



Геомодель 2024

26-я конференция по вопросам геологоразведки
и разработки месторождений нефти и газа

9–12 сентября 2024 г. | Геленджик, Россия

Оценка реальных возможностей и способы повышения информативности обработки данных ВСП с использованием интеллектуального робота АРИО

А.А.Табаков, Ю.А.Степченков, В.Н.Ференци



Оптимальная обработка данных сейсморазведки является трудоемким процессом, требующим выполнения большого количества операций при высокой компетенции обработчика. Представлена концепция автоматической обработки данных ВСП по технологии СВЧ (Сейсморазведка Высокой Четкости) с использованием интеллектуального робота АРИО (Анализ данных, принятие Решения, Исполнение, Оценка результата), которая заключается в воплощении интеллектуальной деятельности обработчика. На любой стадии обработки робот АРИО может быть продолжен интерактивно и вновь автоматически.

Технология 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.

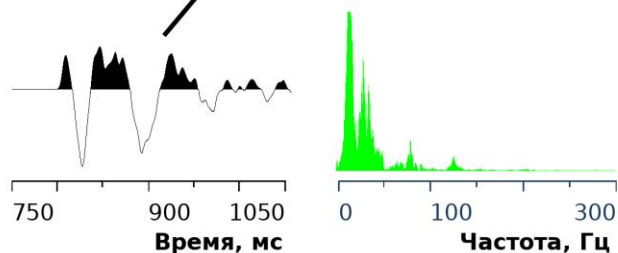
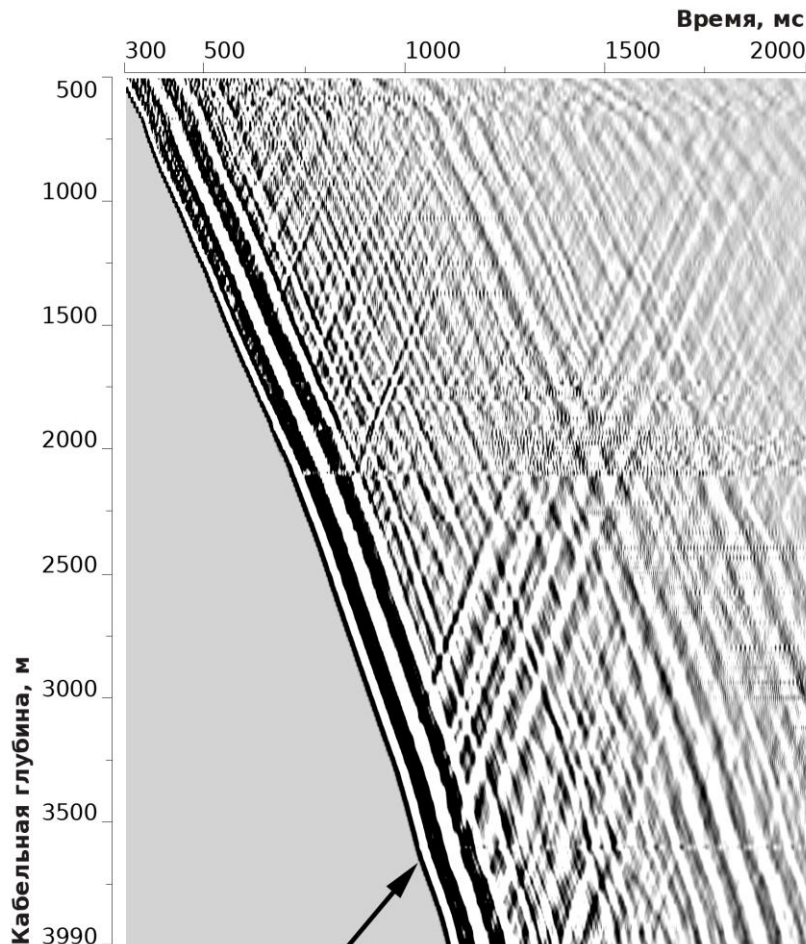
На примере коррекции статики и формы импульса по контрольному прибору (КП), определения годографов первых вступлений, построения скоростной модели среды и селекции волн различного типа сопоставляются результаты ручной и автоматической обработки реальных данных ВСП.

Демонстрируется возможность обработки реальных данных с достижением частотного диапазона 0-300 Гц (8+ октав, по сравнению с обычными 3.5-4 октавами), что существенно повышает информативность результатов.

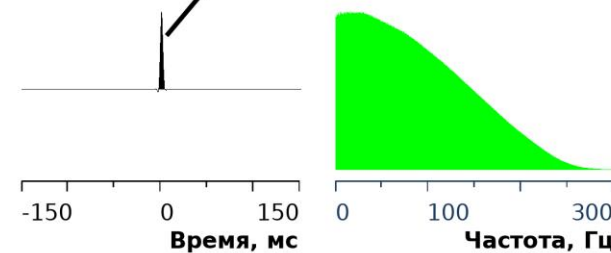
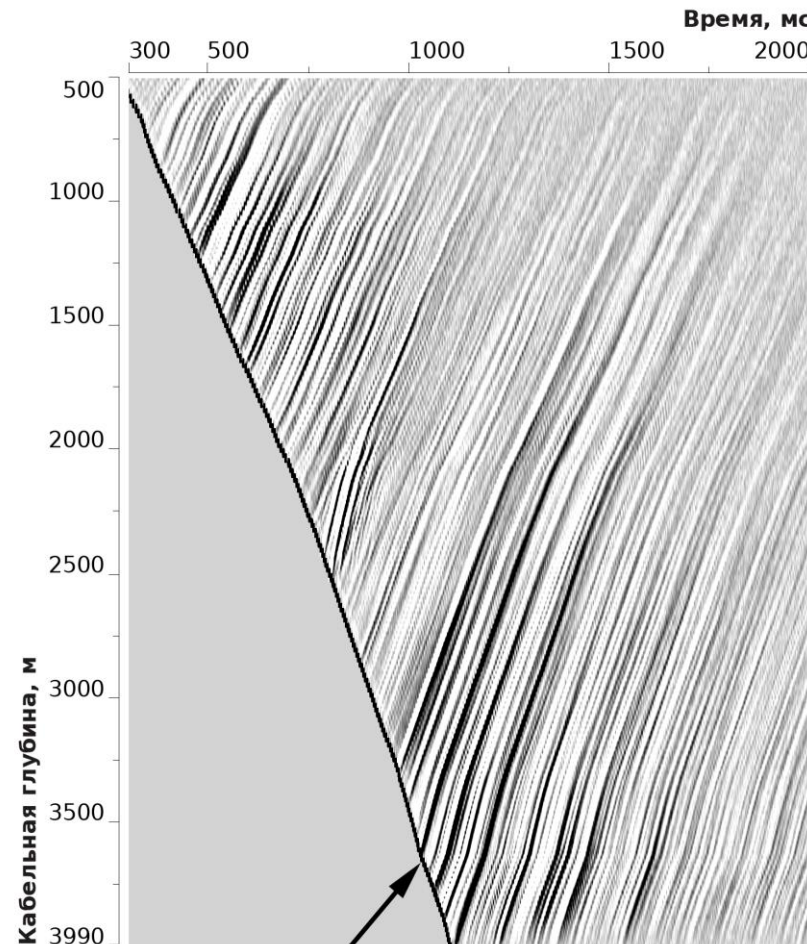
Достоверность полученных результатов подтверждается прямым сопоставлением отражательной характеристики ВСП с данными наземной сейсморазведки с возможностью деконволюции ОГТ к ВСП и её инверсии с данными ГИС с возможностями контроля глубин ВСП и привязки отражений с точностью до 1 м.

Фрагменты исходного волнового поля и поля полезных волн, полученного в результате обработки по технологии СВЧ с применением робота АРИО

Исходное волновое поле



Результат обработки СВЧ (прямая волна и отраженные продольные волны)



Предварительная обработка

- Отбраковка сбойных трасс.
- Полосовой и режекторный фильтр.
- Оценка и вычитание шумов до первых вступлений.
- Коррекция за ОМ.

Коррекция по КП и определение первых вступлений

- Интеллектуальный анализ характеристик волнового поля.
- Построение предварительного годографа первых вступлений на интервалах устойчивой корреляции.
- Моделирование вступлений в областях неустойчивой корреляции с использованием генерализованной скоростной модели.
- Расчет статики для всех КП, выбор наилучшего КП;
- Выбор эталонной трассы из записей лучшего КП, построение операторов и коррекция формы импульса глубинного зонда.
- Пикирование результирующего годографа первых вступлений.

Поляризация и ориентация, предсказывающая деконволюции

- Автоматическое определение параметров поляризации волнового поля.
- Ориентация волнового поля в систему PRT.
- Предсказывающая деконволюция.

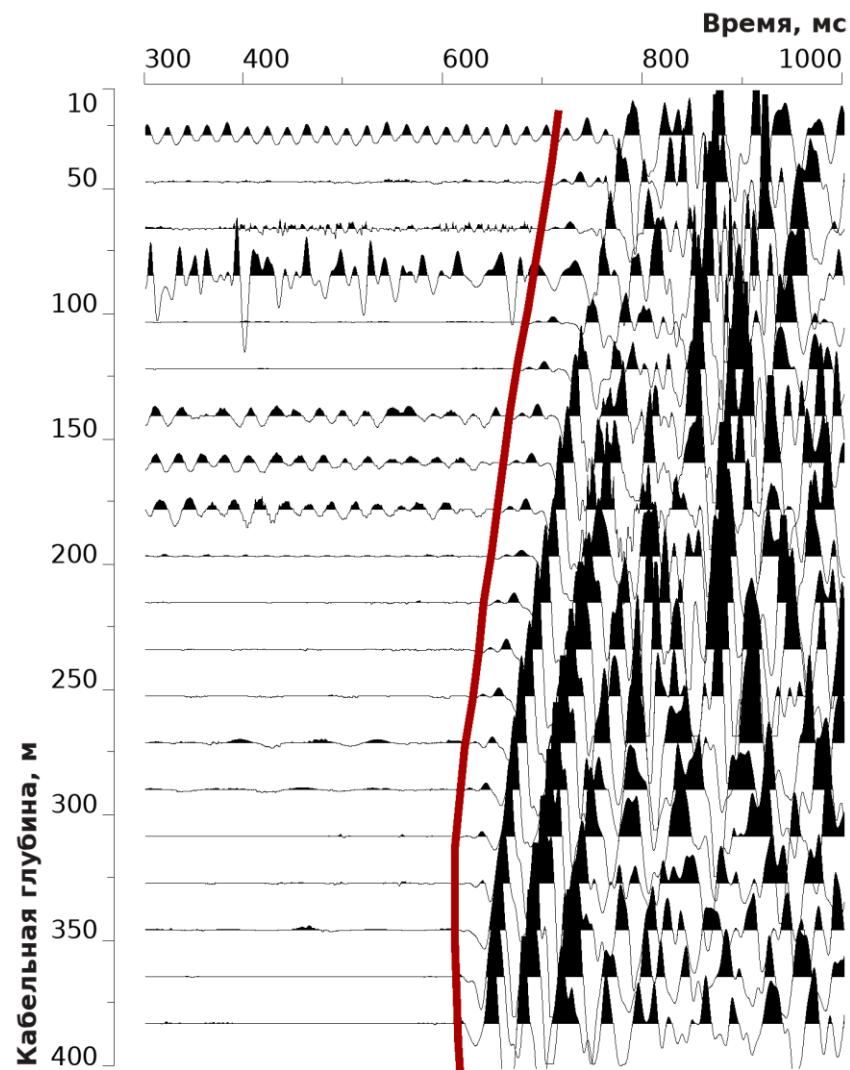
Построение скоростной модели среды

- Автоматическое определение пластов скоростной модели и пластовых скоростей по данным от ближнего ПВ.
- Оптимизационная инверсия годографов первых вступлений от ближнего и дальних ПВ, построение анизотропной скоростной модели с учетом статических поправок за ПВ.

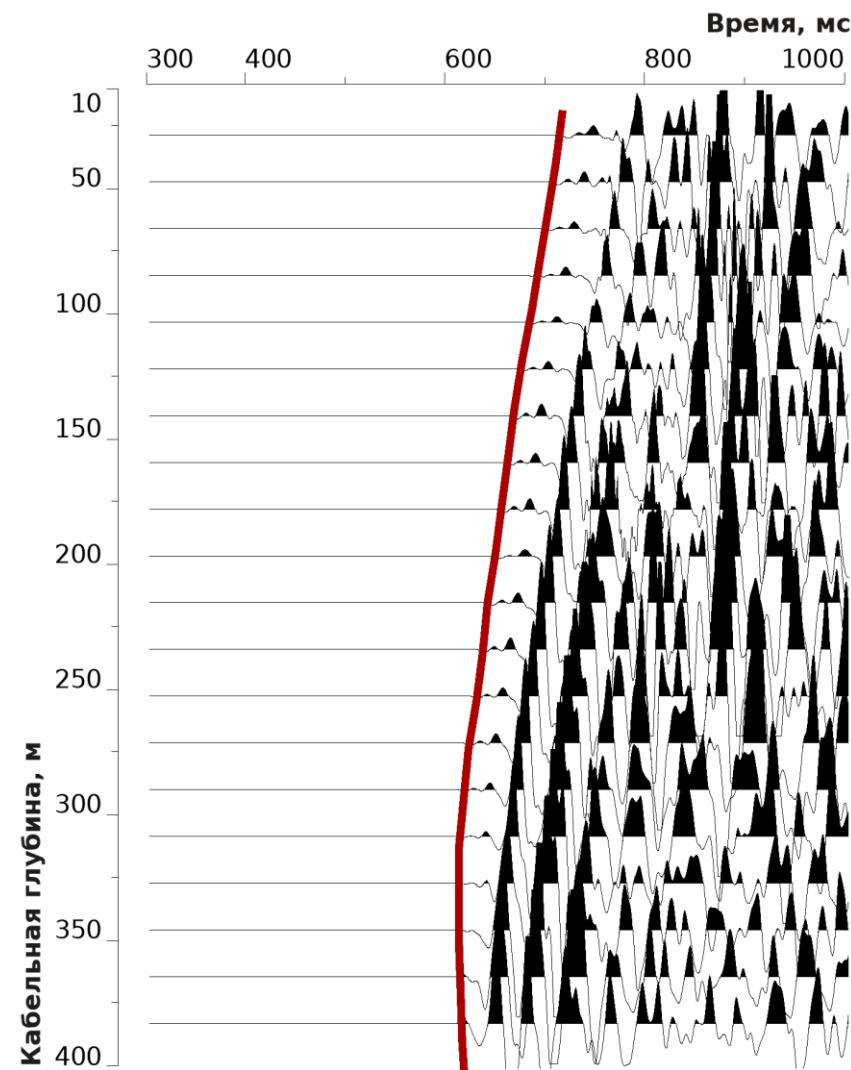
Итеративное аддитивное разделение волновых полей (селекция)

- Выделение прямой волны вблизи первых вступлений, построение эталона для частотного редактирования волновых полей.
- Скользящее весовое суммирование (алгоритм Поликор) по скоростной модели для выделения всех регулярных волн.
- Частотное (с использованием эталона) и амплитудное редактирование остатков после выделения регулярных волн.
- Продолжение итераций разделения волнового поля на меньших пространственных базах.

- 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.
- Коррекция времён по контрольному прибору.
- Оценка и вычитание резонансных колебаний.
- Автоматическая предварительная оценка первых вступлений с возможностью ручной коррекции.
- Оценка и вычитание предсказуемых шумов до первых вступлений и в небольшом интервале после.
- Уточнение первых вступлений, расчёт и коррекция параметров поляризации.
- Коррекция формы возбуждения к наиболее разрешённой.
- Ориентация в систему PRT.

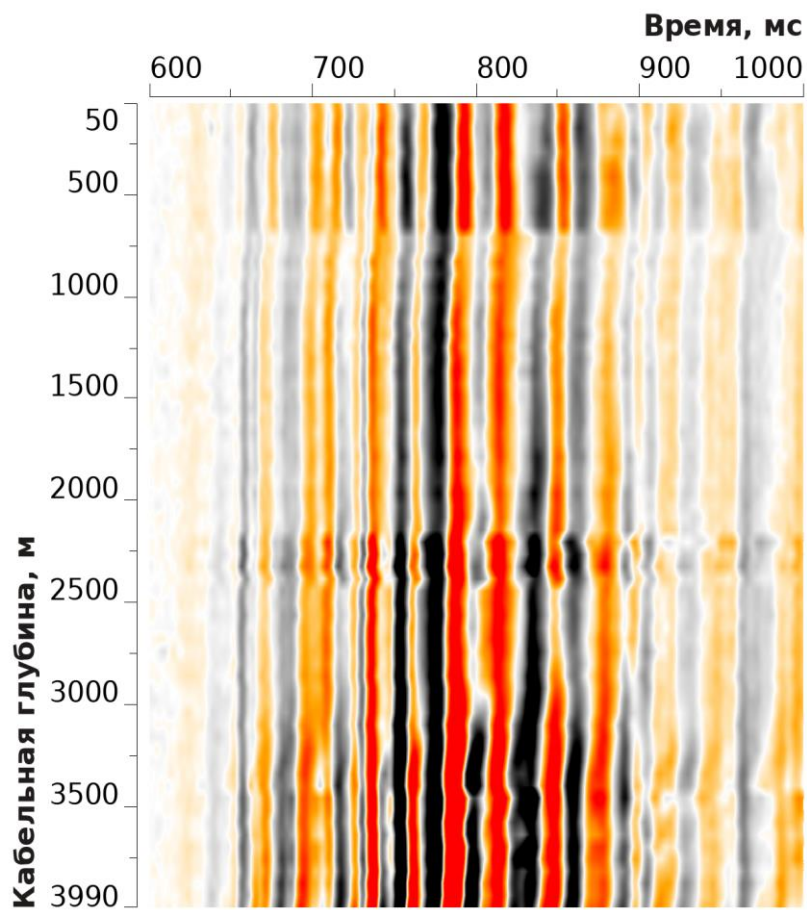


Фрагмент исходного волнового поля
(вертикальная компонента)

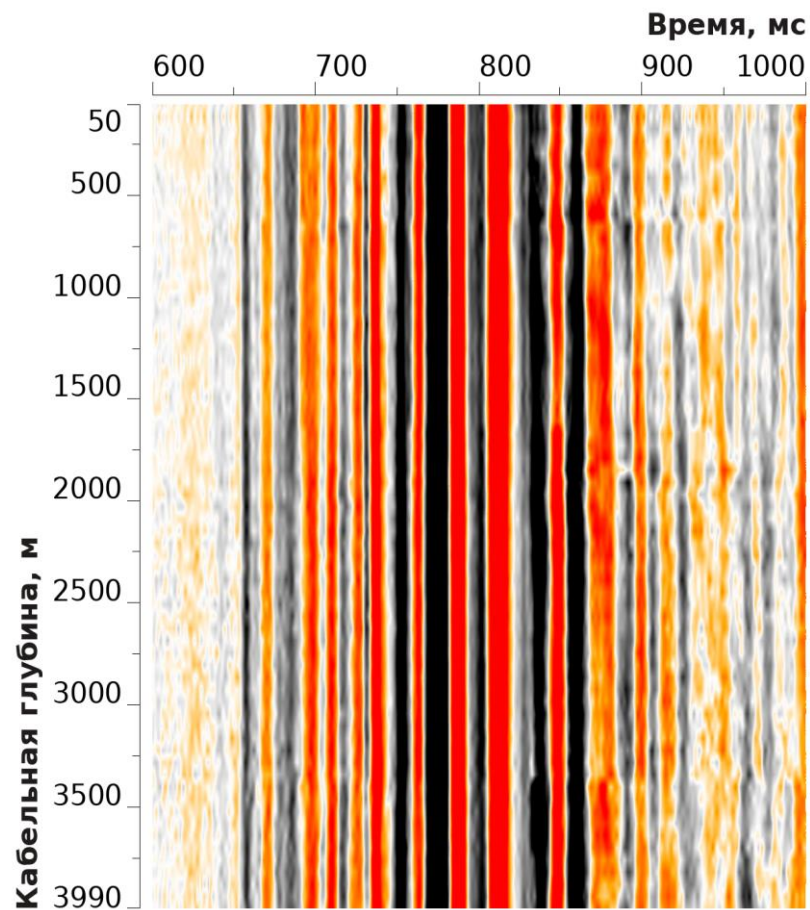


Фрагмент исходного волнового поля
после вычитания шумов

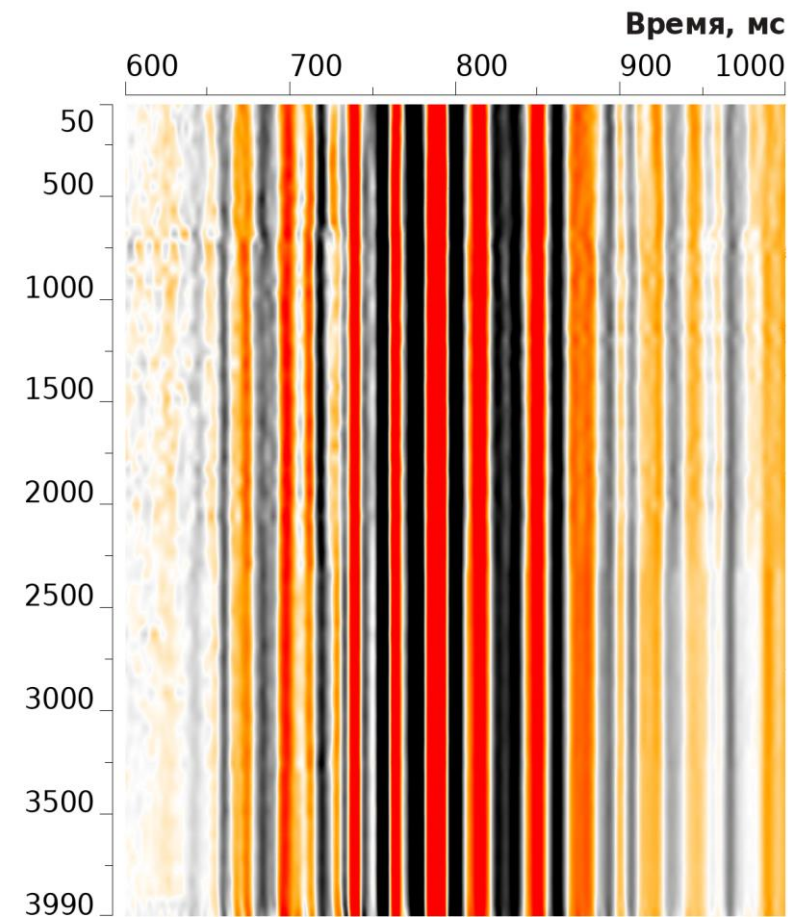
Поверхностный контрольный прибор



До коррекции

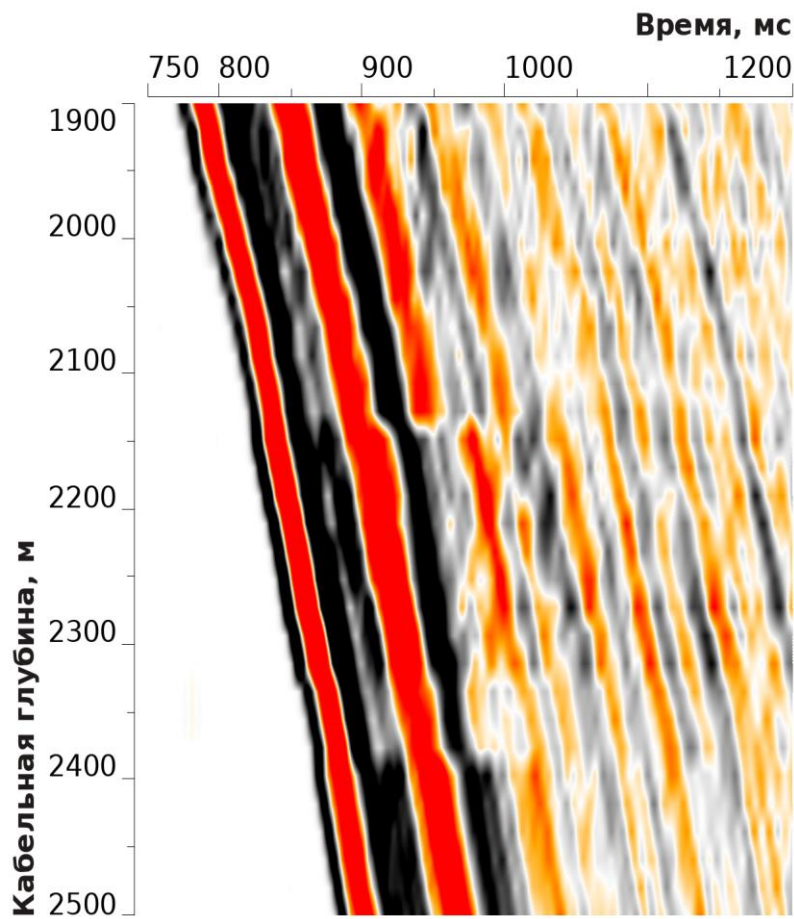


Ручная обработка

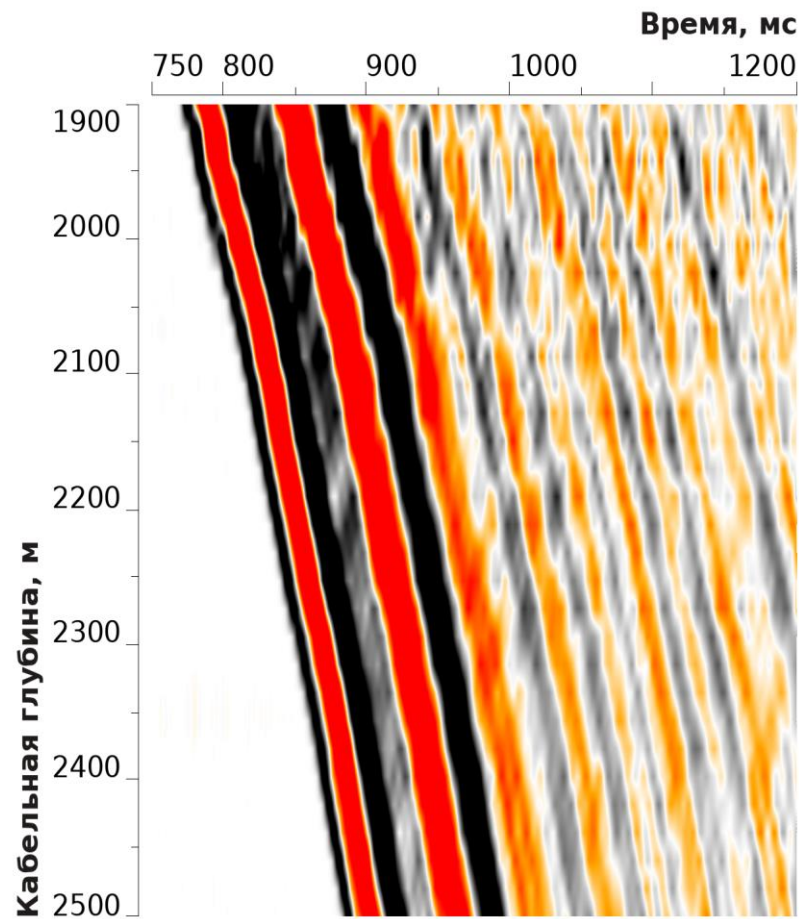


Робот АРИО

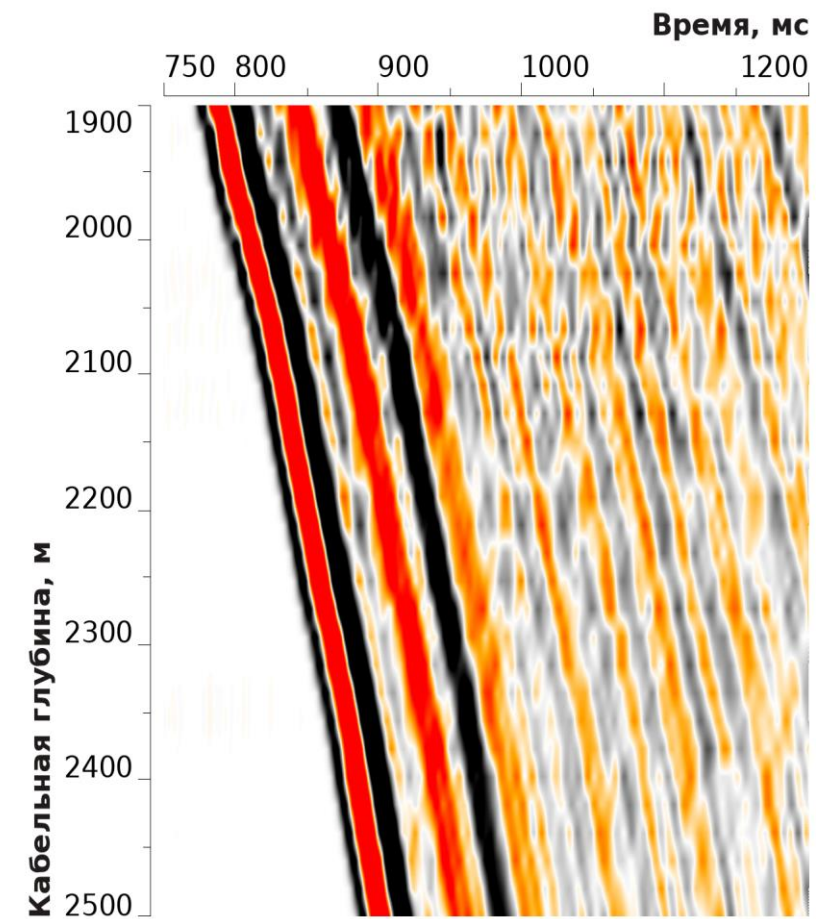
Фрагмент вертикальной компоненты зонда ВСП



До коррекции



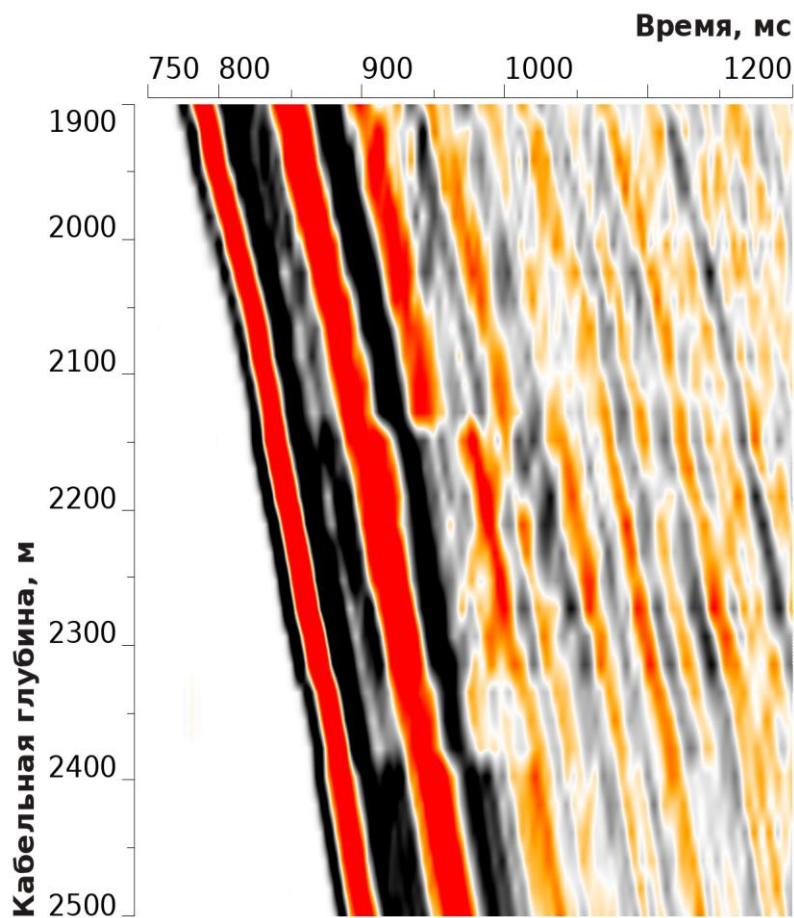
Ручная обработка



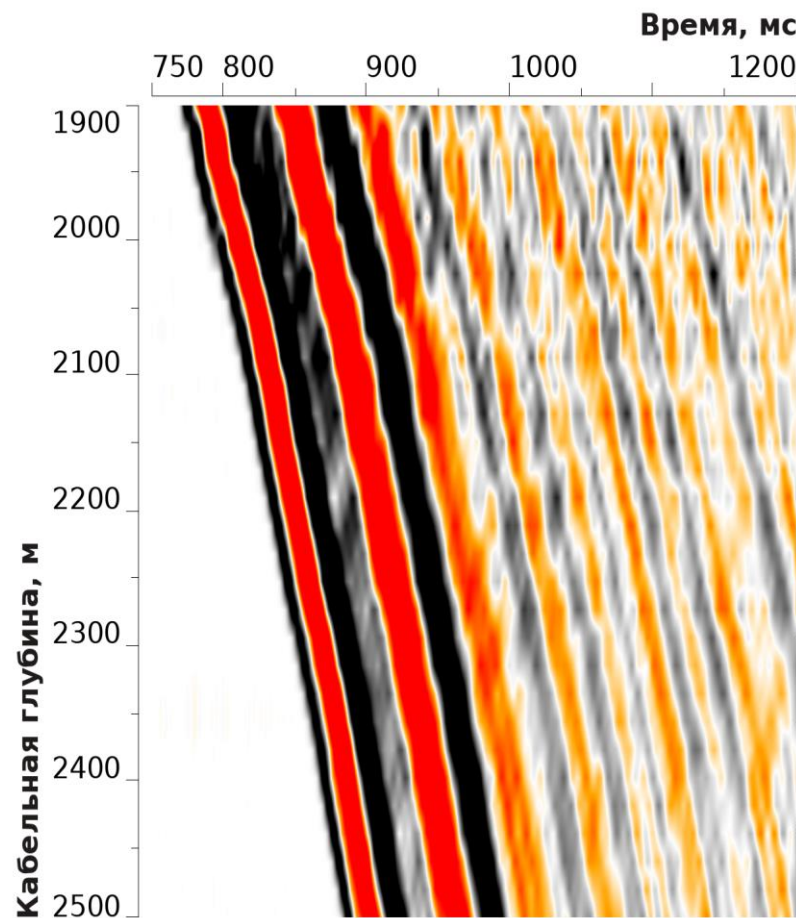
Робот АРИО



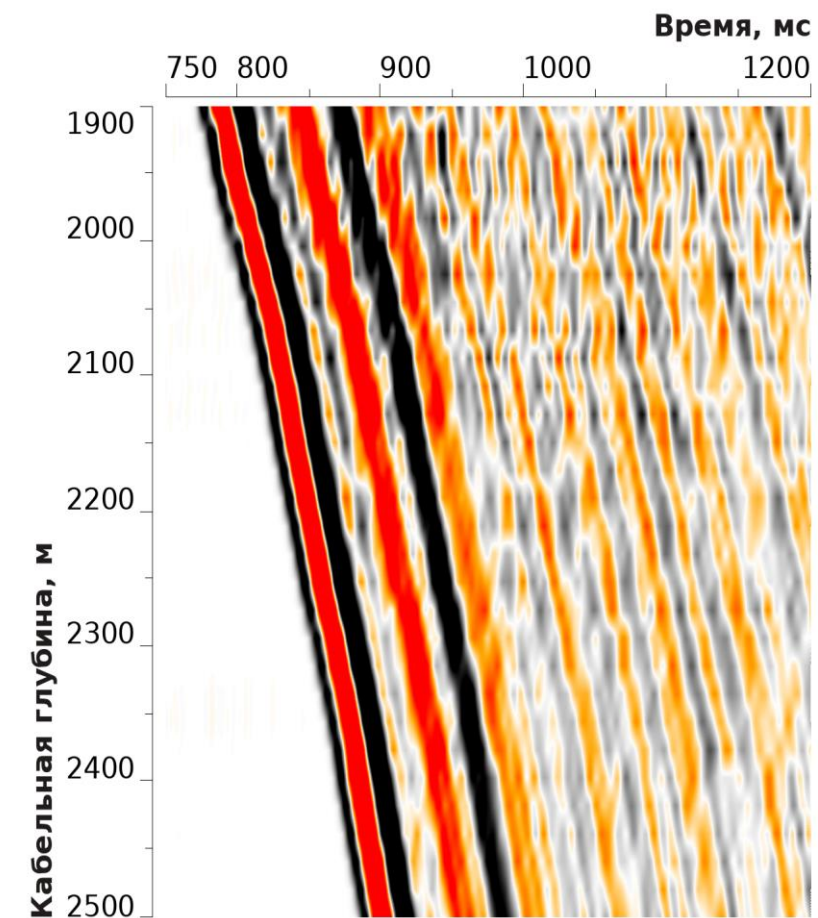
Фрагмент вертикальной компоненты зонда ВСП



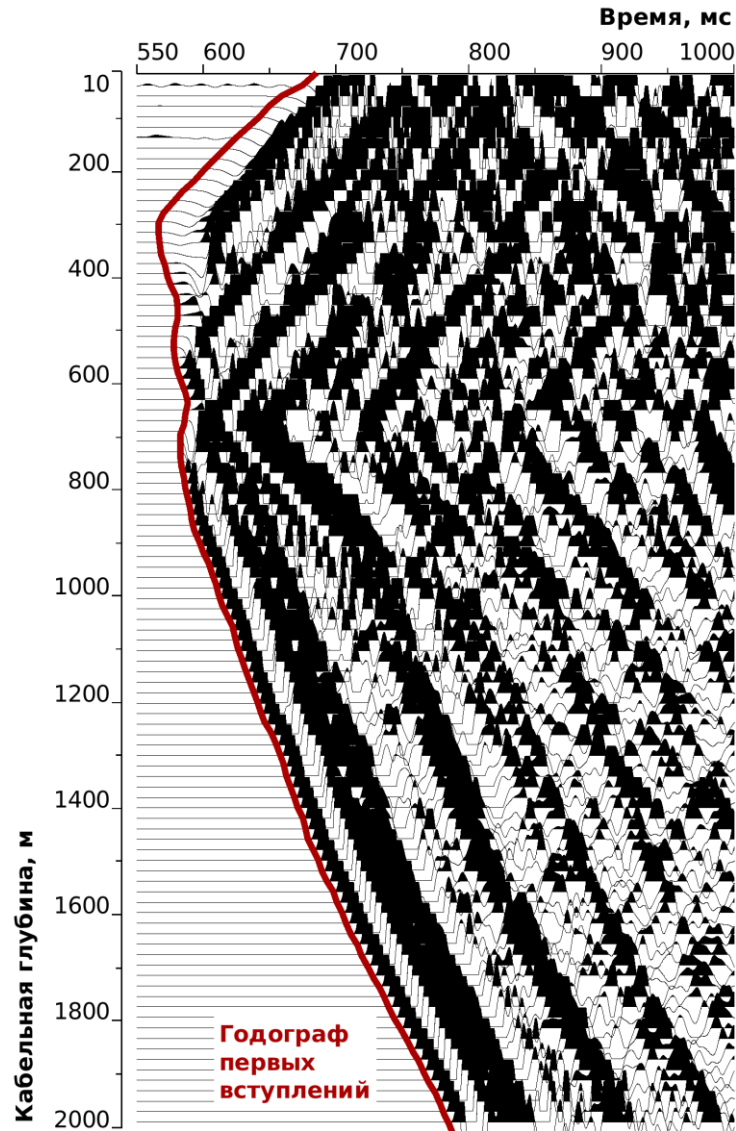
До коррекции



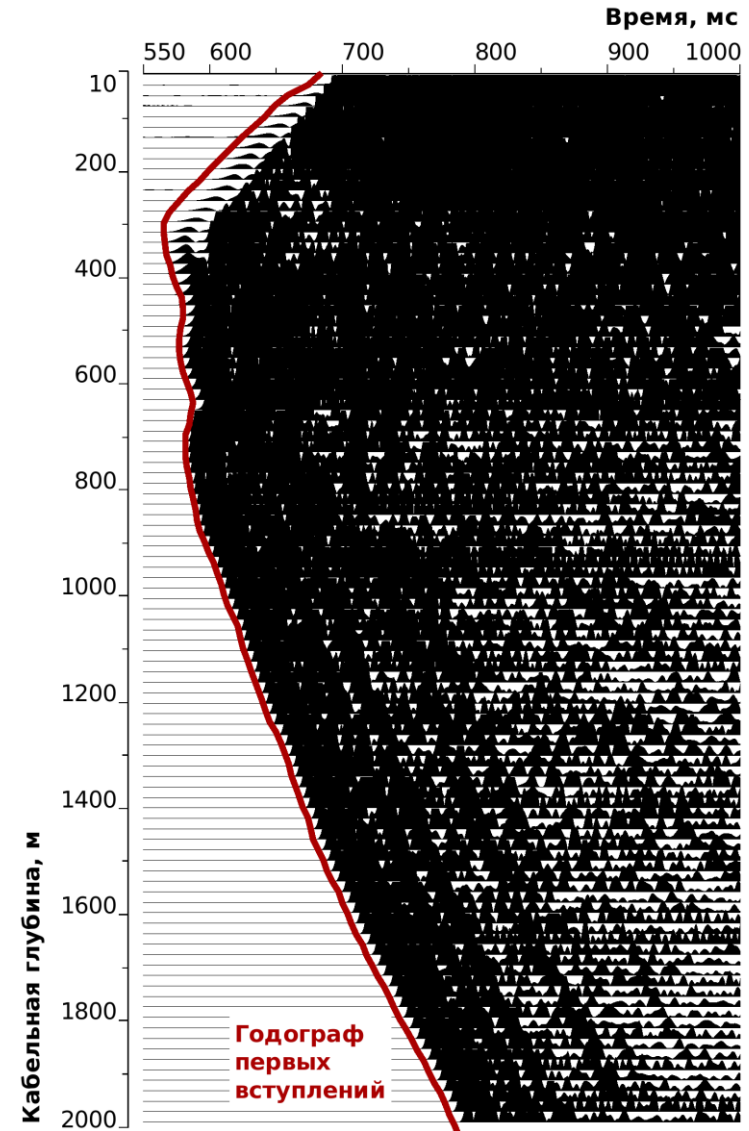
Ручная обработка



Робот АРИО



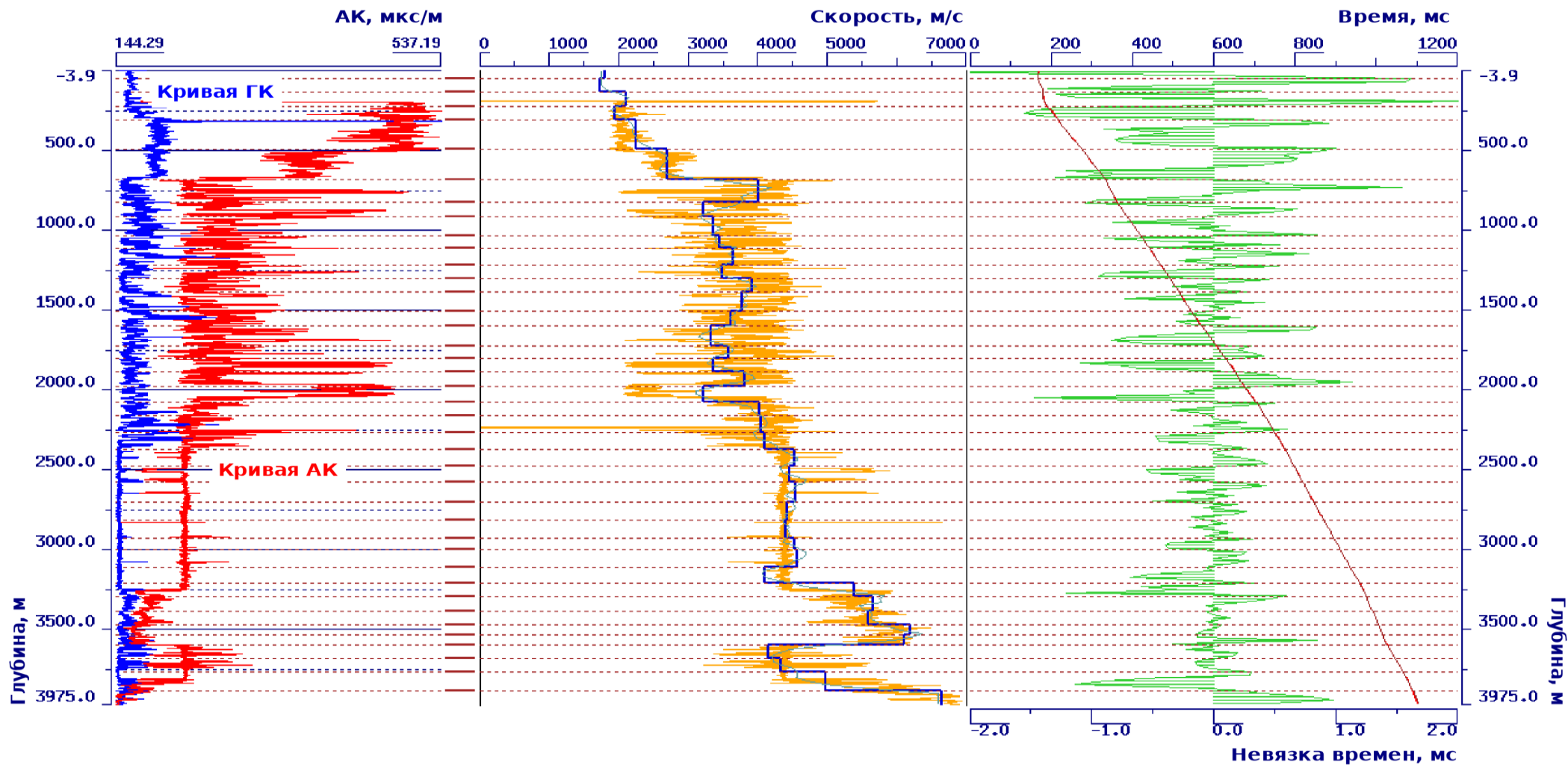
Вертикальная компонента



Модуль горизонтальных компонент

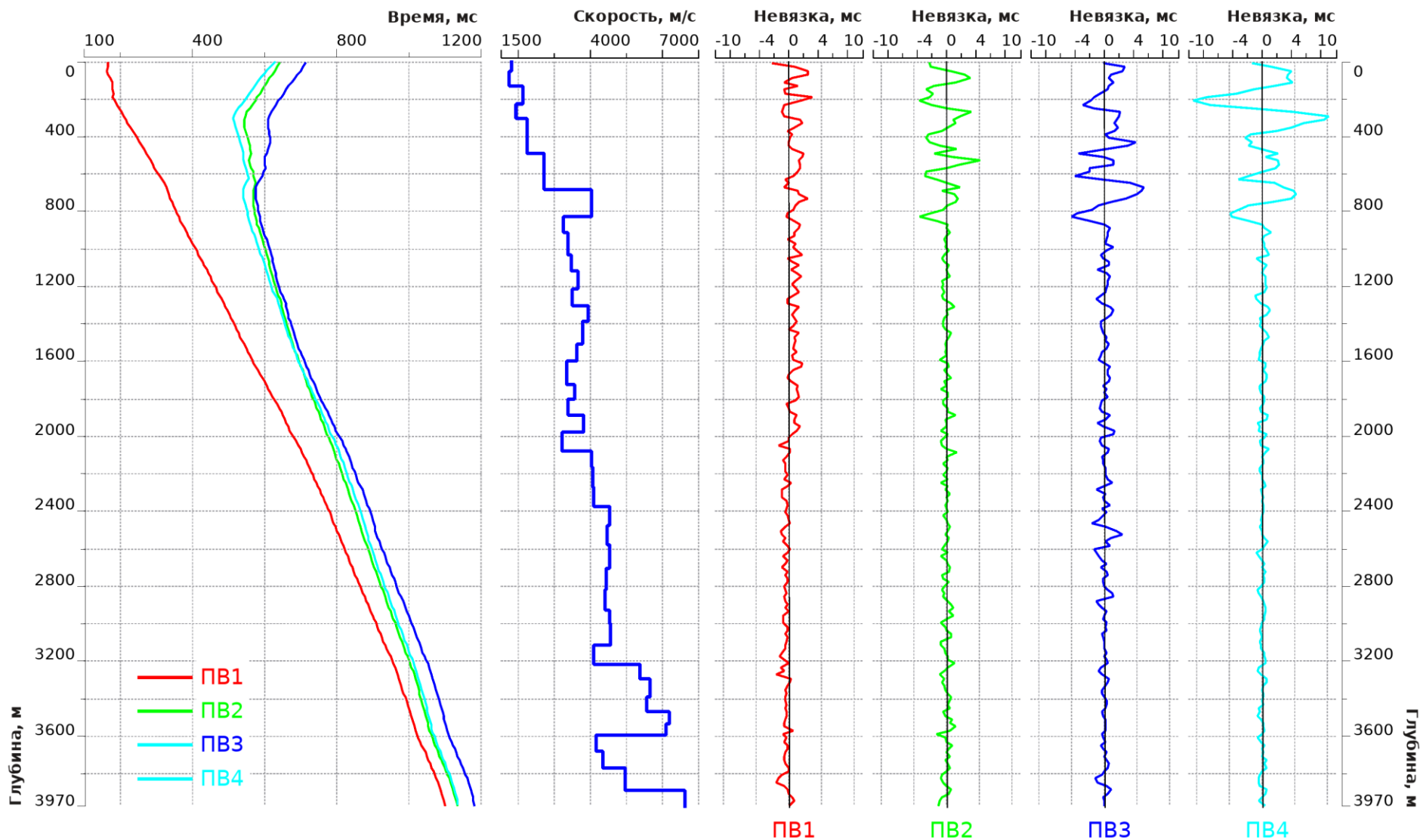
- Вначале производится трансформация годографа первых вступлений так, чтобы он был параллелен годографу первого пересечения нуля. Такой годограф учитывает перекося годографа за счёт поглощения. Далее рассчитывается пластовая скоростная модель по ближнему ПВ с использованием интервальных скоростей и ГИС.
- Начиная с пластовой модели оптимизационным методом оцениваются обобщённая модель с анизотропией и статические поправки за ПВ.

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



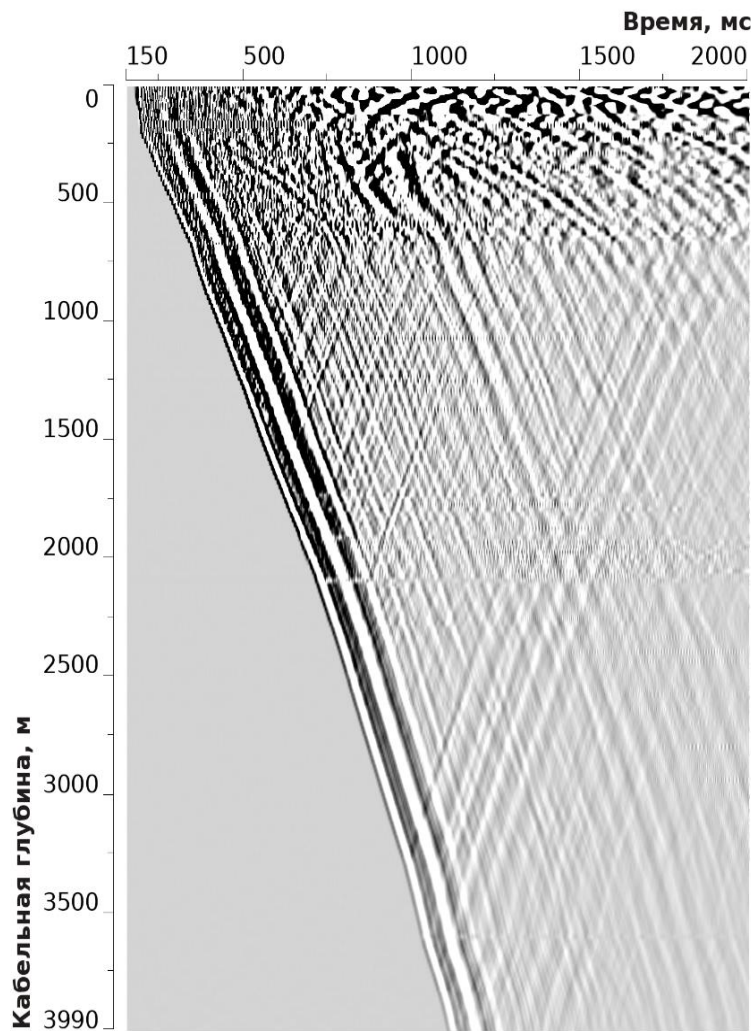
- Пластовая скорость
- Невязка модельного и реального годографов
- Интервальная скорость
- Наложение модельного и реального годографов
- Скорость по АК

Подбор коэффициентов анизотропии скоростей продольных волн в результате совместной оптимизации по годографам ближнего и дальних ПВ

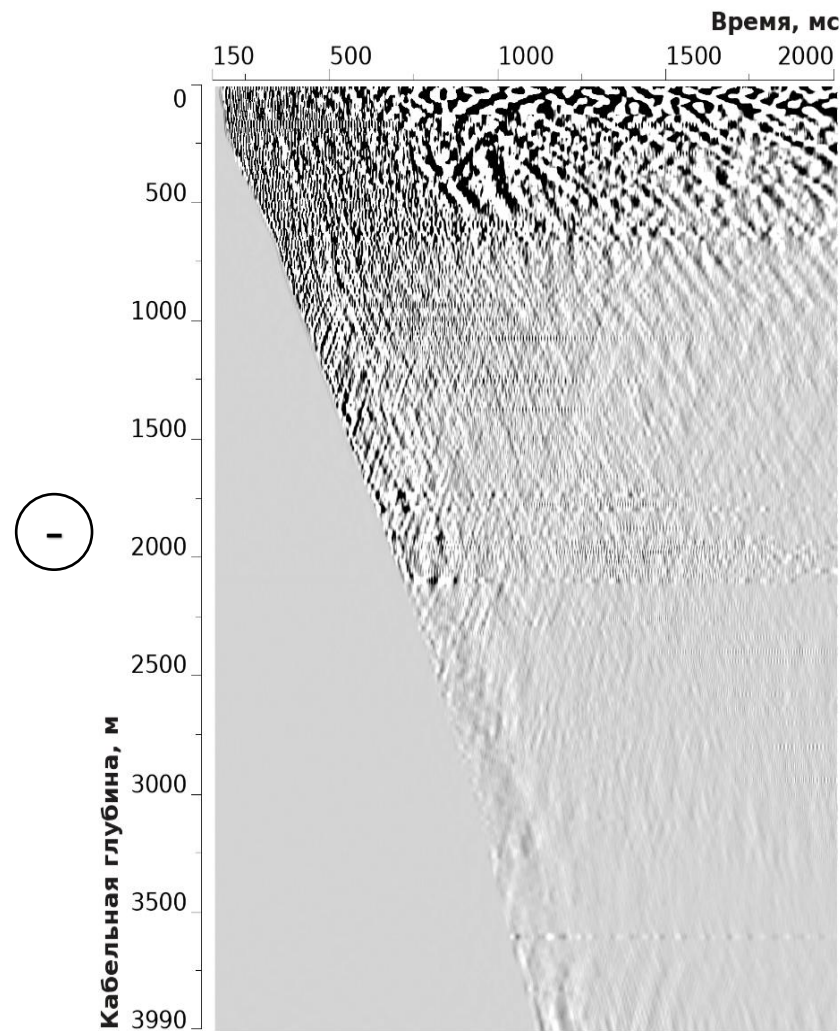


При совместной оптимизации коэффициентов анизотропии продольных волн была учтена статика:
-13 мс для ПВ2,
-6 мс для ПВ3,
-5 мс для ПВ4.

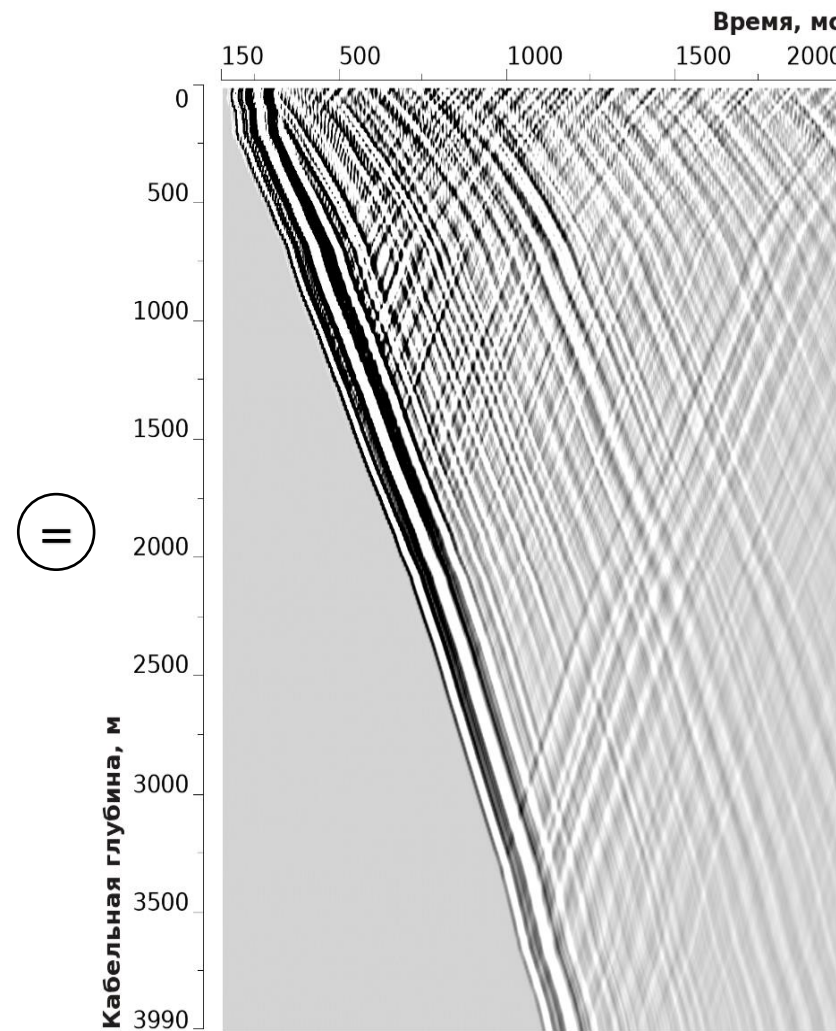
- Первым шагом выделяется прямая, переходящая в головную, волна вблизи первых вступлений путём скользящего весового суммирования на большой (~100 уровней) базе вдоль годографа первых вступлений.
- К ней присоединяются выделенные по скоростной модели полнократные падающие волны (drupdr). Спектр полученного поля используется как эталон для отсеивания помех, значительно отличающихся по спектру от эталона.
- Весь набор регулярных волн (dp, dpds, drup, drus, drupdr, drupds, ds) определяется также скользящим весовым суммированием (с использованием алгоритма Поликор) по скоростной модели.



Исходное волновое поле



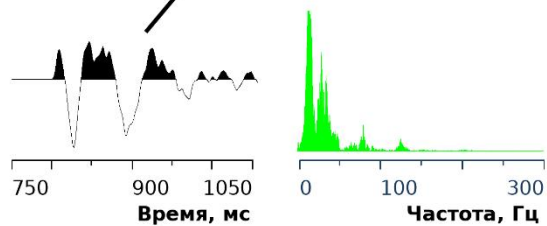
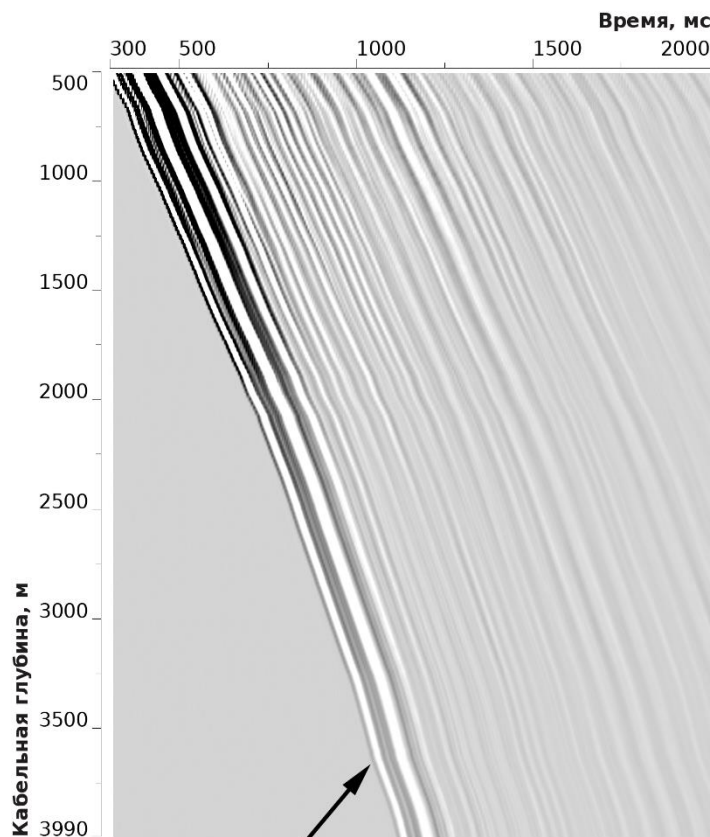
Шумы



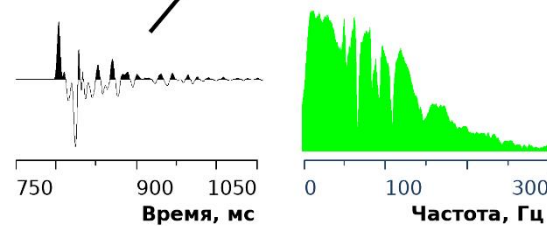
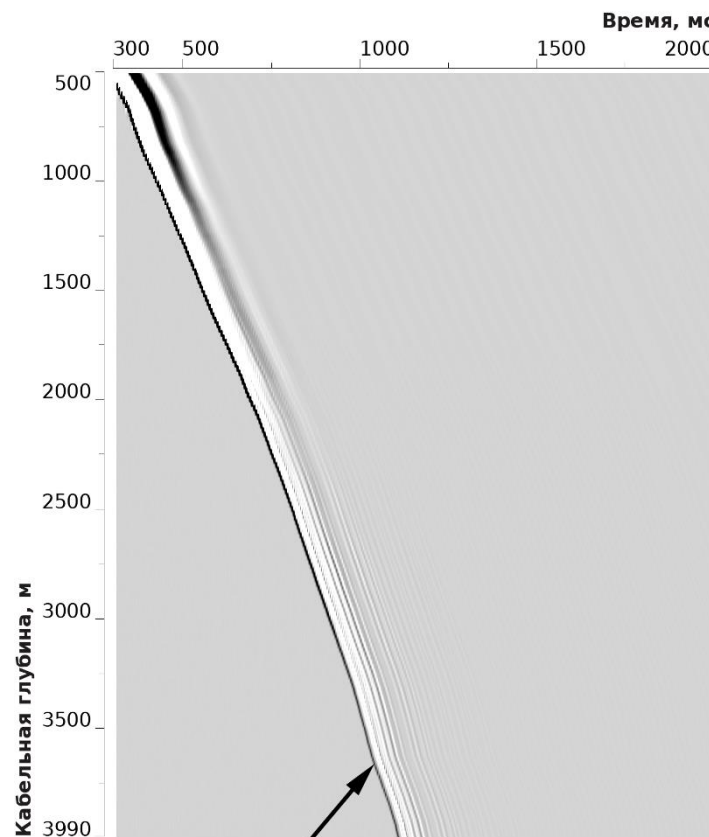
Полезные волны

- Оператор ошибки предсказания конструируется из единицы и последующего оператора предсказания с обратным знаком. Первое значение автокорреляции умножается на величину $(1+a^2)$, где a - отношение шума к сигналу. Автокорреляция для расчёта оператора оценивается как средняя по автокорреляциям падающих волн ($dp+drupdr$) обычно в нижней части скважины.
- Пиковая деконволюция для ближнего ПВ обычно рассчитывается по падающей волне на каждой глубине после предсказывающей деконволюции 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).

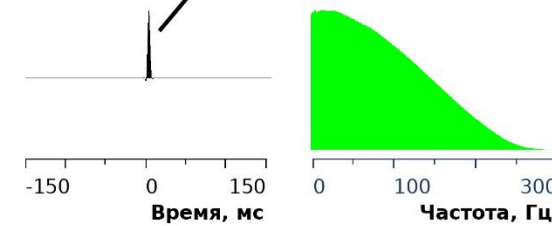
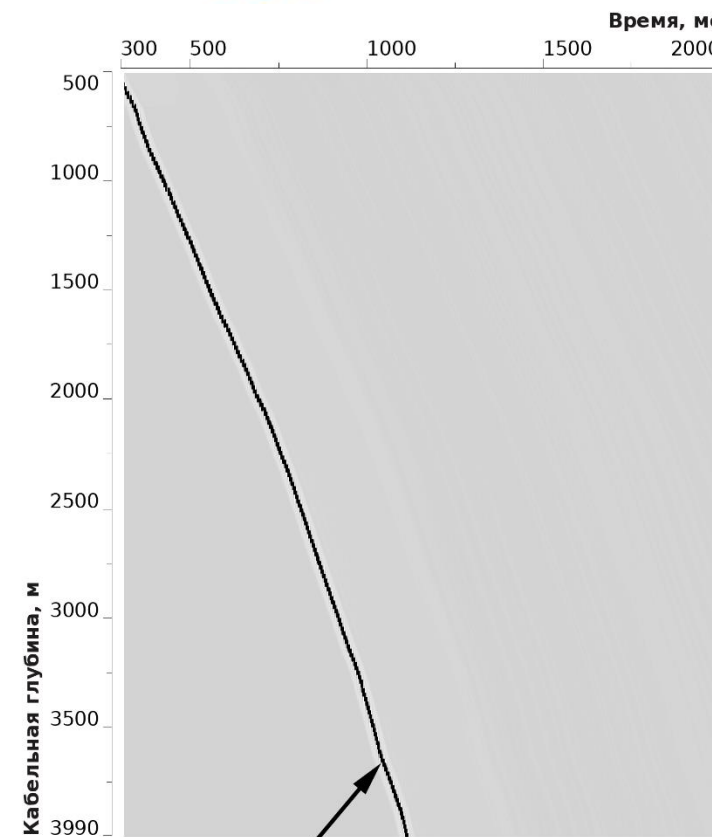
Предсказывающая и пиковая деконволюция (Р-компонента прямой волны)



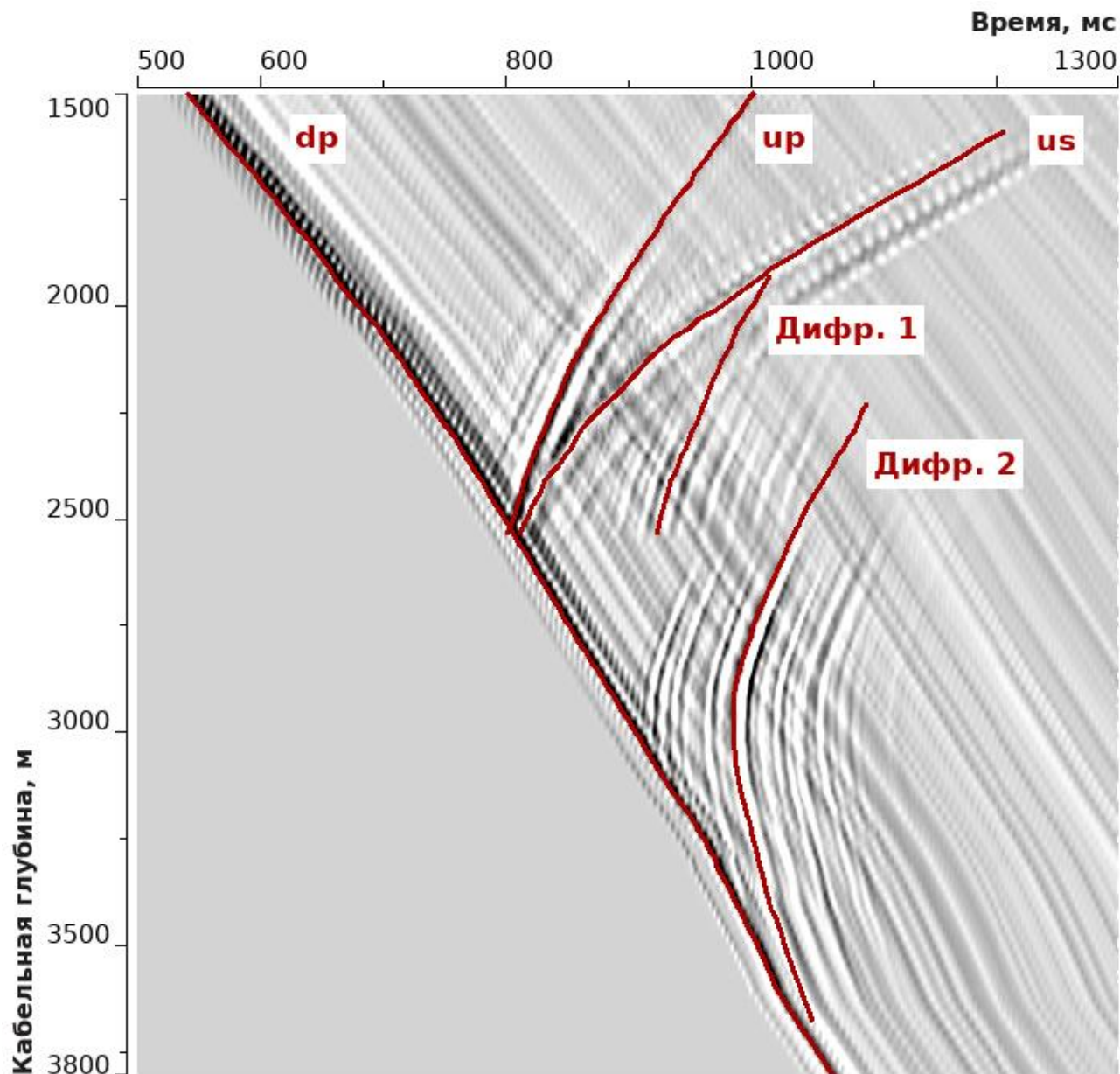
До деконволюции



После предсказывающей
деконволюции



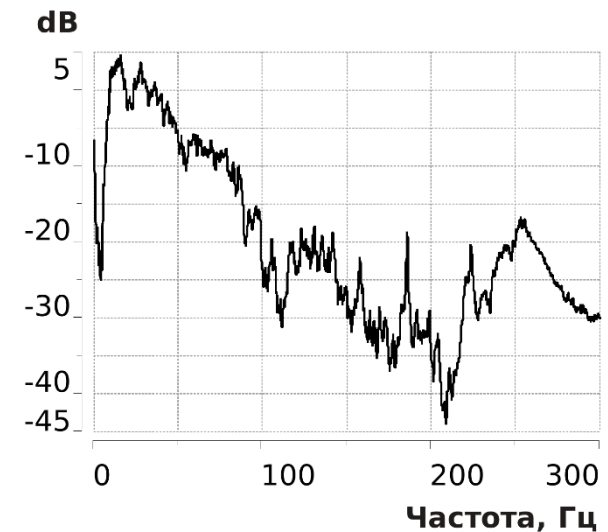
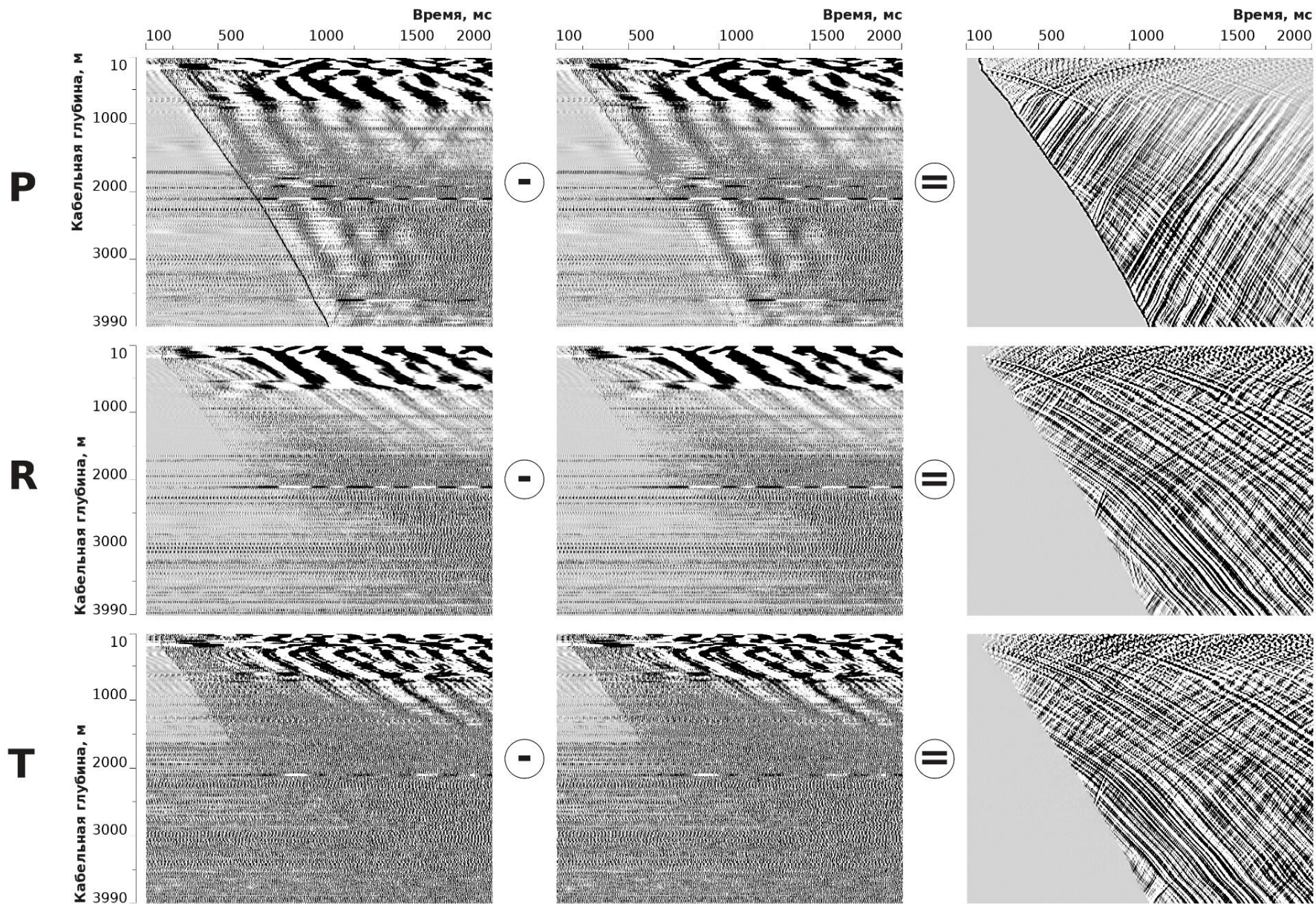
После пиковой деконволюции



dp – падающая продольная волна

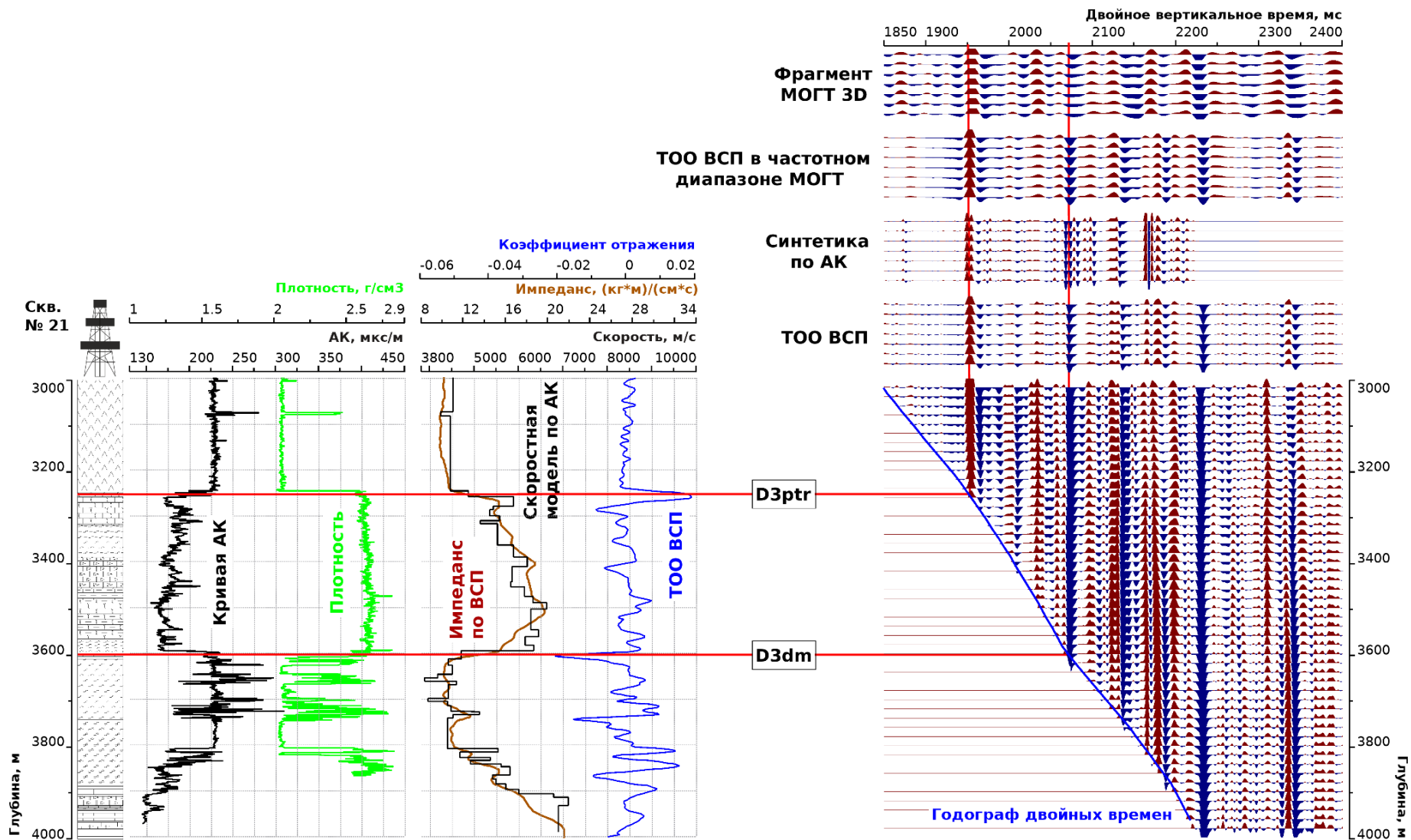
up, us – отраженная продольная и поперечная волна от крутопадающей наклонной границы

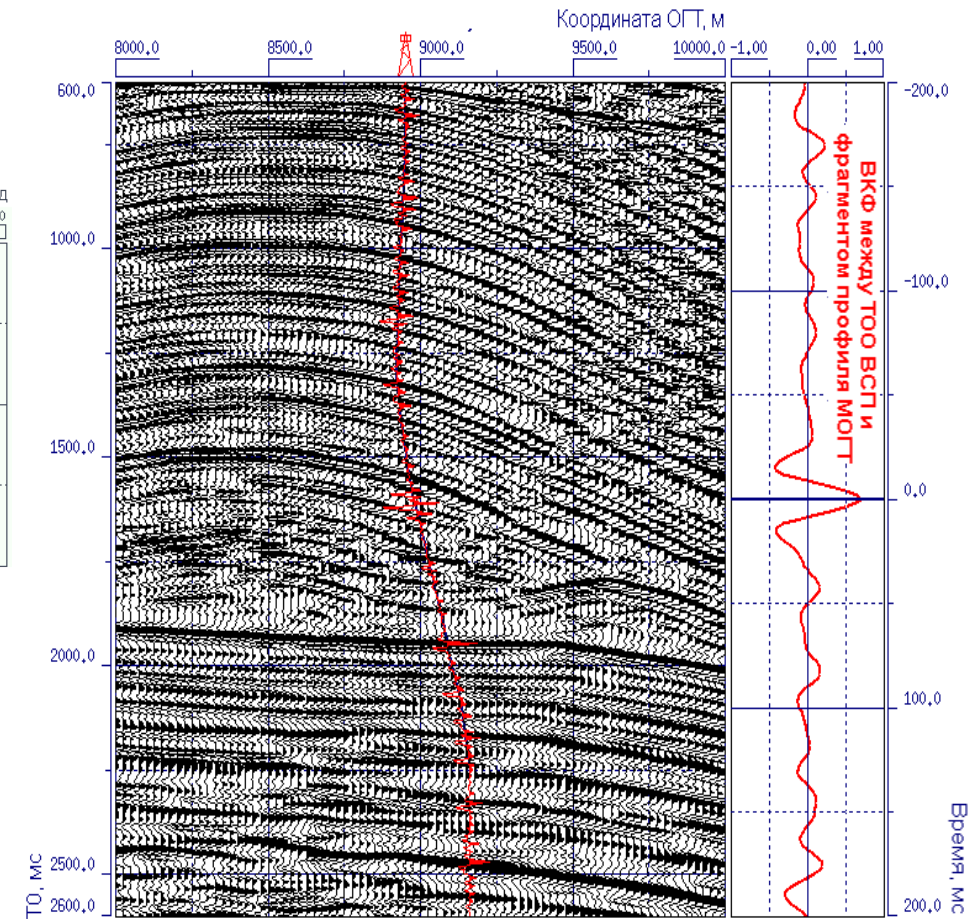
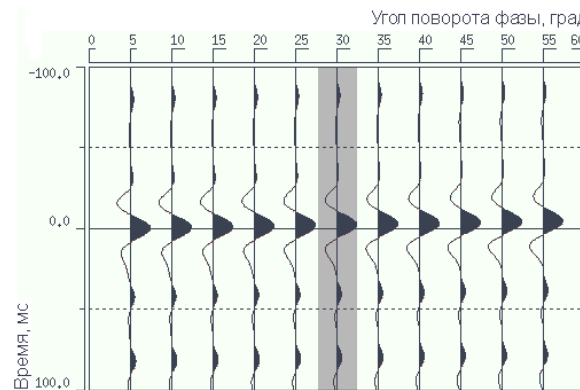
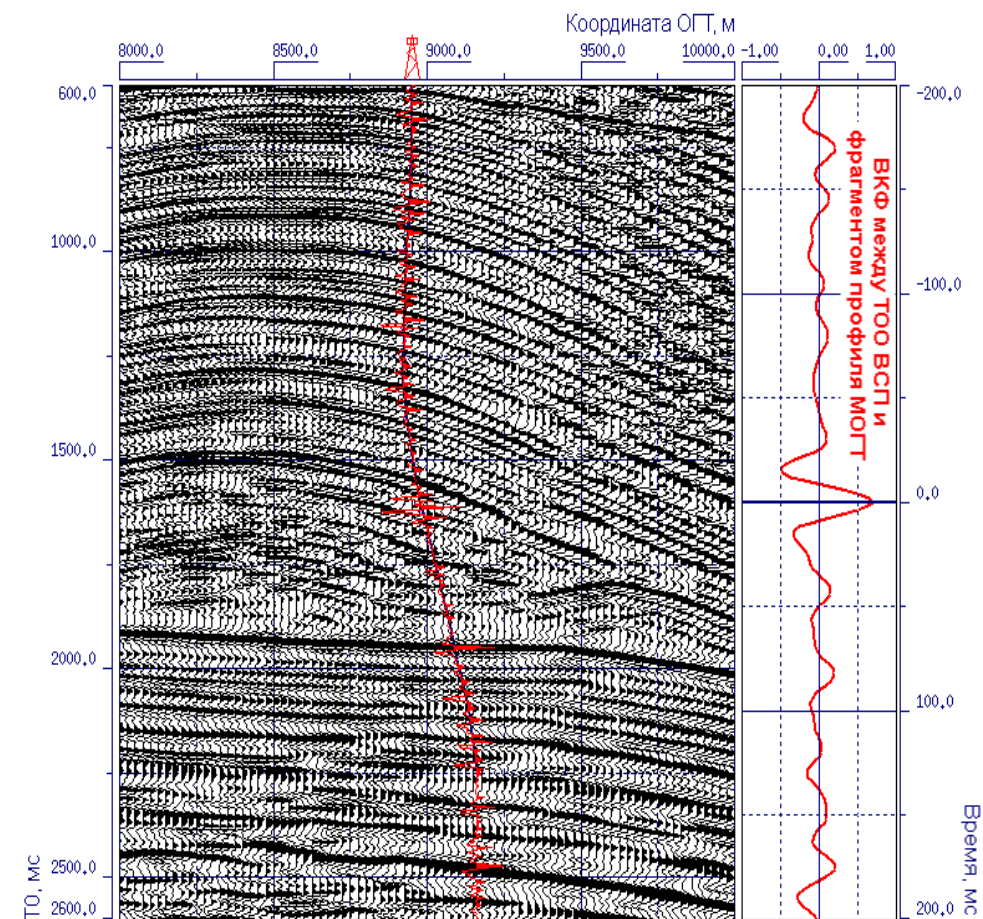
Дифр. 1, 2 – дифрагированные волны



Логарифм отношения
спектра полезного сигнала к
спектру шумов

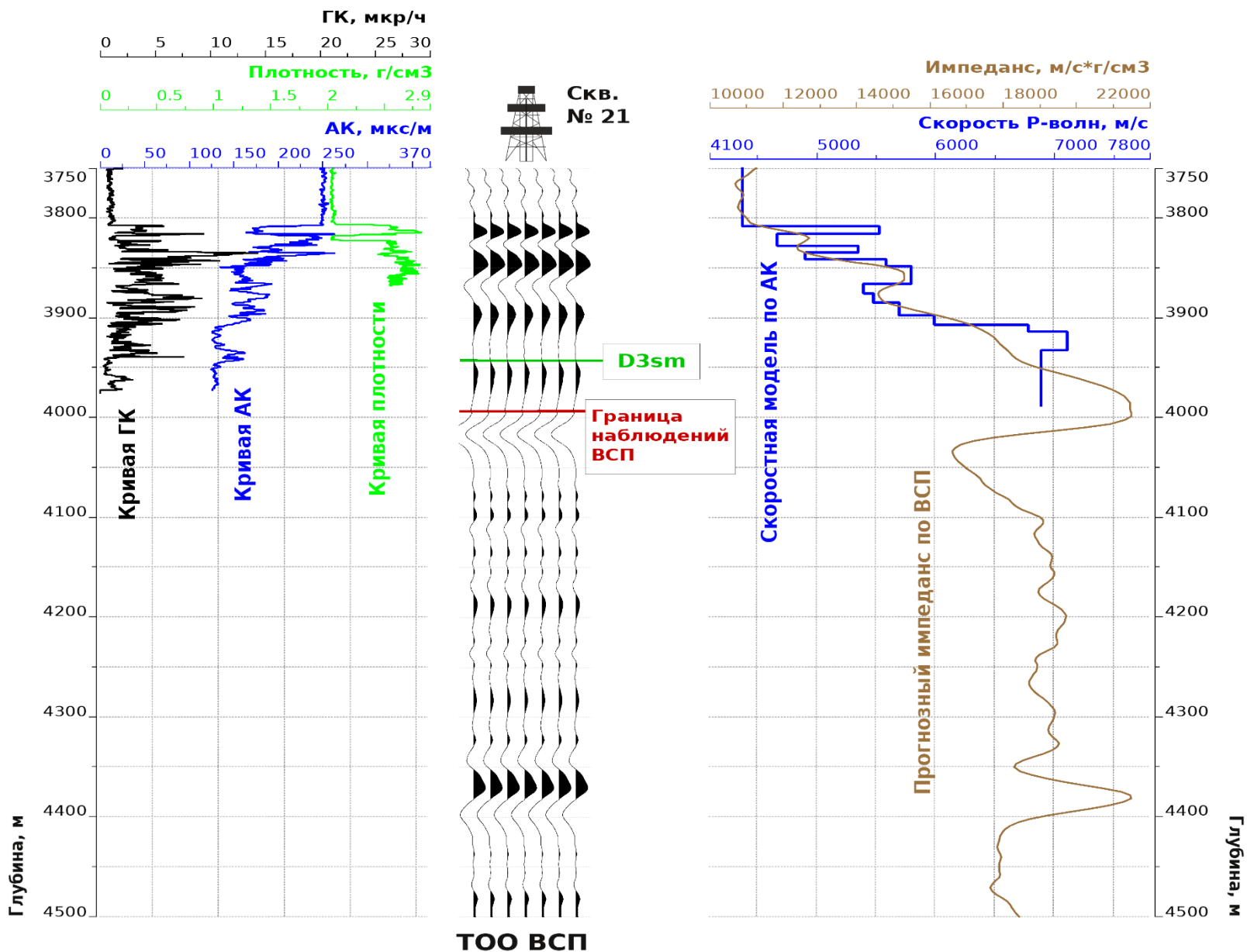
Увязка производится по обычной схеме, но сопоставление с ГИС производится дополнительно по инверсии отражательной характеристики с добавлением околонулевых частот из модельной импульсной сейсмограммы. При этом устраняется произвол при выборе сигнала для свёртки.





Привязка ТОО ВСП до коррекции фазы сигнала МОГТ

Привязка ТОО ВСП после поворота фазы сигнала МОГТ на 30°



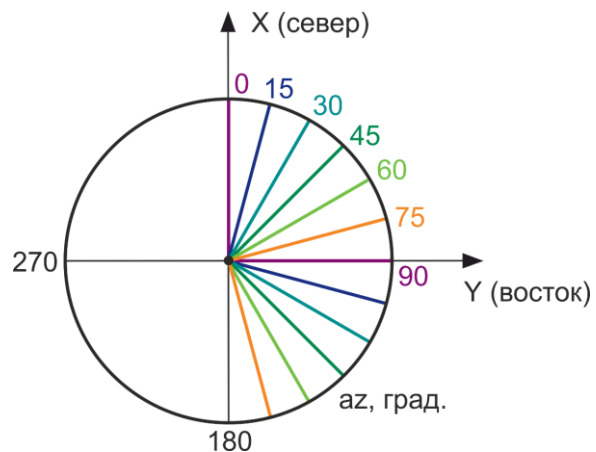
Наличие хорошо прослеживаемых отражений на нижних трассах ВСП даёт возможность рассчитать акустические импедансы ниже забоя скважины.

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.

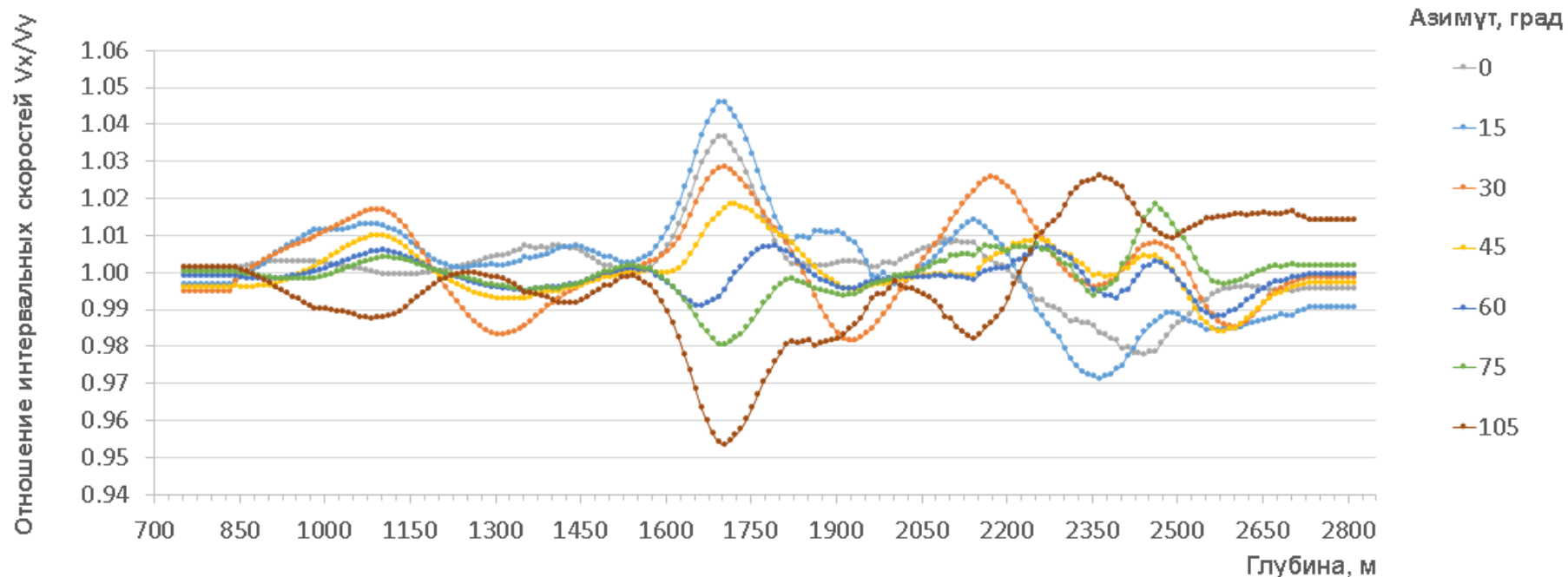
На слайде показан пример прогнозирования с уровня выше забоя, чтобы убедиться в совпадении прогноза во вскрытой части.

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.

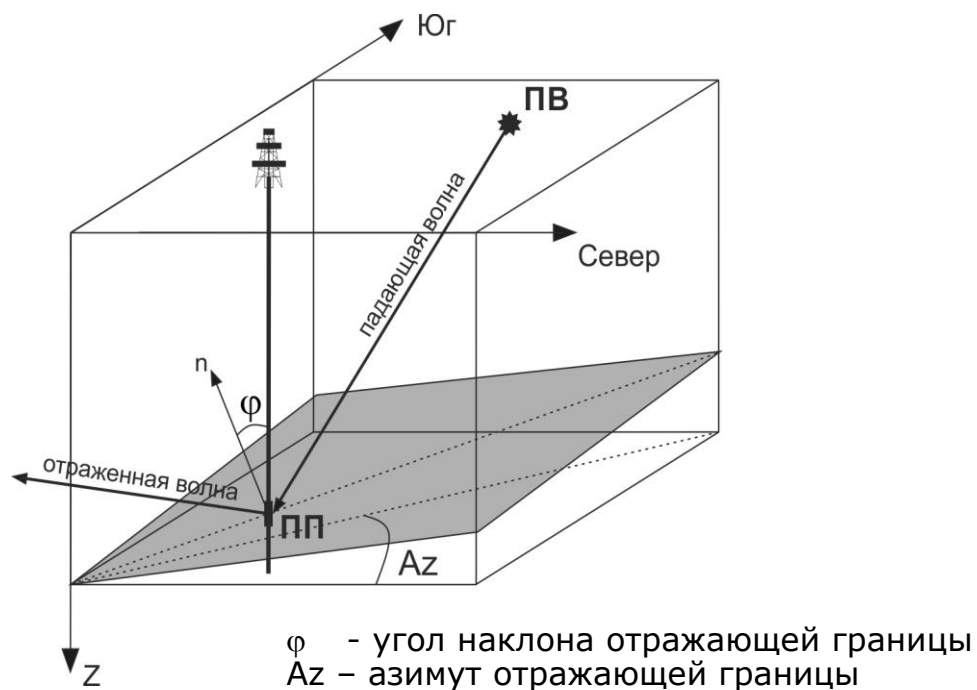


Анизотропия:

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

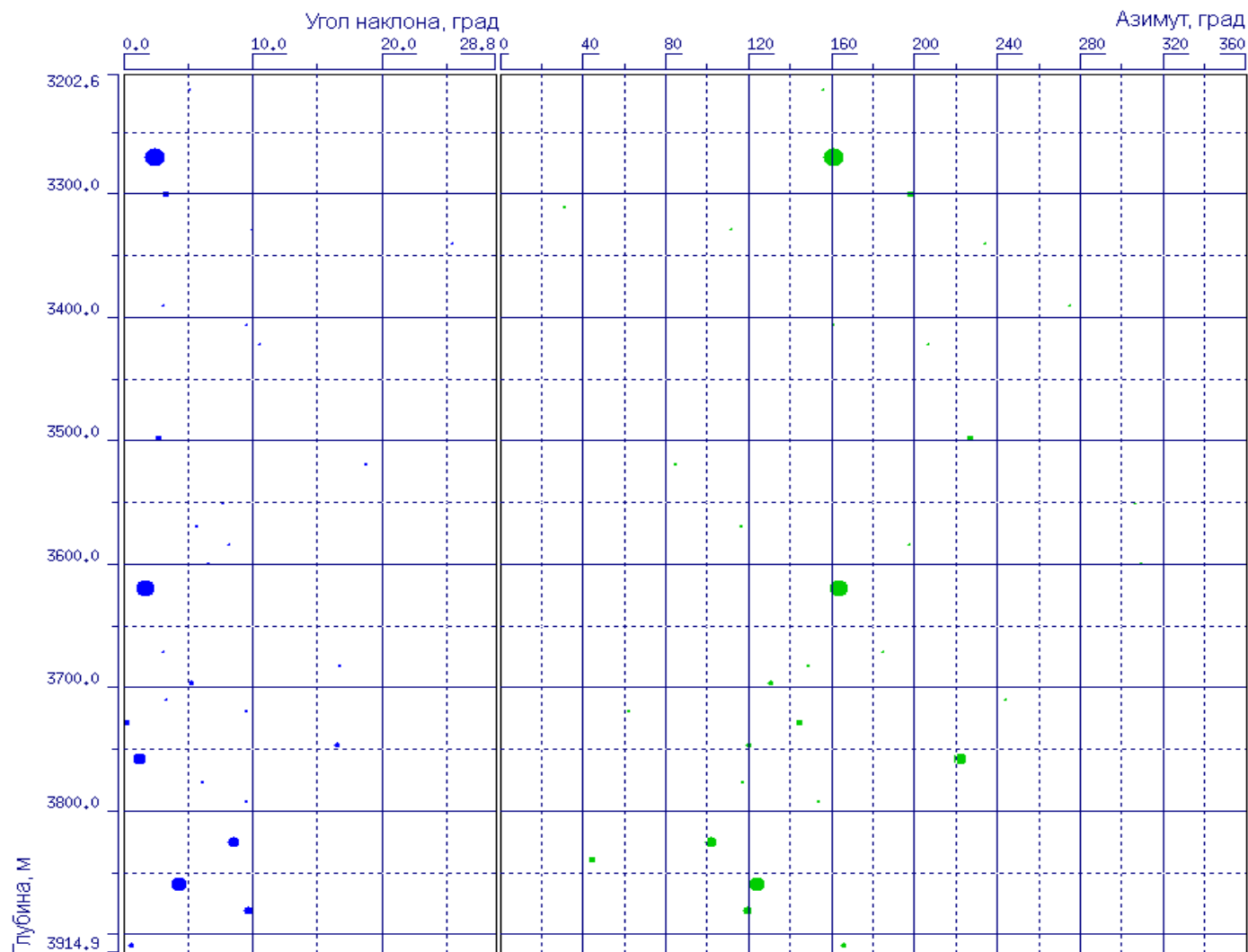


Из соотношений видно, что в интервале глубин 1650-1750 м в направлении азимута 15° наблюдается анизотропия скоростей поперечных волн, достигающая 4.5%, которая может быть обусловлена вертикальными трещинами, ориентированными на 15° восточнее северного направления (ось X направлена на север).



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

Оценки наклонов отражающих границ



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

1. Разработана и опробована на реальных данных ВСП технология обработки СВЧ, дающая наиболее достоверные результаты в присутствии сильных помех.
2. Реализованы и протестированы блоки автоматической коррекции статики и формы импульса по КП, определения годографов первых вступлений, построения скоростной модели среды и селекции волн различного типа с использованием интеллектуального робота АРИО.
3. Блоки интеллектуальной обработки роботом АРИО на любой стадии могут быть продолжены в интерактивном режиме, а затем снова в автоматическом.

1. Обработка данных ВСП по технологии СВЧ с применением интеллектуального робота АРИО существенно повышает информативность сейсморазведки за счет расширения спектра до 300 Гц при шаге дискретизации 1 мс.
2. Автоматизация обрабатываемых процедур, требующих больших временных затрат и высокой компетенции обработчика, значительно повышает производительность и сокращает расходы на обработку.
3. Эффективность технологии СВЧ позволяет достоверно выделять интервалы разреза с вертикальной трещиноватостью, ее направленность, а также определять углы наклона и азимуты отражающих горизонтов.

1. Рекомендуется расширить применение робота АРИО до полного графа обработки данных ВСП по технологии СВЧ.

<http://geovers.com>