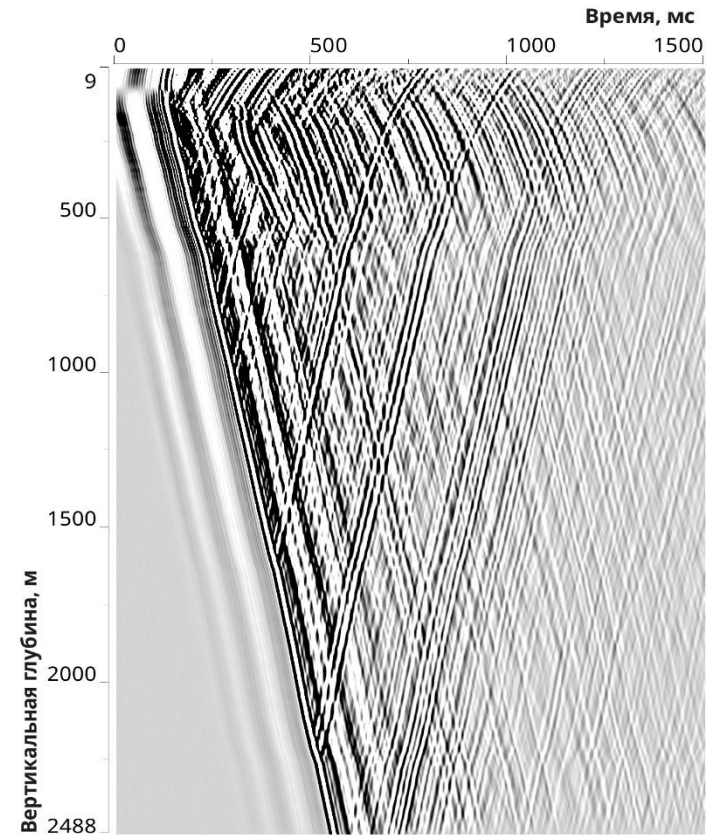
Разделение волнового поля на составляющие шума и полезного сигнала до деконволюции (Z-компонента волнового поля от ПВ1)



Исходное волновое поле



Шумы



Полезные волны

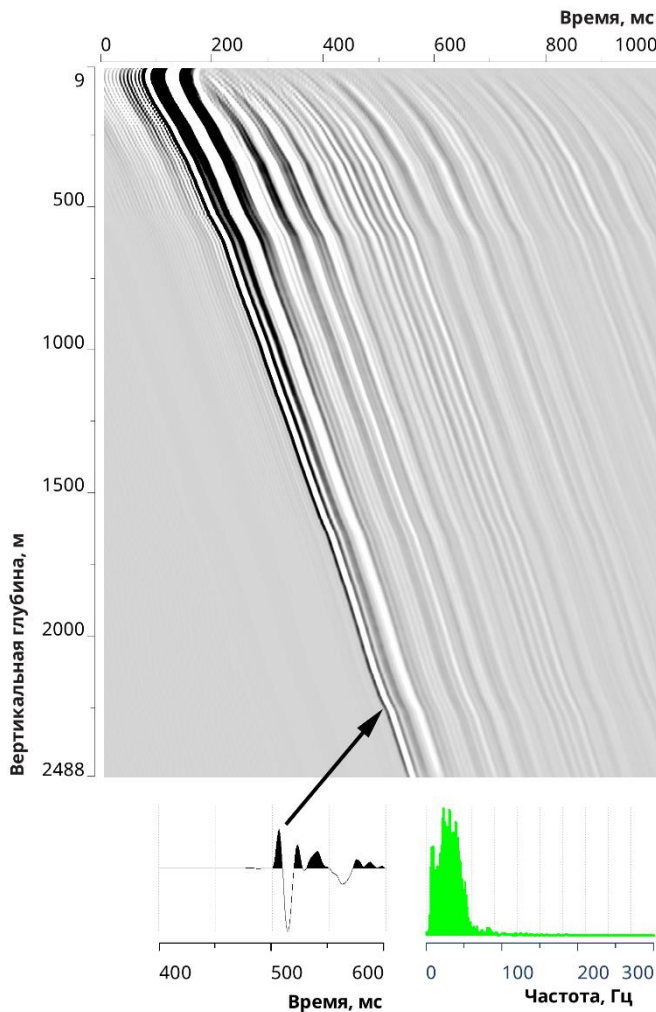
Вначале выделяется прямая (головная в ВЧР) волна вблизи первых вступлений скользящим весовым суммированием вдоль годографа первых вступлений.

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.

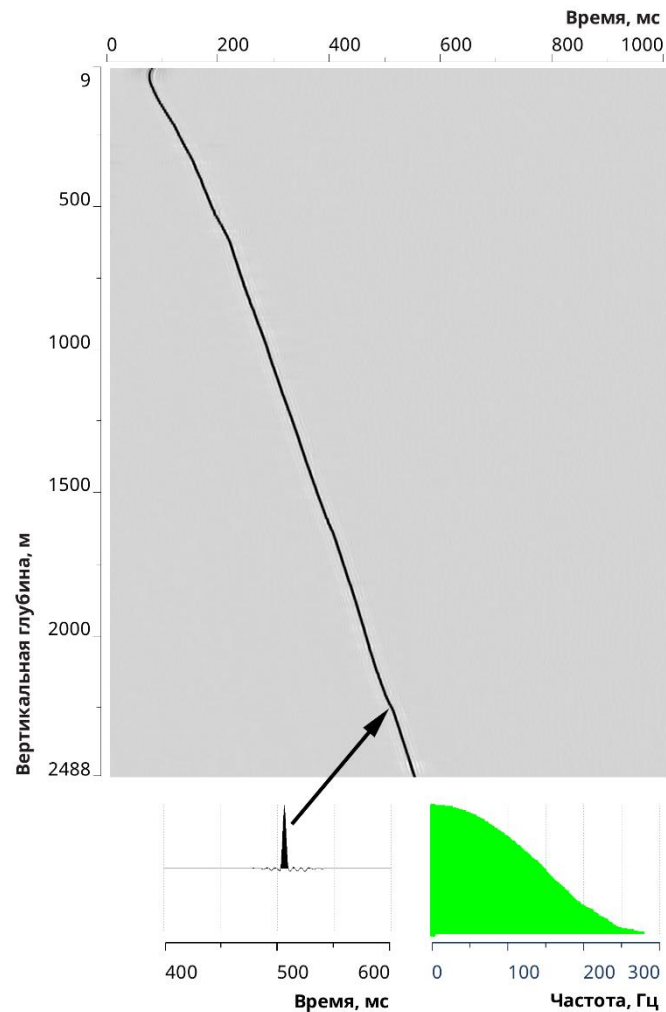
Весь набор регулярных волн (dp, dpds, dpup, dpus, dpupdp, dpupds, ds) определяется также скользящим весовым суммированием алгоритмом Поликор по скоростной модели.

Деконволюция по форме падающей волны на ПВ0 (пиковая деконволюция)

До деконволюции
(Р-компонента)

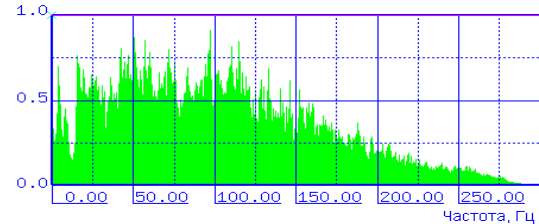
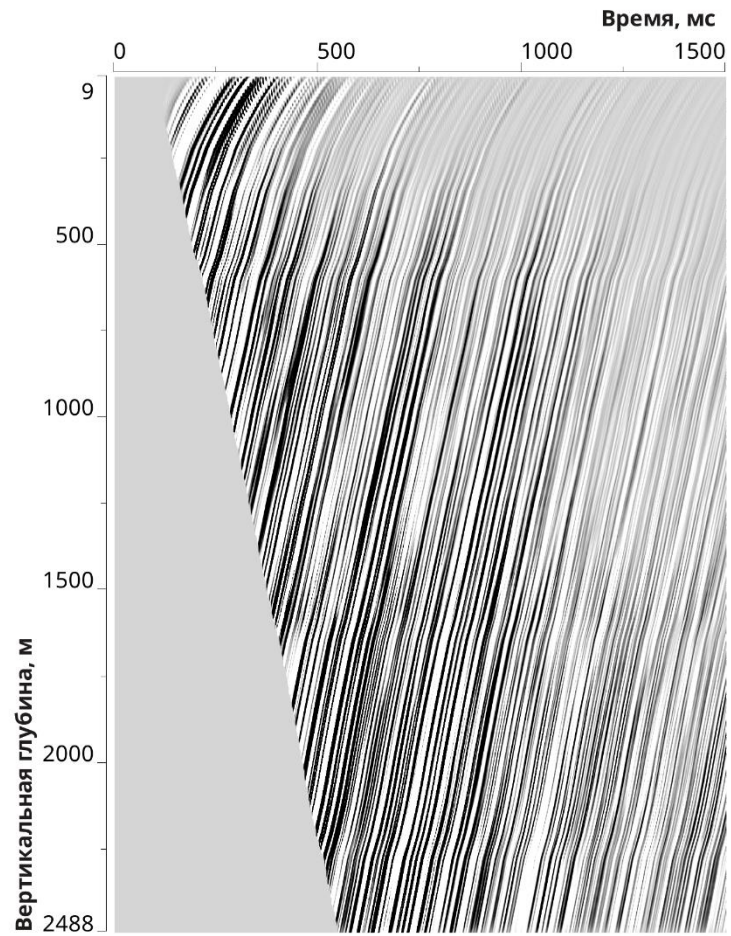


После
деконволюции

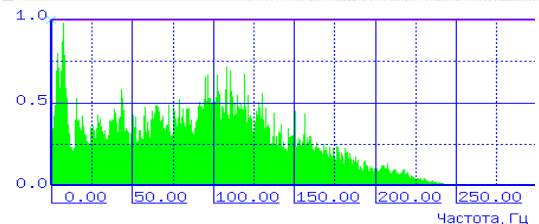
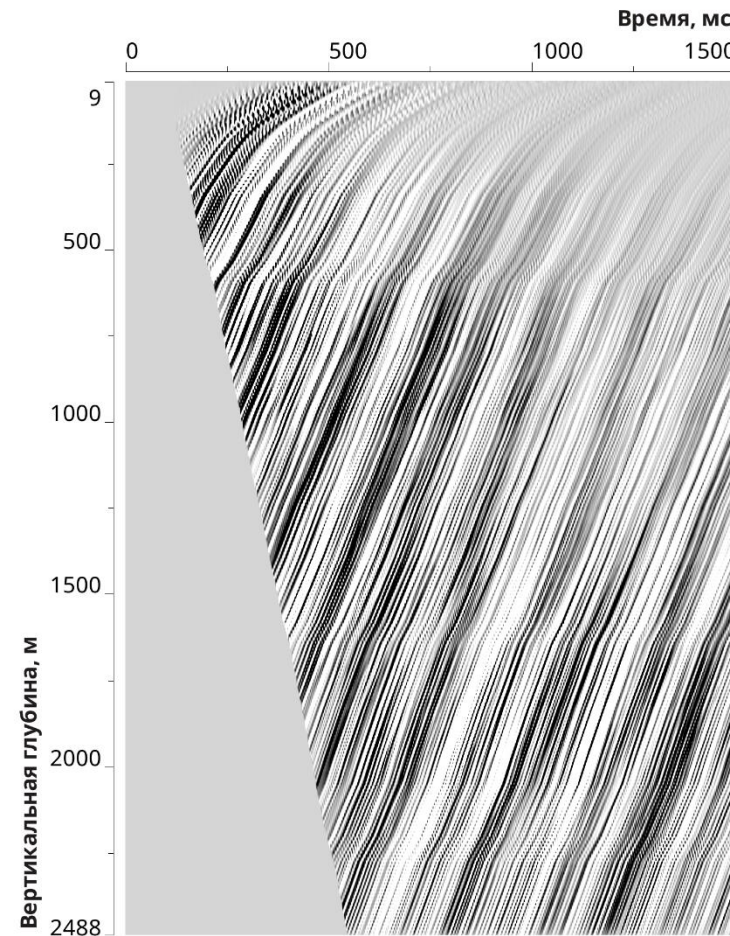


Пиковая деконволюция для ближнего ПВ обычно рассчитывается по падающей волне на каждой глубине и применяется ко всем выделенным компонентам полного поля. Для удалённых ПВ применяется либо один оператор по осреднённой падающей волне, либо комплексный - до головной волны потрассно, далее одним оператором.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

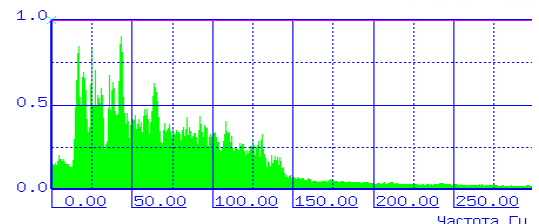
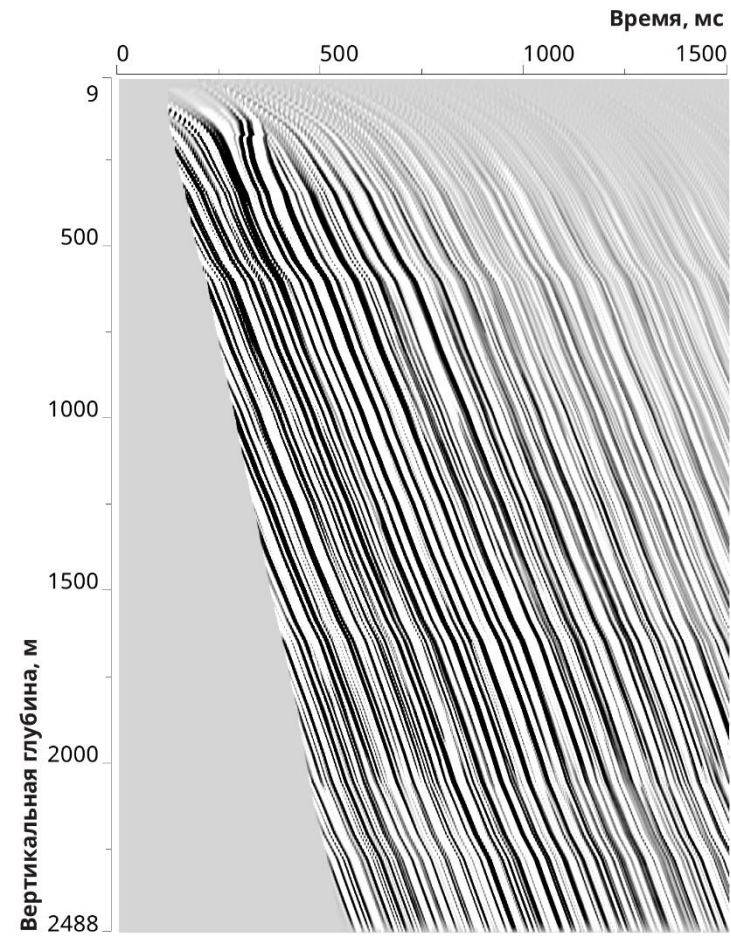
Выделенные отраженные и обменные волны после пиковой деконволюции (ПВ1)



Отраженные продольные волны (Z)

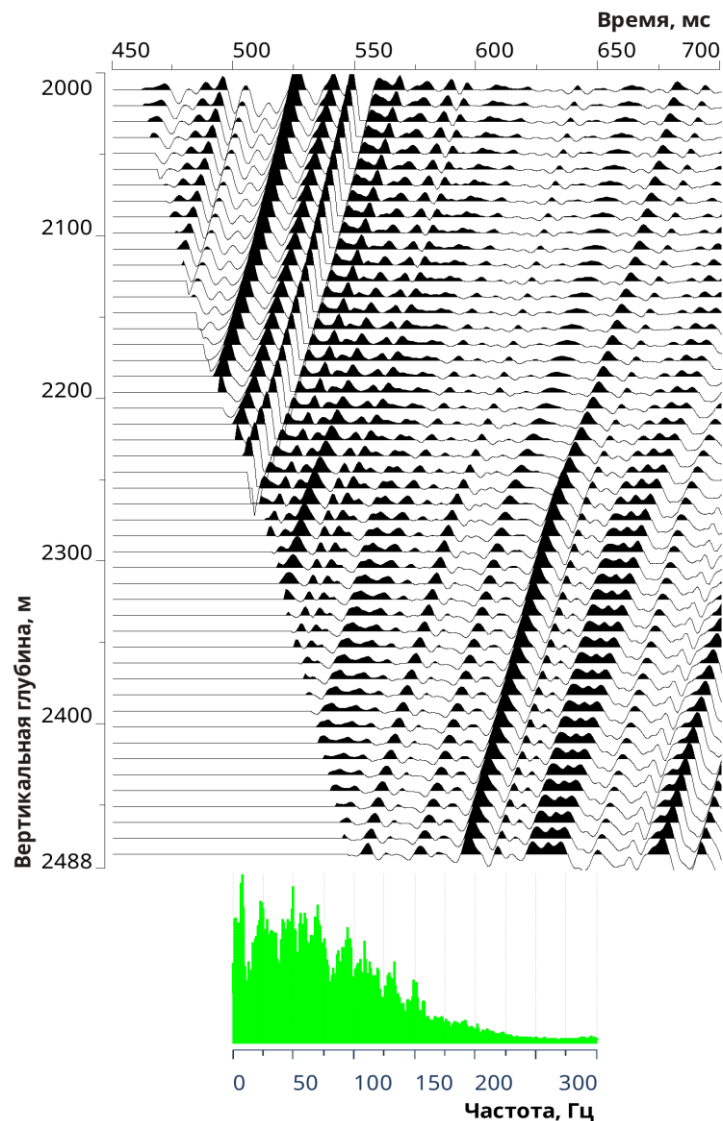


Отраженные обменные волны (X)

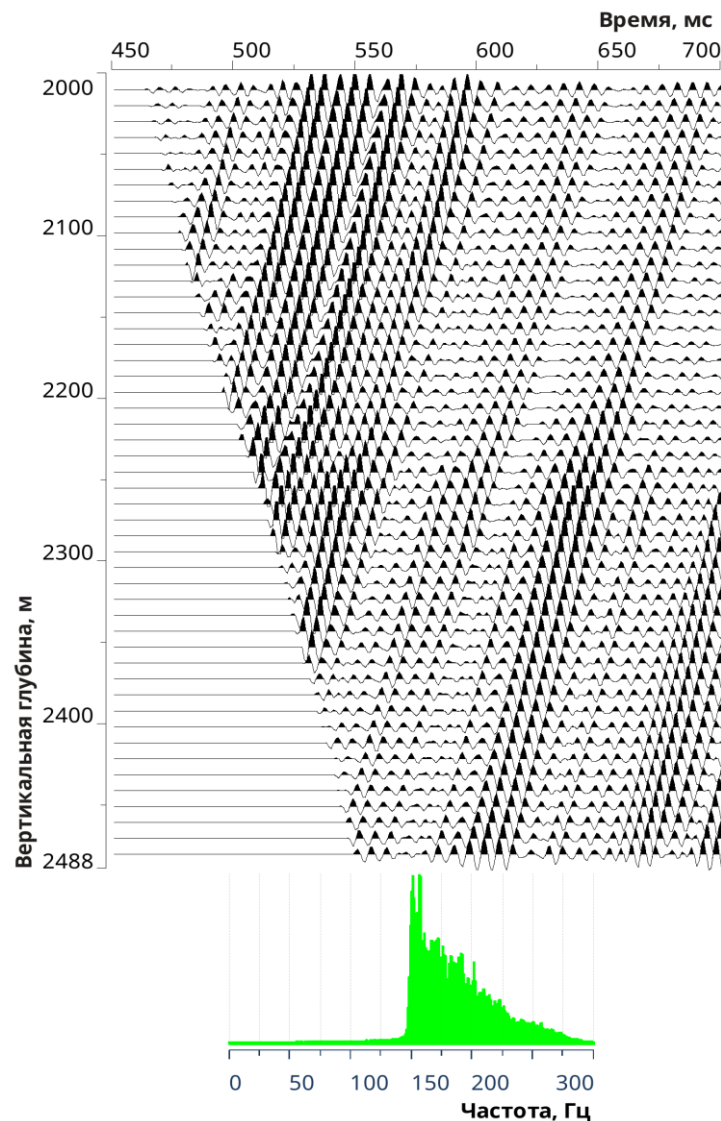


Падающие обменные волны (X)

Высокочастотная часть продольных отражений по данным от ПВО



Отраженные продольные волны в полном спектре

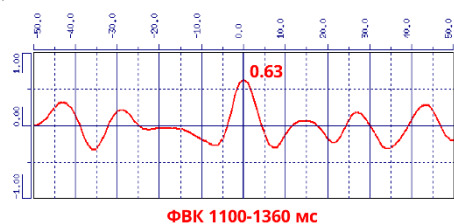
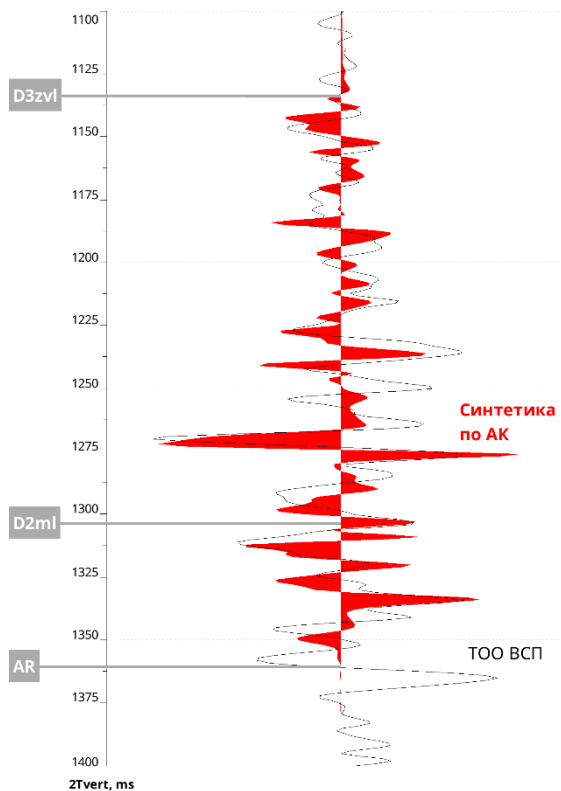


Высокочастотная составляющая отраженных продольных волн (145-155-250-300 Гц)

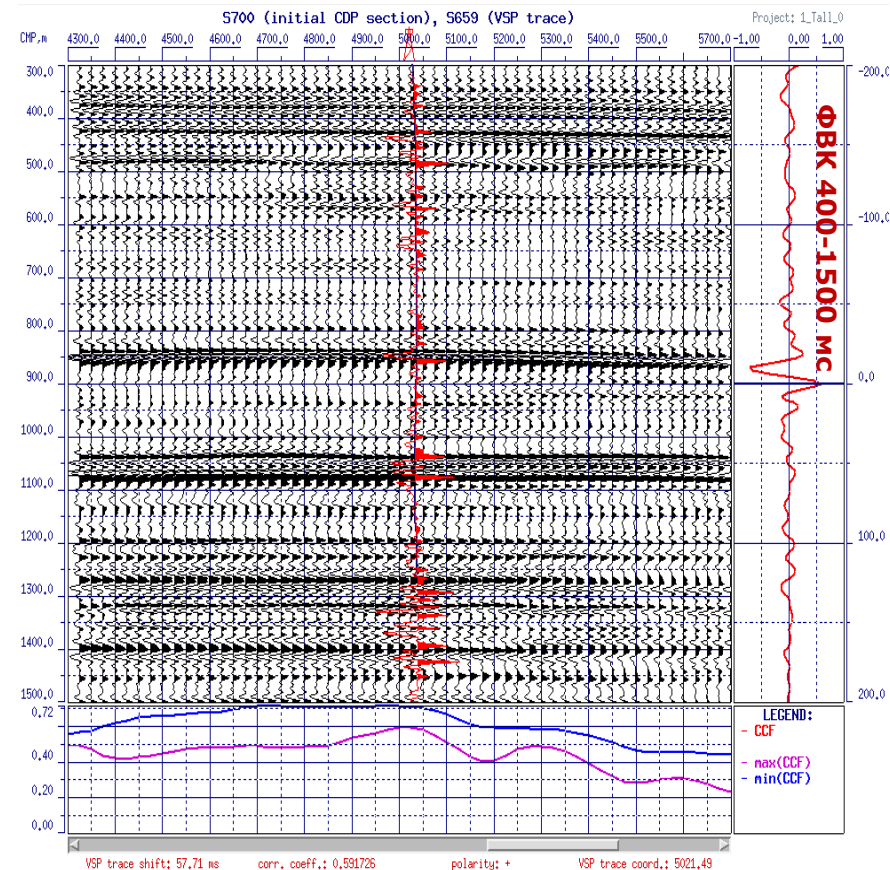
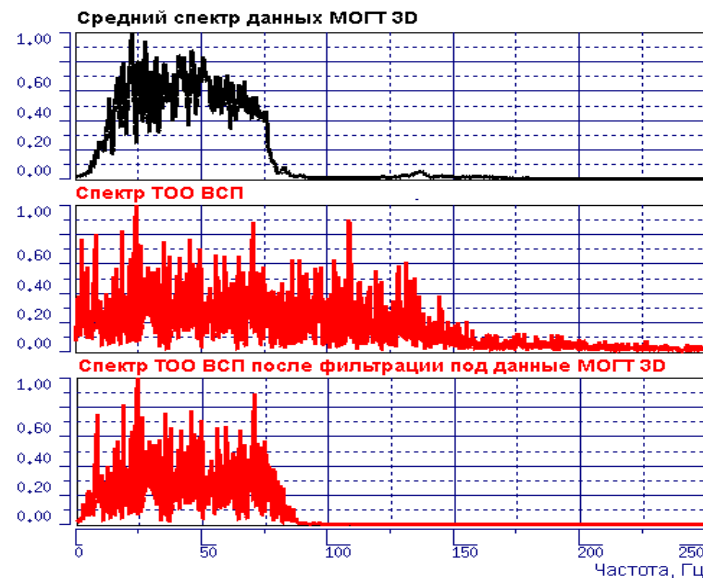
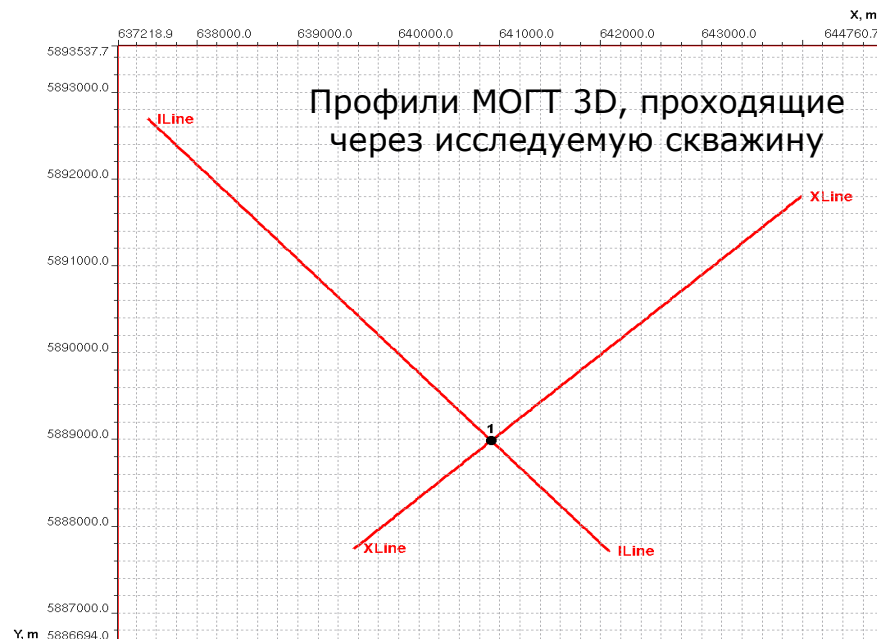
Полоса возбуждения свип-сигнала виброисточника сейсмических колебаний задавалась равной 6-150 Гц. При этом частотный диапазон волновых полей, полученных в результате обработки по технологии СВЧ, составил 1-300 Гц.

Наличие уверенно прослеживаемых протяженных фаз целевых продольных отражений на показанном фрагменте результирующего волнового поля после применения ФВЧ доказывает возможность выделение полезного сигнала в области частот за пределами заданной полосы частот свип-сигнала.

Увязка данных ГИС, ВСП и наземной сейсморазведки МОГТ 3D

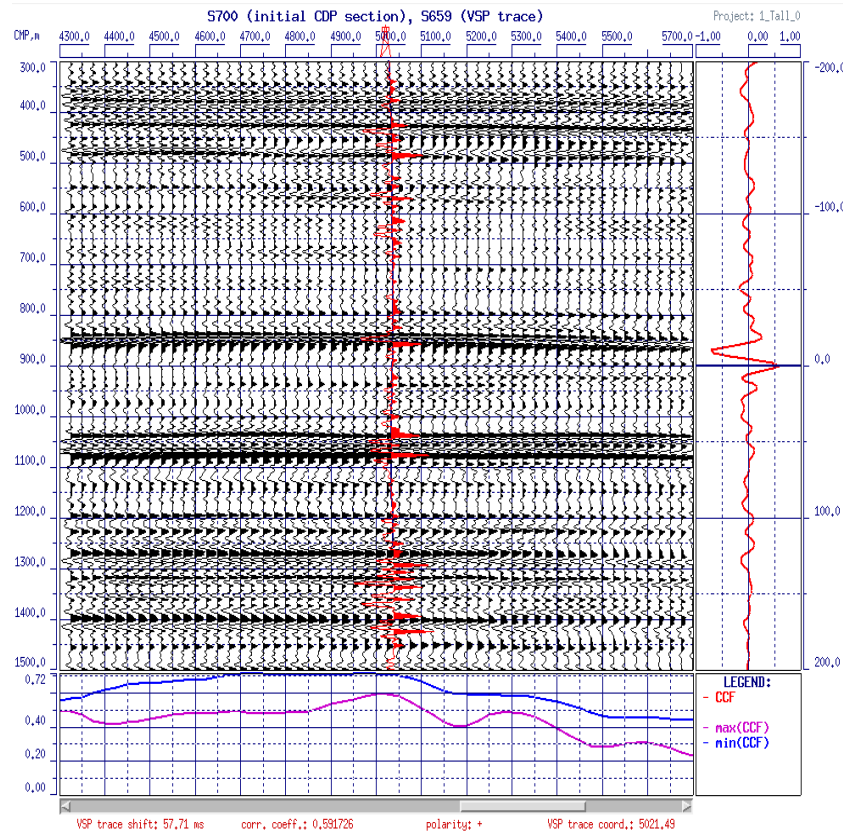


ВКФ между TOO ВСП и синтетической сейсмограммой, полученной по данным АК в результате свертки с импульсом из падающей волны ВСП.

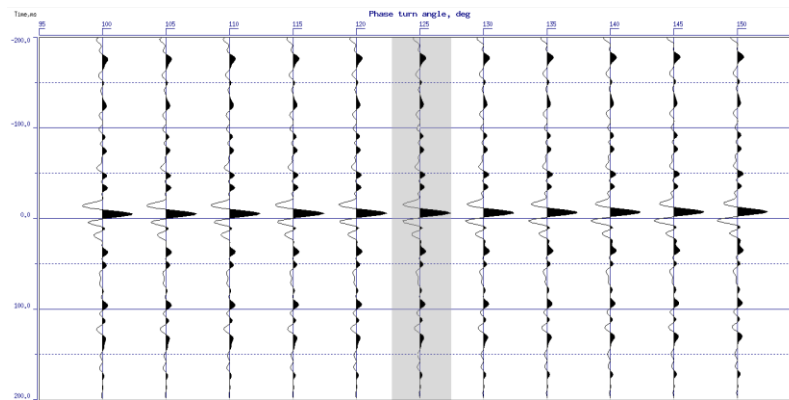


Привязка профиля данных МОГТ 3D к TOO ВСП, которая увязана с литологией и ГИС. Перед увязкой TOO ВСП фильтруется под данные МОГТ (0-10-75-90 Гц). Из ВКФ между TOO ВСП и трассой МОГТ видно, что сигнал в данных МОГТ не является нульфазовым, перед увязкой необходима коррекция фазы импульса МОГТ.

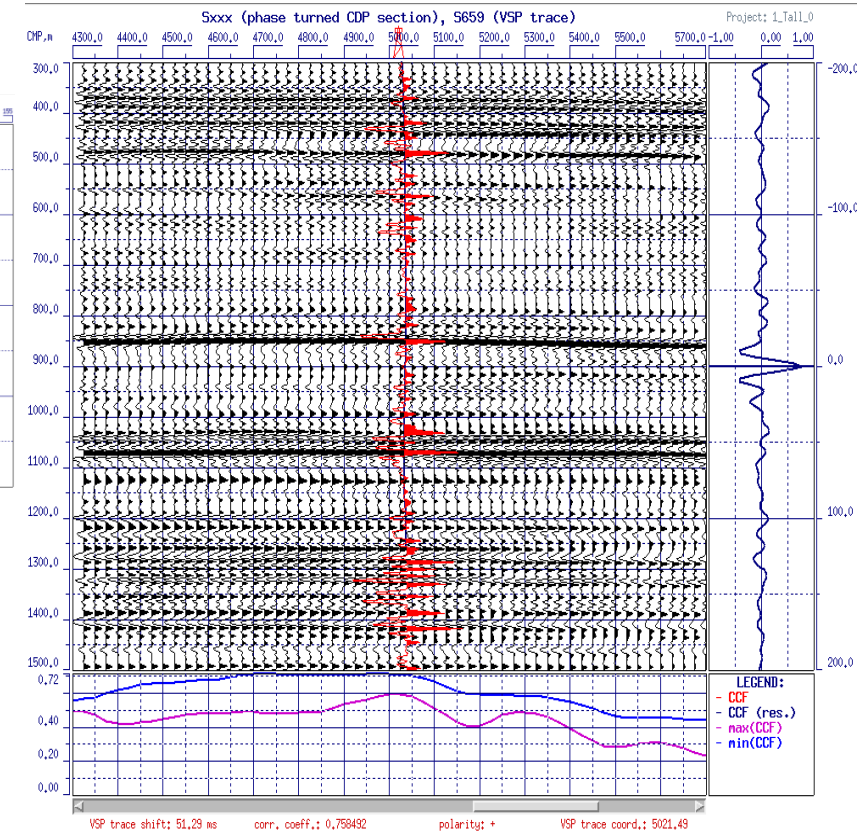
Коррекция фазы сигнала данных МОГТ 3D



Привязка до коррекции фазы импульса МОГТ 3D



Подбор угла поворота фазы



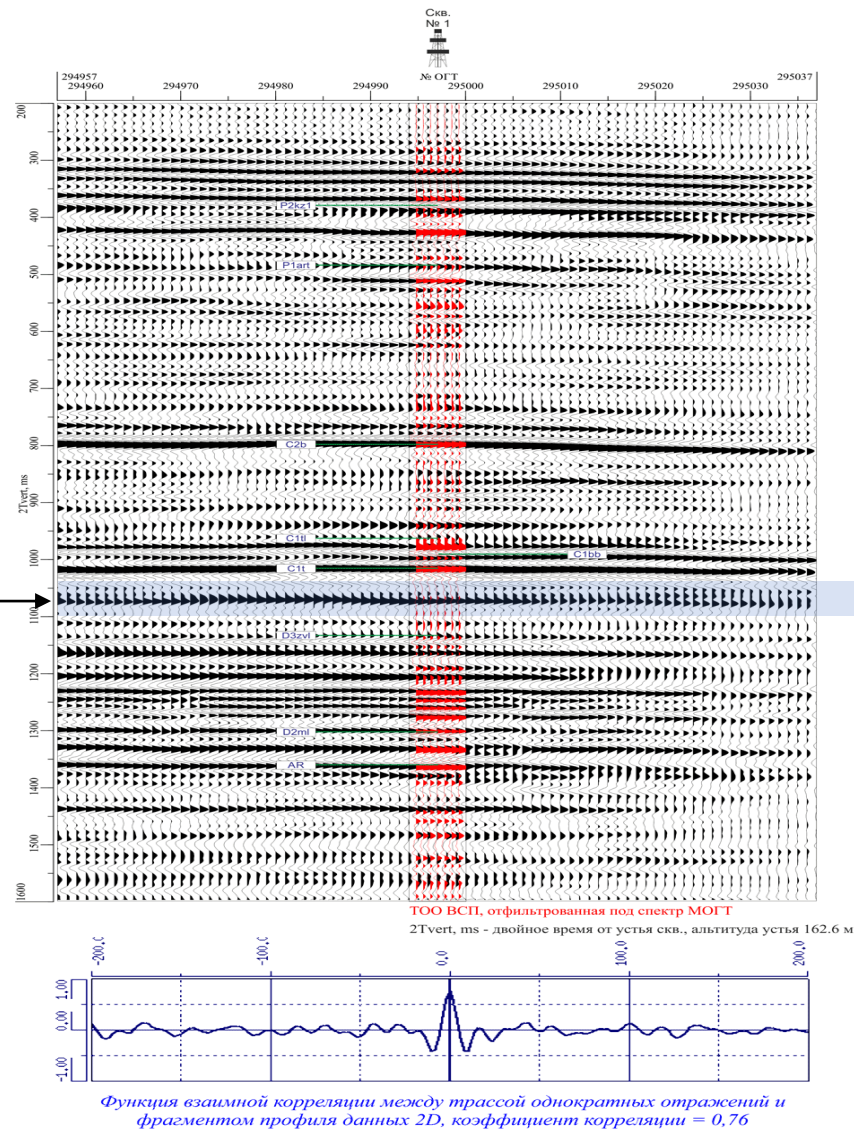
После поворота фазы импульса МОГТ 3D на 125°

Временной сдвиг между ТОО ВСП и трассами разреза МОГТ 3D после коррекции фазы сигнала составил 51.24 мс.

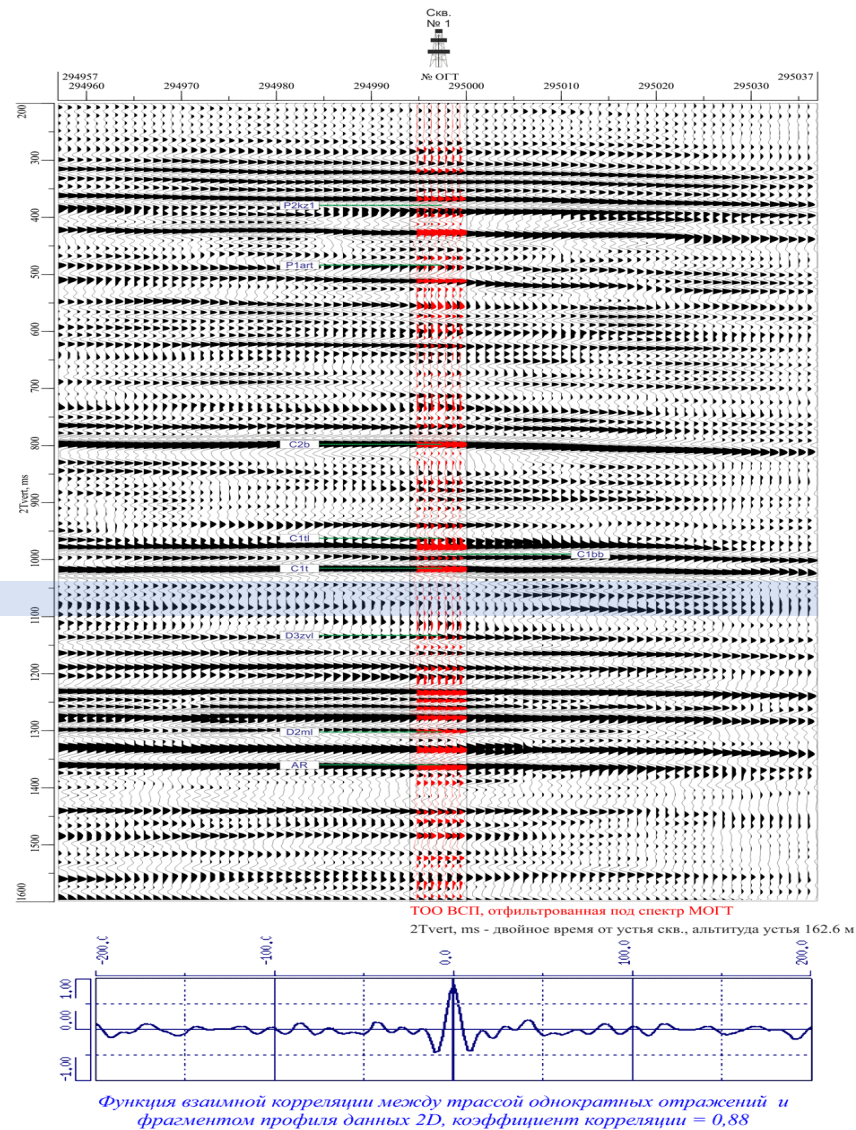
Величина временного сдвига обусловлена в основном разницей в уровнях приведения данных ВСП и МОГТ.

Соответствующий коэффициент корреляции между ТОО ВСП и трассой МОГТ 3D с учетом искривления ствола скважины составил 0.76 на интервале 400-1500 мс.

Деконволюция данных МОГТ 3D по ТОО ВСП



До деконволюции

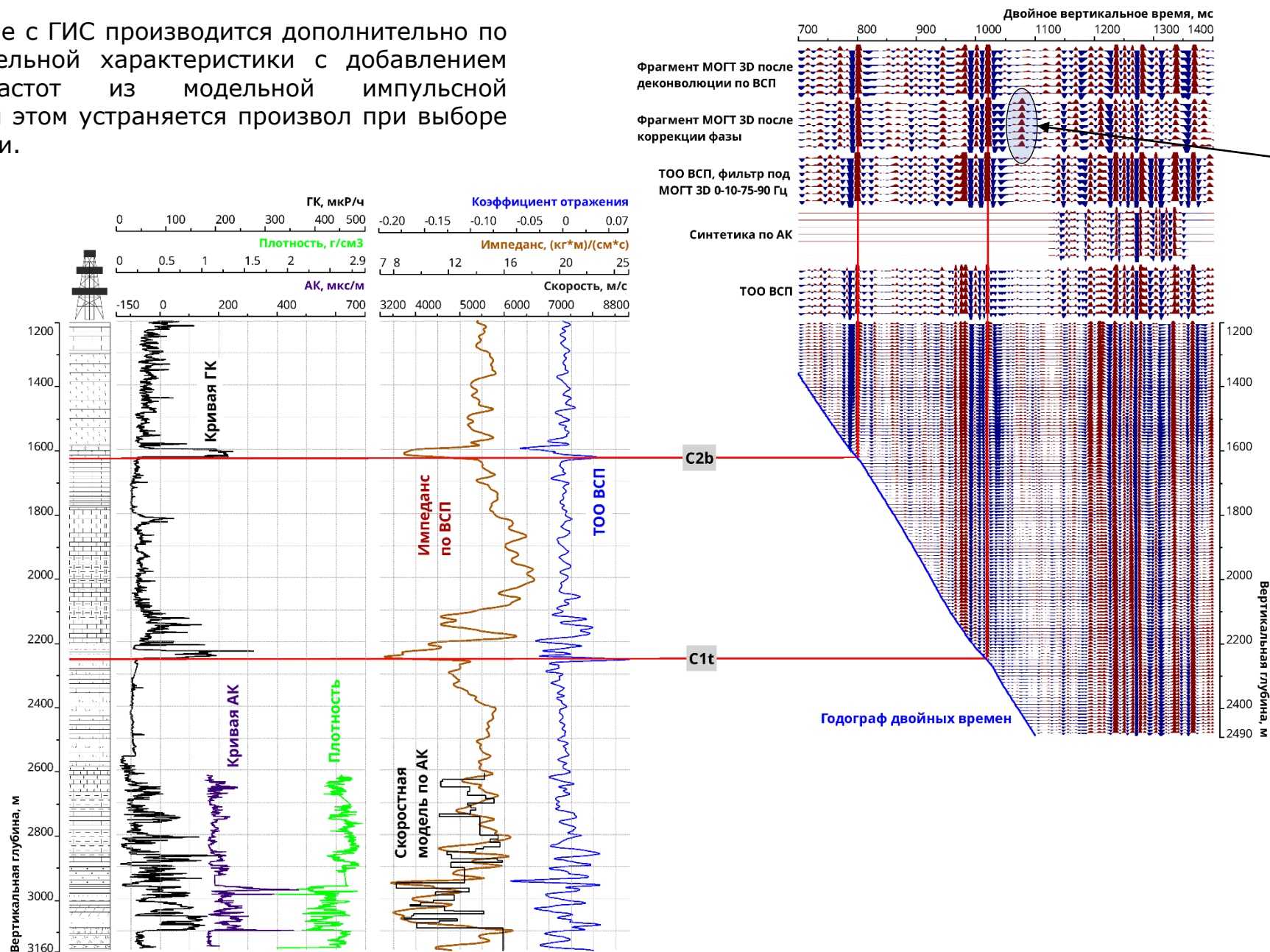


После деконволюции

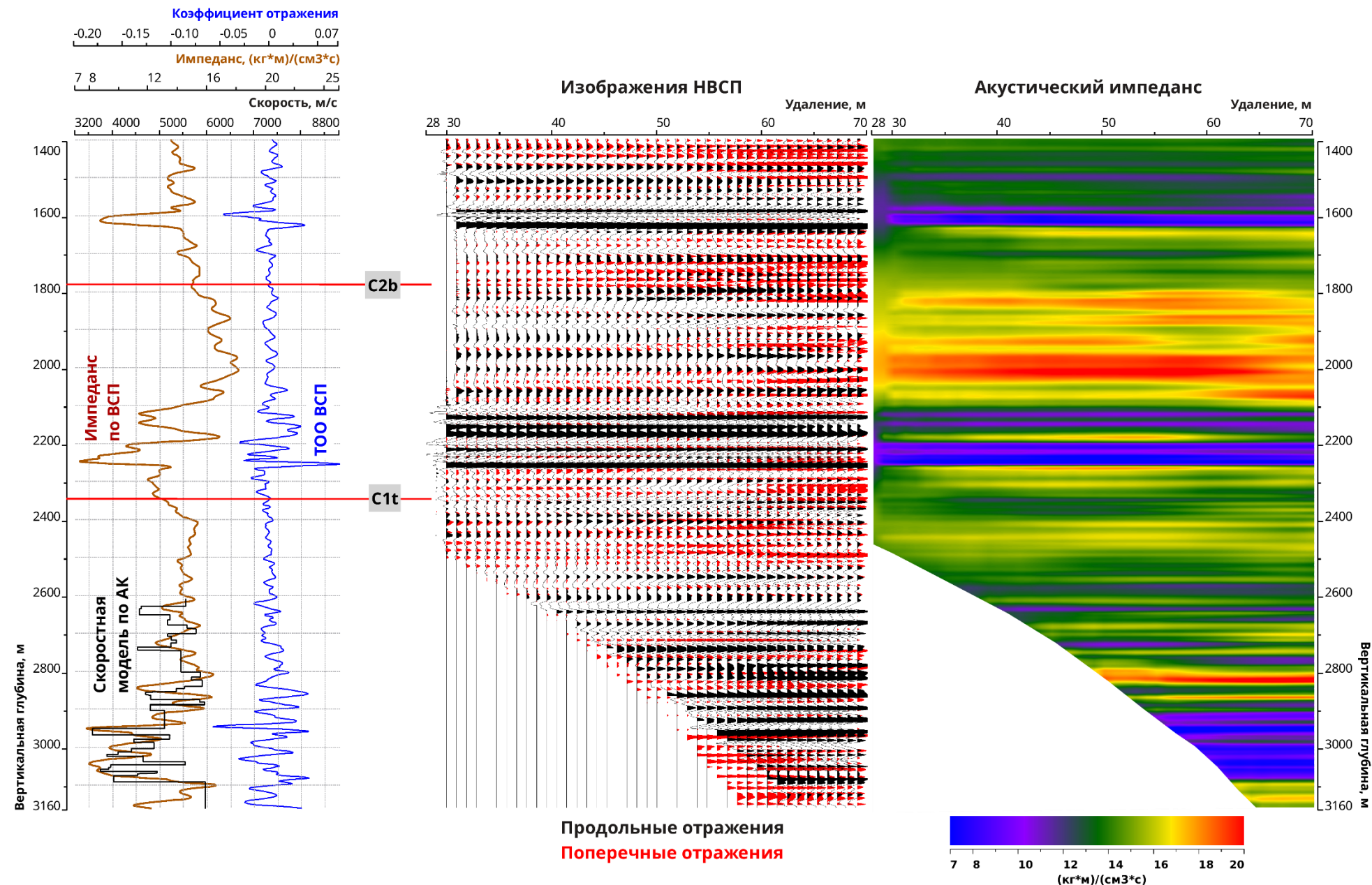
После деконволюции коэффициент корреляции между ТОО ВСП и трассой 3D увеличился от значения 0.76 до 0.88

Фрагмент увязки ВСП с данным ГИС и наземной сейсморазведки 3D

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.



Изображения околоскважинного пространства в направлении на удаленный ПВ1

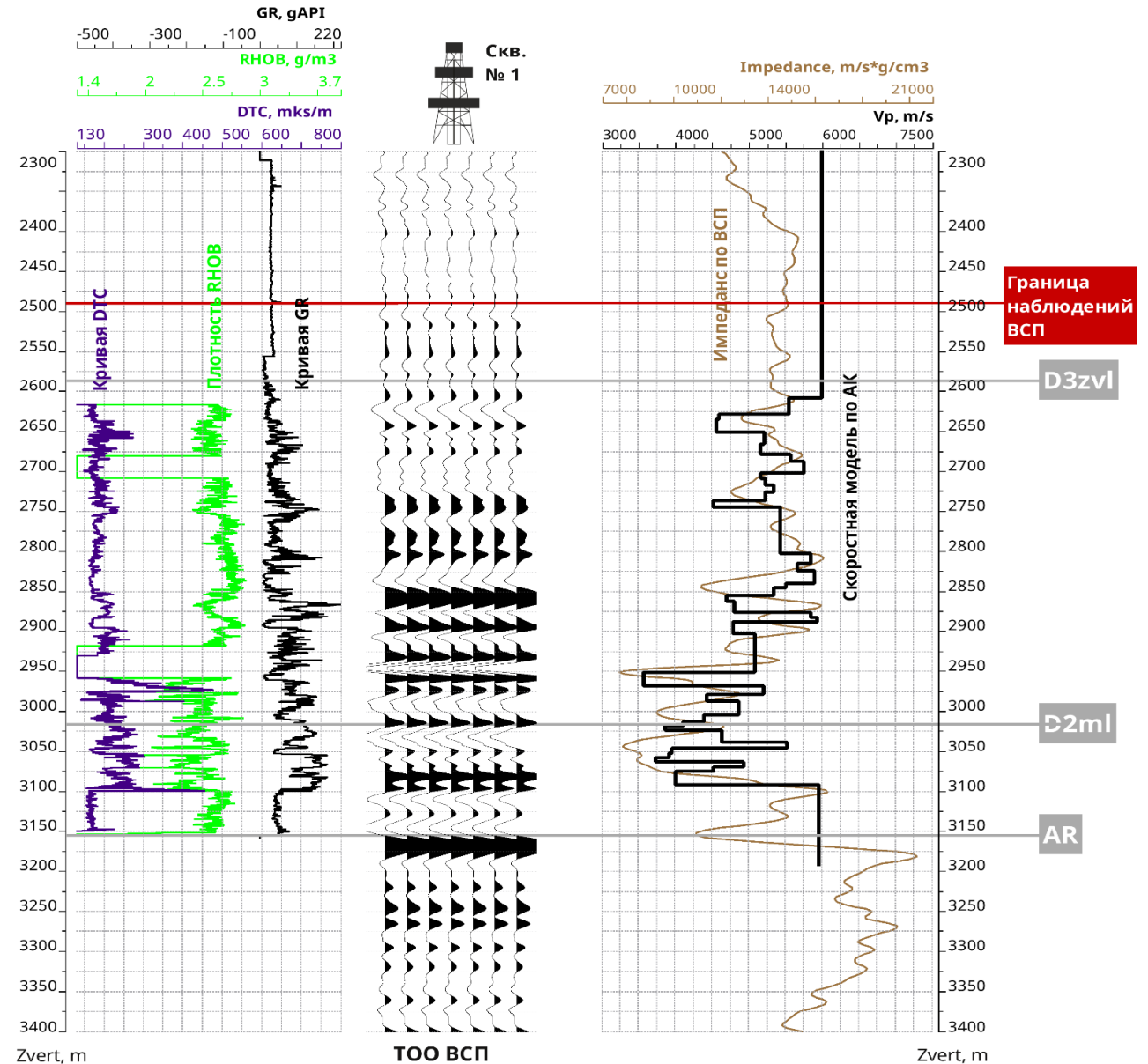


Прогноз акустических импедансов ниже забоя скважины

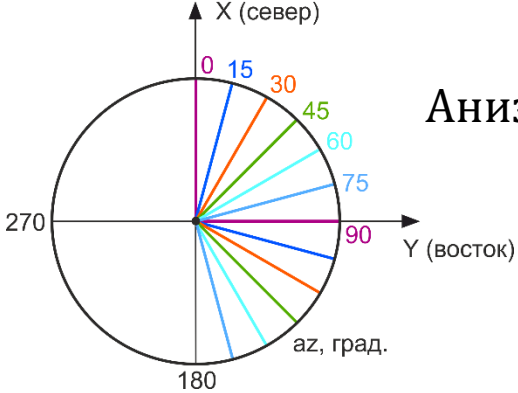
Наличие хорошо прослеживаемых отражений на нижних трассах ВСП даёт возможность получить акустические импедансы ниже забоя скважины.

Скорости для прогнозирования в масштабе глубин можно рассчитать пропорционально акустическому импедансу либо присвоить после корреляции маркирующих отражений из соседних скважин.

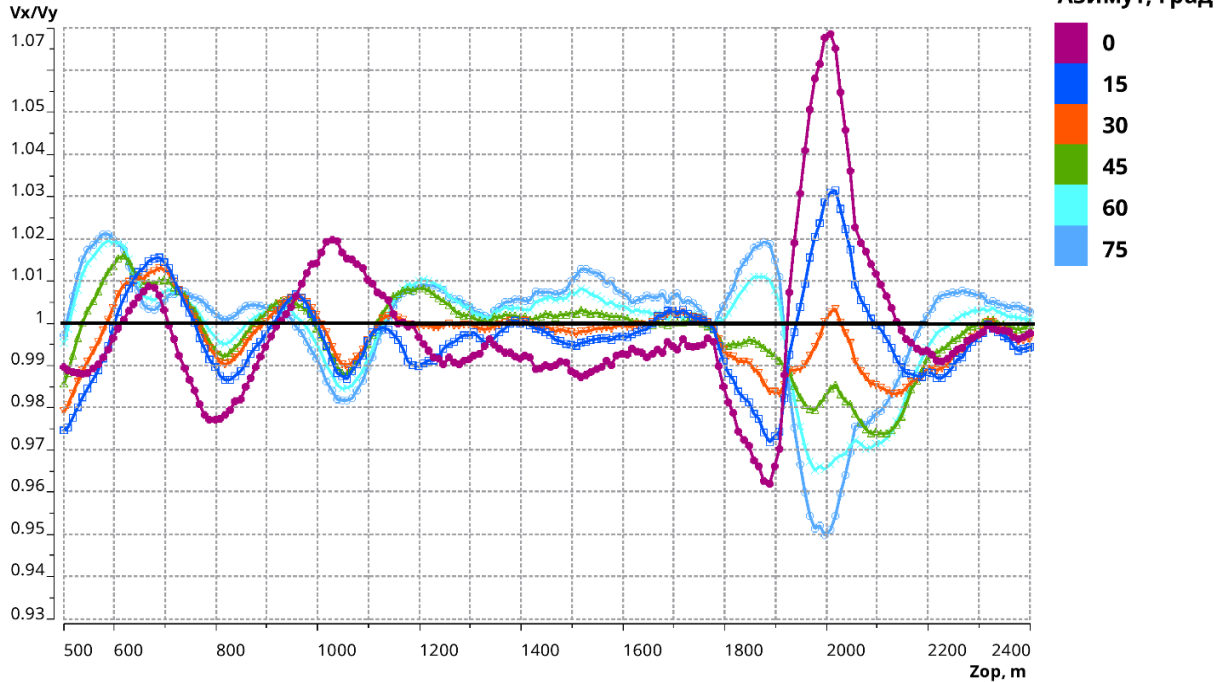
В исследуемом интервале дана кривая АК, по которой построена тонкослоистая скоростная модель. Совпадение скоростной кривой по АК с импедансом по ВСП подтверждает достоверность прогноза.



Оценка анизотропии скоростей поперечных волн для выделения интервалов с вертикальной трещиноватостью



Анизотропия: $\frac{V_x(az)}{V_y(az)}$



Соотношение интервальных скоростей поперечных волн с поляризацией от 0° до 75° к интервальным скоростям поперечных волн с ортогональной поляризацией для ПВ1

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

№ интервала	Стратиграфическая привязка	Вертикальная глубина	Величина анизотропии	Направление трещиноватости
		(м)	(%)	
1	уфимский (P1u), кунгурский (P1k) ярусы	550-650	2.1	по азимуту 75°
2	Артинский (P1ar), сакмарский (P1s) ярусы	750-850	2.3	восток
3	ассельский ярус (P1a), в районе кровли верхнего карбона (C3)	950-1100	2.0	север
4	серпуховский ярус (C1s)	1850-1900	3.8	восток
5	окский надгоризонт (C1oks)	2000	6.8	север

Анизотропные интервалы разреза с предполагаемой вертикальной трещиноватостью

Результаты

1. Проведена обработка и интерпретация реальных данных ВСП по технологии СВЧ, зарегистрированных от виброисточника на месторождении в Оренбургской области Южного Урала.
2. Продемонстрирована и обоснована возможность выделения полезного сигнала в полосе частот, находящейся за пределами частот возбуждения виброисточника.
3. Выполнена однозначная динамическая увязка данных ГИС, ВСП и наземной сейсморазведки 3D для привязки отражений на поверхности к геологическому разрезу. Скорректирована фаза сигнала данных 3D, выполнена деконволюция для подавления кратных волн.
4. По данным от удаленного ПВ1 построены изображения околоскважинного пространства на продольных и поперечных волнах, а также разрез акустических импедансов, где уверенно выделяются контрастные отражающие горизонты.
5. Построен прогноз акустических импедансов ниже забоя скважины.
6. Проведено исследование анизотропии поперечных волн для выделения интервалов с вертикальной трещиноватостью в околоскважинном пространстве.

Выводы

1. Обработка данных ВСП по технологии СВЧ дает возможность значительно увеличить информативность сейсморазведки за счет максимально возможного расширения спектра (1-250 Гц при шаге дискретизации 1 мс).
2. Наличие устойчиво коррелируемых протяженных фаз полезного сигнала на результирующих волновых полях в высокочастотной области спектра показывает возможность получения высокоразрешенных результатов в более широкой полосе частот, чем полоса возбуждения виброисточника.
3. Компетентная обработка данных ВСП при надежной увязке ТОО с данными ГИС позволяет использовать ВСП для оценки качества обработки МОГТ 2D/3D. Высокое значение коэффициента корреляции между ТОО ВСП, и трассами разреза МОГТ говорит о высоком качестве результатов обработки данных наземной сейсморазведки.
4. Эффективность технологии СВЧ дает возможность дополнительно исследовать азимутальную анизотропию в околоскважинном пространстве для выделения интервалов с вертикальными трещинами, строить прогноз акустических импедансов ниже забоя скважины, выделять и подавлять кратные волны на разрезах наземной сейсморазведки.

Рекомендации

1. Для повышения информативности результатов располагать ближний ПВ на удалении от скважины, составляющем 10%, а выносной ПВ на удалении от скважины, составляющем не более 40% от глубины залегания целевых горизонтов. Дополнительно, в интервале глубин 0-400 м, отрабатывать ближний ПВ, расположенный на удалении менее 100 м от скважины для определения скоростей и анизотропии в ВЧР.
2. Для расширения спектра относительно диапазона частот вибратора, использовать укороченный свип-сигнал длиной не более 8 с и без конусного сглаживания по краям.

<http://geovers.com>
<https://petrotrace.ru>