

Проблемы сейсморазведки в зонах вечной мерзлоты и их решение в технологии Сейсморазведки Высокой Четкости

А.А. Табаков, Ю.А.Степченков, В.Н.Ференци, А.С. Колосов, Л.В. Калван.

Geovers Ltd.

Problems of seismic prospecting in permafrost areas and their solution in High Definition Seismic technology

A.A.Tabakov, Y.A. Stepchenkov, V.N. Ferentzi, A.S.Kolosov, L.V.Kalvan.

Содержание / Content

1. Введение.
2. Трехмерная система наблюдения.
3. Трехкомпонентная внутренняя оцифровка без группирования в поле, нерезонансный контакт геофонов.
4. Определение статики методом «Поликор».
5. Анализ волновых полей.
6. Статистически-представительная четырехфакторная деконволюция.
7. Кинематический анализ.
8. Векторная миграция.
9. Суммирование продольных PP и обменных PS волн.
10. Результаты обработки.
11. Выводы и рекомендации.

1. Введение / Introduction

Зоны развития многолетнемерзлых пород (ММП) обладают свойствами, сильно осложняющими сейсморазведку. Сейсмические скорости в мерзлых породах существенно выше, чем во вмещающих породах. Если сверху есть (как обычно) растепленный слой, он является сильным волноводом, по которому почти без ослабления распространяются помехи, многократно превышающие по интенсивности глубинные отражения.

Поверхностные волны на кровле мерзлоты имеют относительно высокую скорость и закрывают значительный сектор сейсмограммы.

На поверхности мерзлоты возникают интенсивные головные волны, а под ней – в значительном диапазоне углов – зона тени. Сейсмические волны, проходящие через сильные границы, теряют значительную часть энергии, особенно при многослойной мерзлоте.

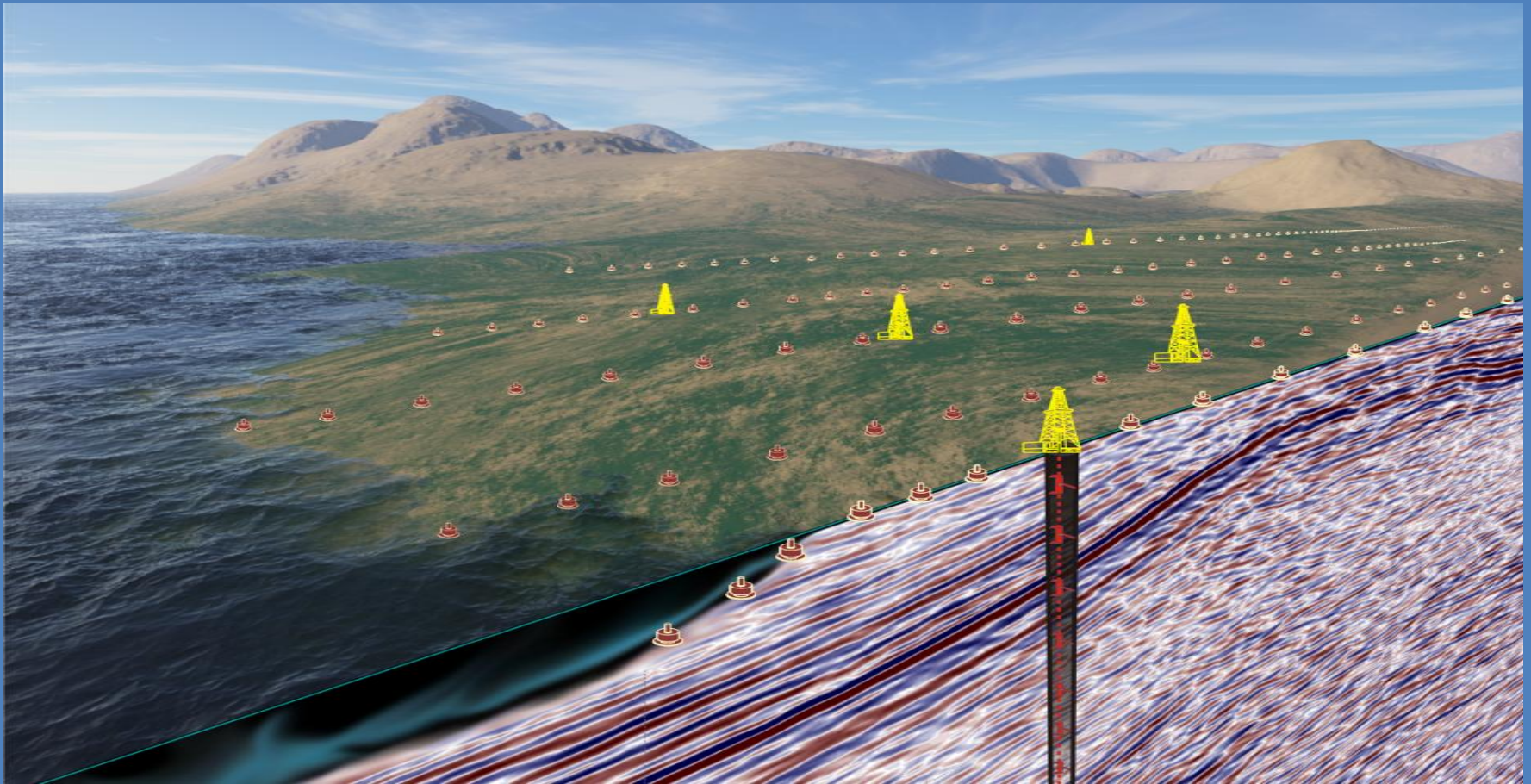
Очень тяжелые проблемы вызывают каналы и зоны растепления под реками и озерами. В этом случае возникают низкоскоростные линзы, существенно искажающие ход лучей.

При расчете статических поправок традиционными методами путем сглаживания вариаций времен годографа на разрезе возникают искусственные синклинали. Комбинация глубоких низкочастотных вариаций статических задержек с интенсивным полем помех, затрудняющих прослеживание отражений, создает трудноразрешимую ситуацию. С этим связано значительное количество сухих скважин в зонах ММП с меняющейся мощностью пород.

В представленном докладе освещаются оригинальные методики в рамках технологии Сейсморазведки Высокой Четкости (СВЧ), позволяющие успешно преодолевать трудности, связанные с ММП.

2.Трехмерная система наблюдения / 3D acquisition geometry.

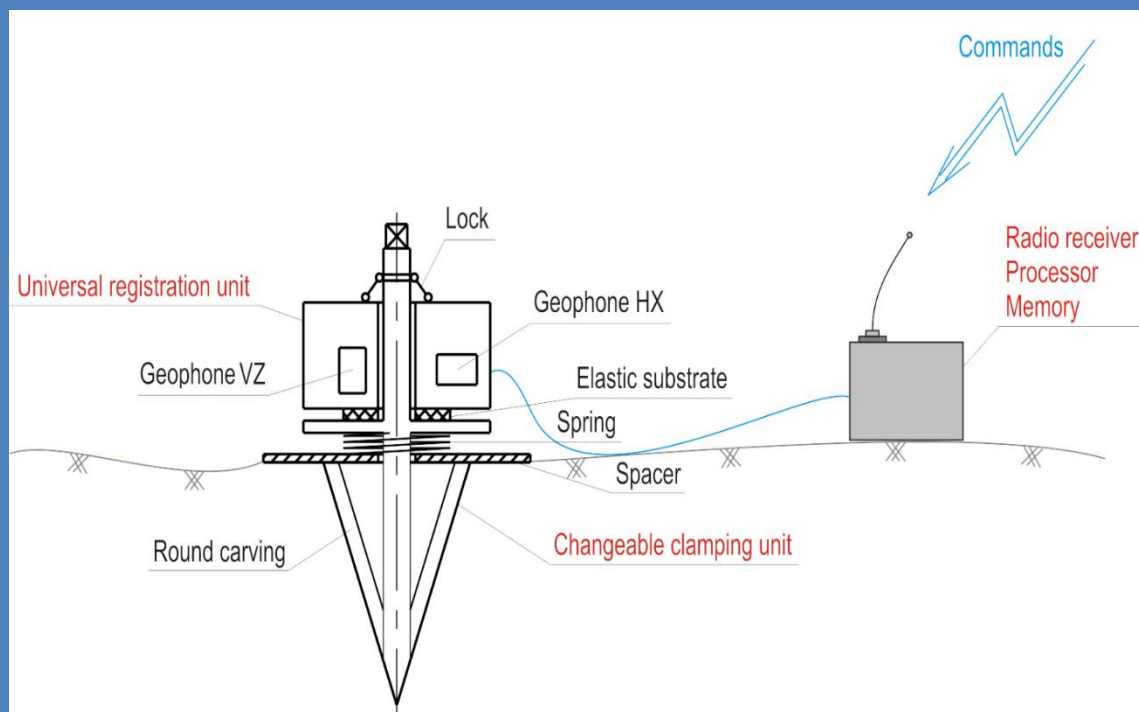
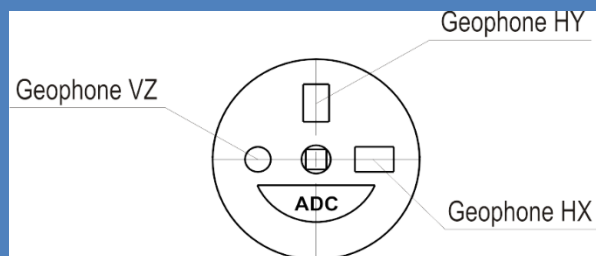
Трехмерные системы наблюдений обеспечивают регистрацию полной формы импульса возбуждения на глубине для каждой сейсмограммы и времени пробега от каждой точки возбуждения до фиксированных точек приема на глубине. Это позволяет обеспечивать деконволюцию по форме сигнала с целью стандартизации условий возбуждения и оценивать скоростные аномалии в верхней части разреза с использованием скоростной модели, полученной из ВСП.



3.Трехкомпонентная внутренняя оцифровка без группирования в поле, нерезонансный контакт геофонов. / 3C inside digitizing, no infield array mixing, non-resonance geophone clamping.

Наличие компактных накопителей огромной емкости позволяет вести непрерывную регистрацию в течении всего времени съемки вместе с точным астрономическим временем. В результате отпадает необходимость в соединительных кабелях. Количество точек регистрации в этом случае ограничено только экономическими соображениями.

В методе ВСП точно установлено, что сейсмоприемник должен быть прижат к среде с усилием примерно в 10 раз превышающим вес регистрирующего устройства. В наземной сейморазведке это условие никак не обеспечивается, и в массовом порядке наблюдаются механические резонансы, связанные с отсутствием прижима сейсмоприемника к земле. Рекомендуется использовать принцип винта с гравюрной шайбой для жесткого нерезонансного сцепления сейсмоприемника с землей.

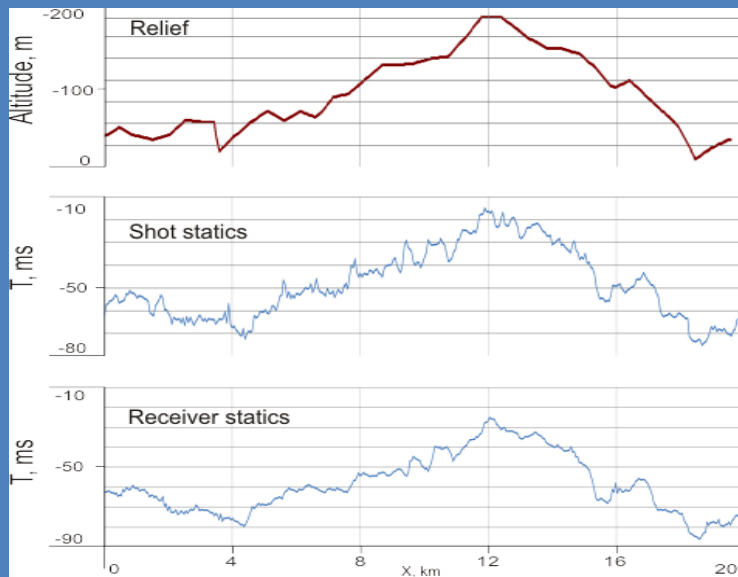


4.Определение статических сдвигов методом «Поликор» / Statics shifts by POLYCOR algorithm.

Стандартная модель годографа отраженной волны состоит из четырех факторов: кинематические сдвиги, сдвиги за наклон горизонтов, поправки за ПВ и ПП. Метод «Поликор» позволяет свести стандартную модель к двум факторам - поправкам за ПВ и ПП, определяемым независимо друг от друга.

Метод обладает высокой помехоустойчивостью, также отсутствует необходимость в предварительной оценке скоростей.

Представленные результаты определения статических поправок по профилям с Восточной и Западной Сибири в условиях наличия ММП демонстрируют корреляцию статики с рельефом. Характерные локальные минимумы в статических поправках по Западной Сибири соответствуют руслам рек.



Восточная Сибирь / Eastern Siberia.

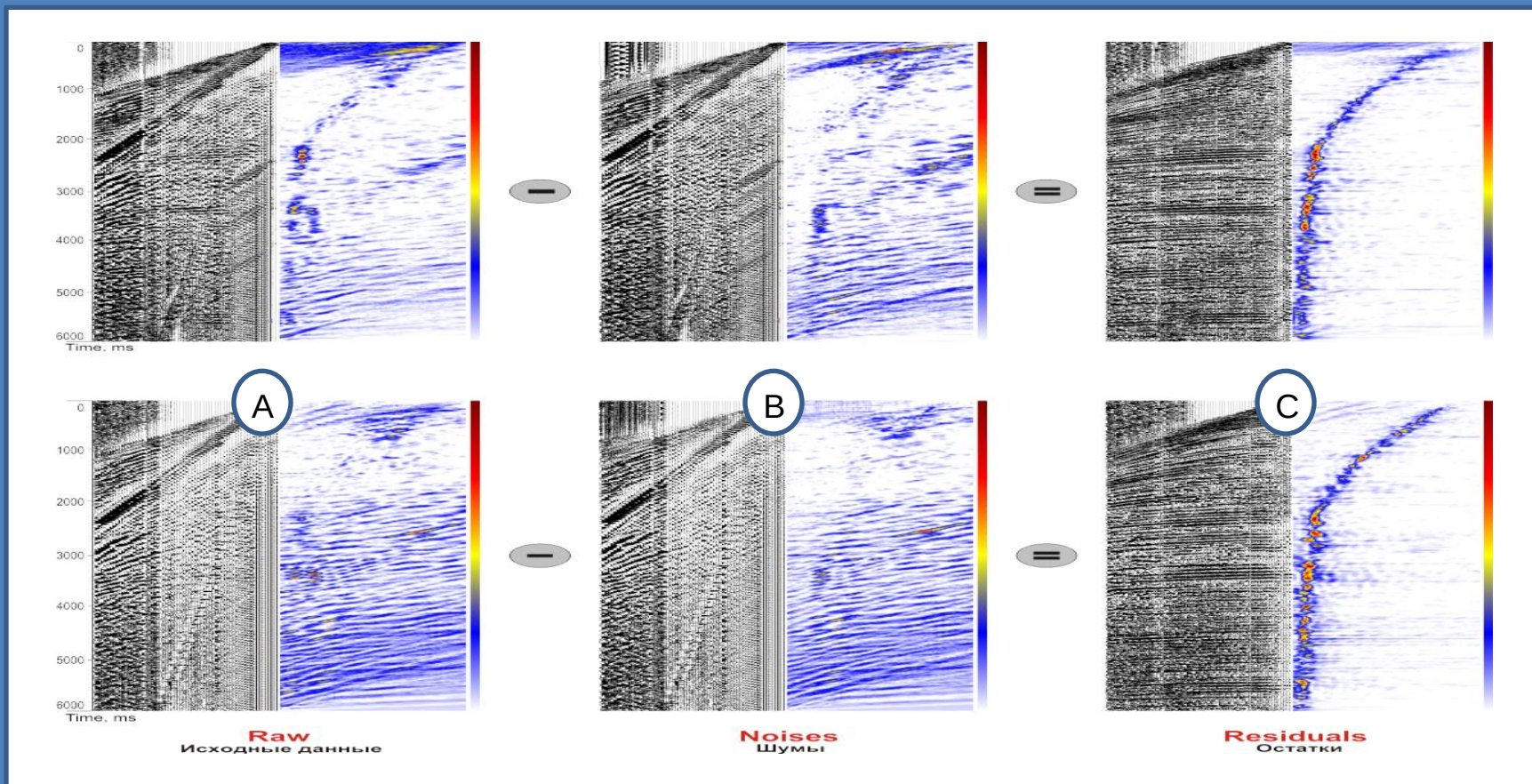


Западная Сибирь (район ММП) / Permafrost
Western Siberia.

5. Анализ волновых полей / Wavefield analysis.

Технология:

- Выделение полезных волн в процессе анализа (разложения) волнового поля на составляющие компоненты разного типа.
- Последовательное итеративное уточнение компонент волнового поля путем фильтрации недопустимых для каждой компоненты вариаций и извлечения проекций этой компоненты на все другие.
- Раздельная обработка высоких и низких частот.
- Выполнение условия аддитивности на всех этапах обработки.



А – исходное волновое поле, содержащее полезные волны и помехи, В – поле помех, включая кратные отражения, С – полезные волны, как результат вычитания помех из исходного поля.

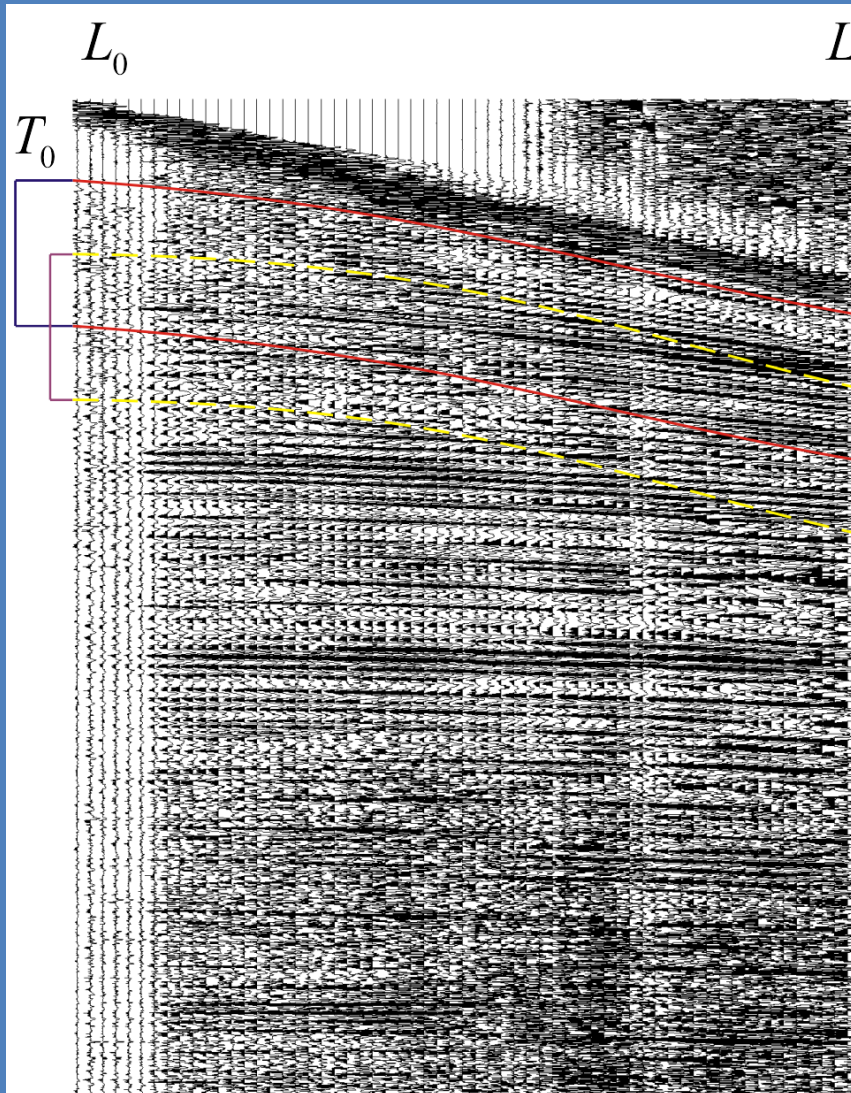
6. Статистически-представительная четырехфакторная деконволюция / Statistically consistent 4-factor deconvolution.

Деконволюция данных ОГТ выполняется по алгоритму фильтра ошибки предсказания. Его применение основано на гипотезе стационарности и эргодичности отражательной характеристики среды и минимальной фазовости составляющего сигнала. Первая гипотеза требует максимального увеличения интервала анализа. Вторая соблюдается, хотя и не строго.

В каждой трассе форма сигнала определяется формой импульса возбуждения, характеристикой в точке приема, фактором времени регистрации и фактором удаления.

Для каждой трассы определяется выбор автокорреляций со сдвигом во времени. По этому набору определяются параметры изменения во времени и для каждого времени – по удалению. Все автокорреляции корректируются за эти факторы и затем определяются по пунктам возбуждения и пунктам приема. Для каждой трассы синтезируется оператор, сочетающий в себе факторы ПВ, ПП, удаления и времени. Особенностью процедуры является то, что факторы времени и удаления используются как параметры с большим осреднением, что позволяет затем осреднять скорректированные автокорреляции по всем временам. Это обеспечивает статистическую представительность процедуры.

6. Статистически-представительная четырехфакторная деконволюция / Statistically consistent 4-factor deconvolution.



$$\rightarrow \Phi_L = \Phi_0 e^{-(\alpha_1(|L|-|L_0|)+\alpha_2)\omega(|L|-|L_0|)}$$

$$\downarrow \Phi_T = \Phi_{T_0} e^{-(\alpha_3(T-T_0)+\alpha_4)\omega(T-T_0)}$$

Autocorrelation calculation for
prediction error operator

$$\Phi_p = \Phi_B * \Phi_{SP} * \Phi_{RP} * F_L * F_T$$

Φ_B – basic autocorrelation,

Φ_{SP} – shot point factor,

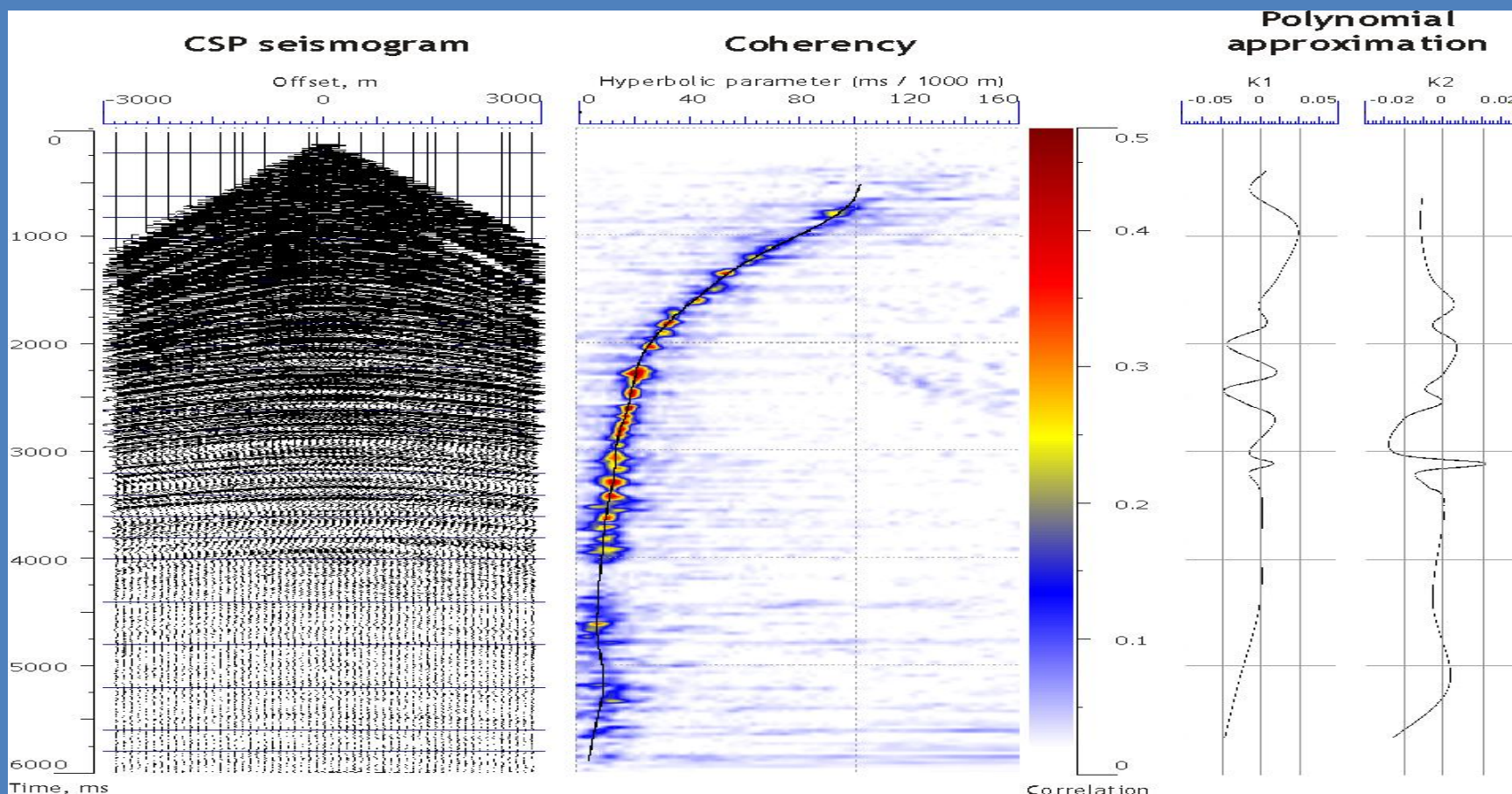
Φ_{RP} – receiver point factor,

F_L – offset factor,

F_T – time factor

7. Кинематический анализ / Kinematic analysis.

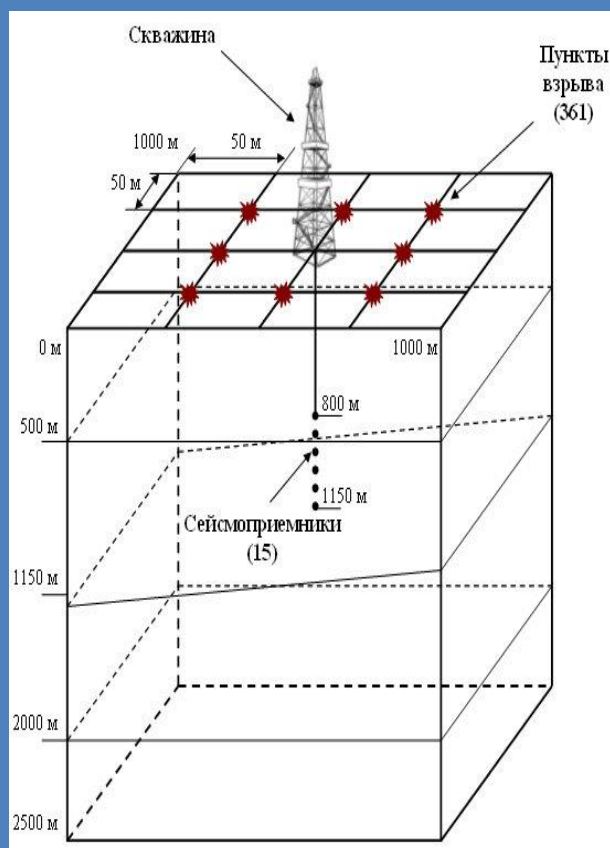
В технологии СВЧ представлена универсальная модель строения годографов отраженных волн, содержащая гиперболическую часть, а также дополнительную полиномиальную составляющую для описания любых возможных отклонений формы годографа от гиперболы. Для оценки параметров гиперболы выполняется ввод кинематики для различных параметров с заданным шагом. В полученных сейсмограммах определяется суммарный коэффициент корреляций по вертикали для групп соседних удалений с заданным шагом. При наличии максимумов функций подобия определяется их положение во времени и совокупность выделенных точек аппроксимируется полиномом заданной степени.



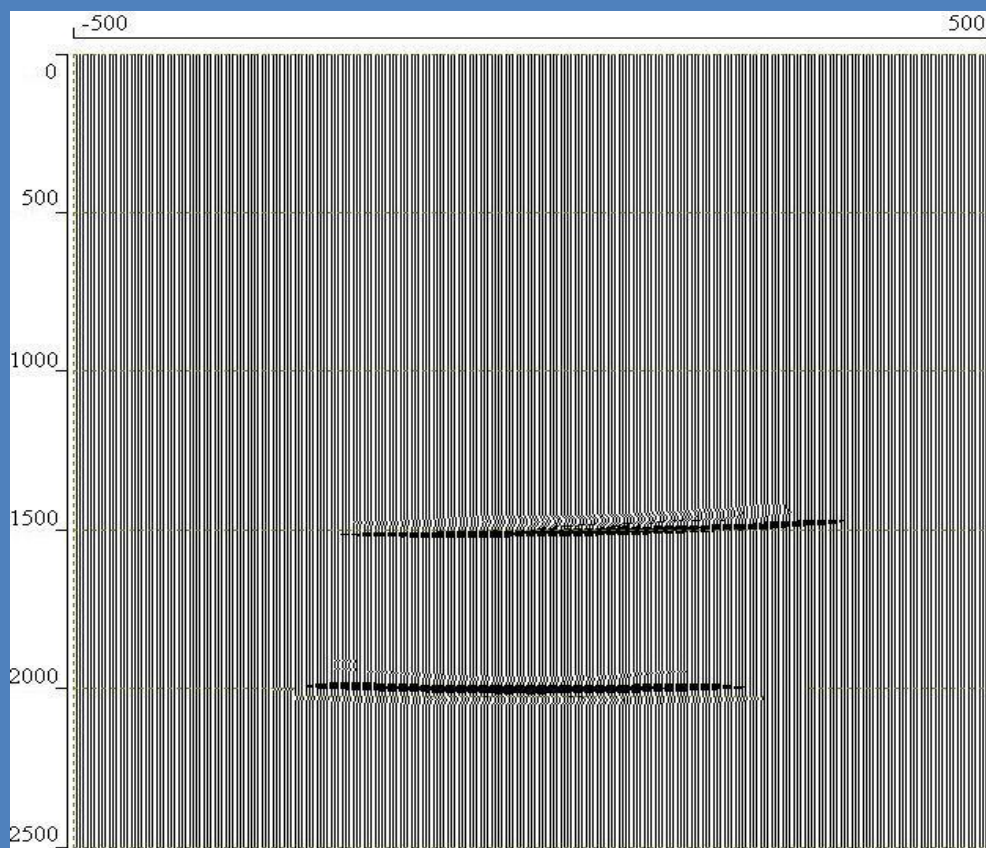
8. Векторная миграция / Vector migration.

В трехмерном дискретизированном пространстве запускается конечноразностная схема, в которой в каждой точке приема действует источник, определяемый векторными колебаниями, зарегистрированными сейсмоприемником в обратном времени.

Регистрация поля в точках среды с заданным шагом дает волновые поля, которые в вертикальном сечении представляют собой векторное ВСП, для которого определены процедуры инверсии. Результаты инверсии образуют куб коэффициентов отражения по нормали к отражающим границам (рис. 8.2).



8.1. Система наблюдения / Observation system.



8.2. Изображение / Migration image.

9. Суммирование продольных PP и обменных PS отражений / PP and PS waves summing.

Физически на каждой границе образуются четыре рассеянных волны. Две продольных и две поперечных. Ясно, что только все четыре полностью характеризуют границу рассеяния.

В реальной практике используется только обратное рассеяние продольной волны. Обменные обратно рассеянные поперечные волны регистрируются на поверхности, но реально не используются.

Предложено накапливать продольные и поперечные волны в точке рассеяния с коэффициентом, обеспечивающим компенсацию зависимости коэффициента отражения от угла падения (формула Табакова-Баева).

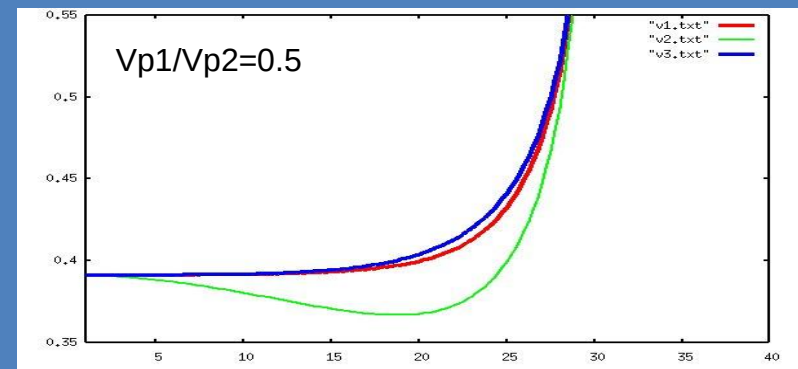
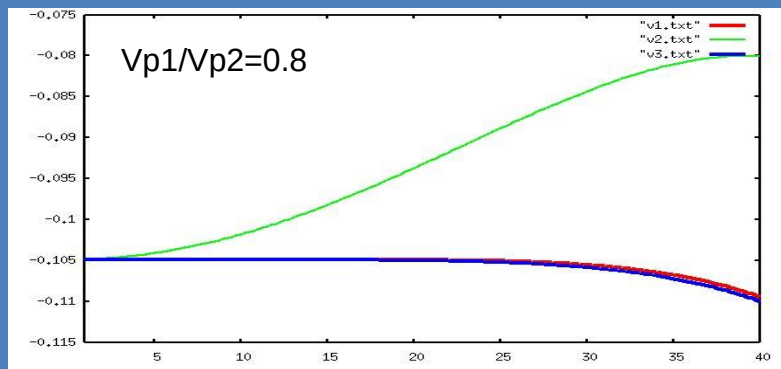
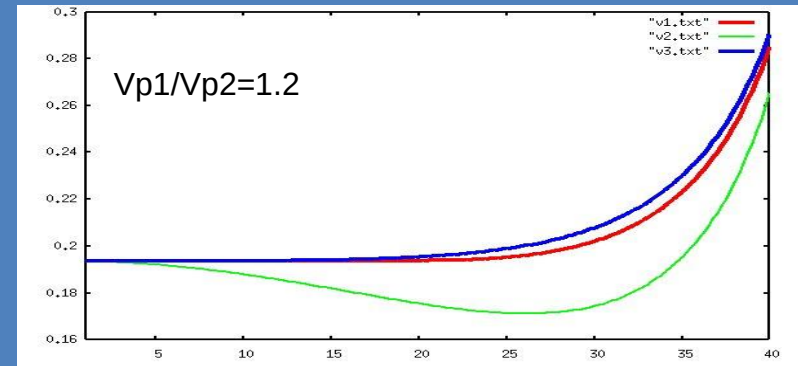
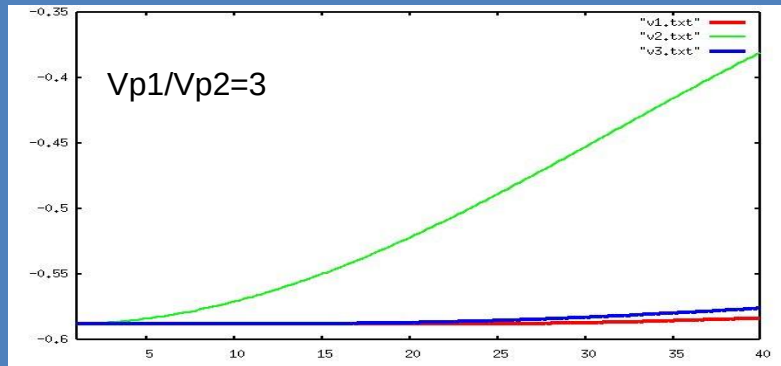
На рис.9.1 приведены расчетные зависимости коэффициентов отражения от угла падения для 4-х моделей. В широком диапазоне углов до порога полного внутреннего отражения амплитуды отражений приближаются к отражению по нормали.

Эта разработка может придать смысл трехкомпонентной регистрации.

9. Суммирование продольных PP и обменных PS отражений / PP and PS waves summing.

Формула Табакова-Баева / Tabakov-Baev formula.

$$A_{pp0} = A_{pp}(\theta) + \frac{1}{2} \sin(\theta) A_{ps}(\theta)$$



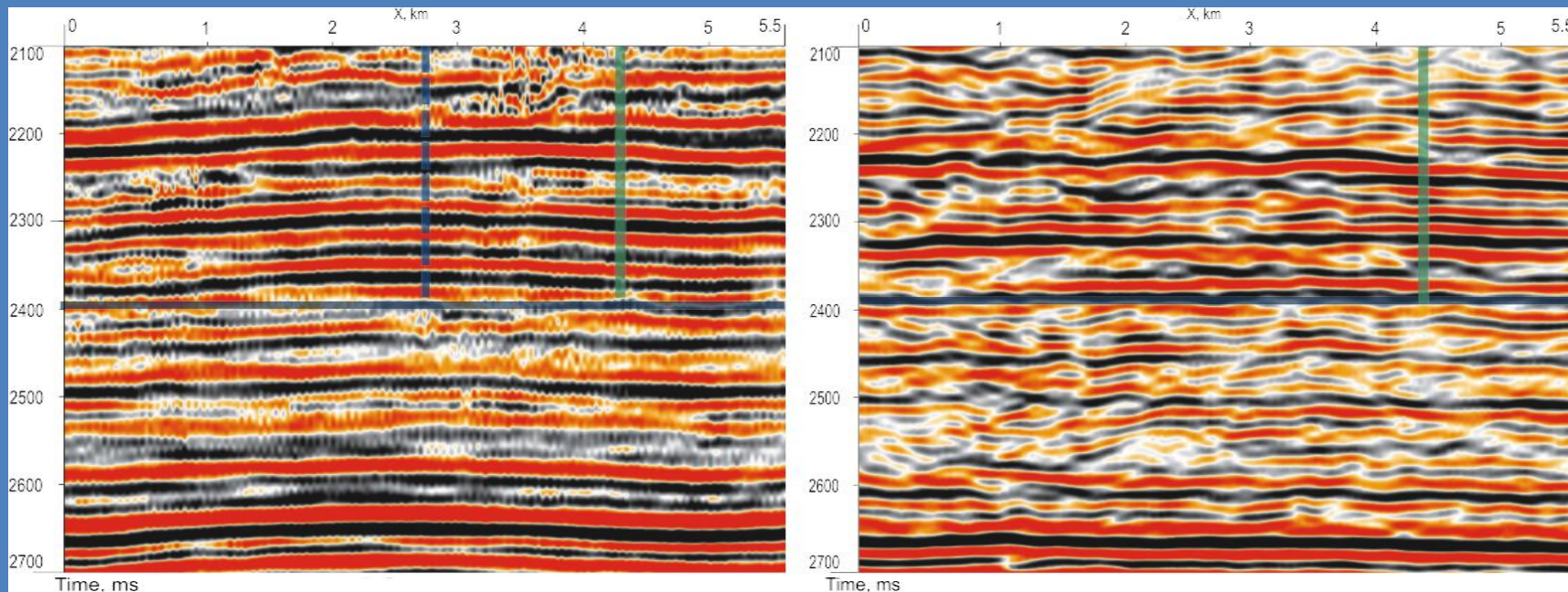
 Зависимость K_{pp} от угла / K_{pp} from angle.

4.1.  Суммирование с эмпирически оптимальным коэффициентом / Empirically optimal summing.

 Суммирование по формуле Табакова-Баева / Tabakov-Baev summing formula.

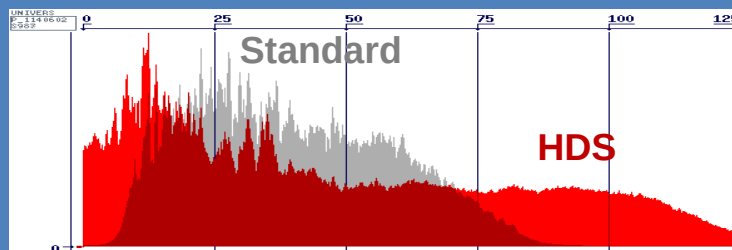
11. Результат обработки по технологии СВЧ (фрагмент временного разреза) / HDS technology processing result (time section fragment).

На разрезе, полученном по стандартной технологии, отсутствует антиклинальный перегиб из-за недостоверности статических поправок и известный по геологическим данным косослоистый горизонт на временах 2400 – 2450 мс.



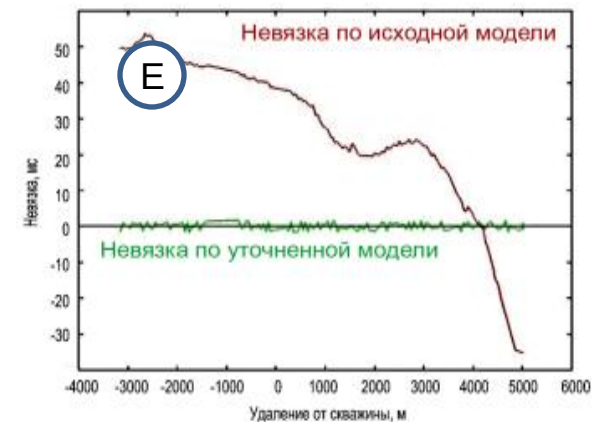
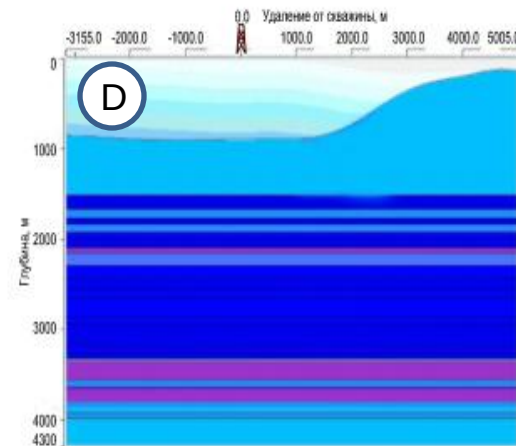
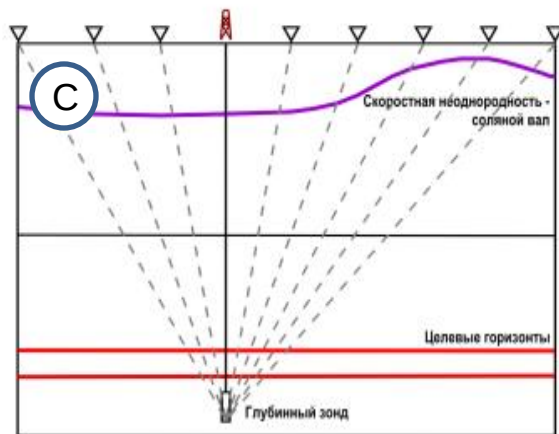
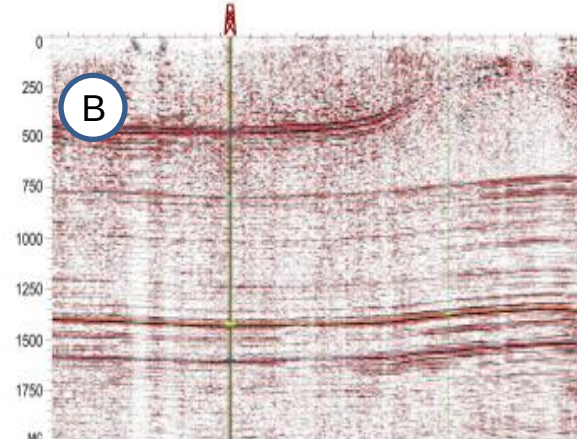
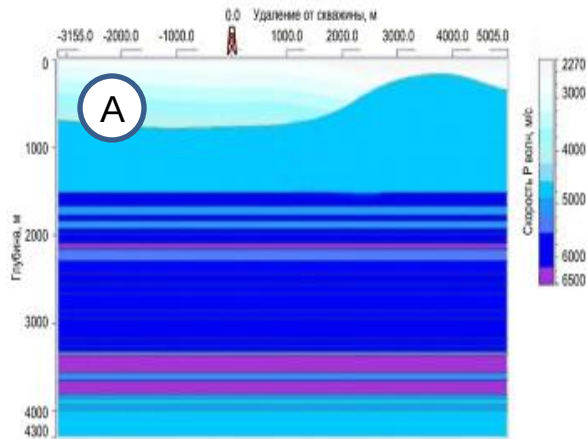
СВЧ обработка / HDS processing.

Стандартная обработка / Top brand software.



Спектры / Spectra.

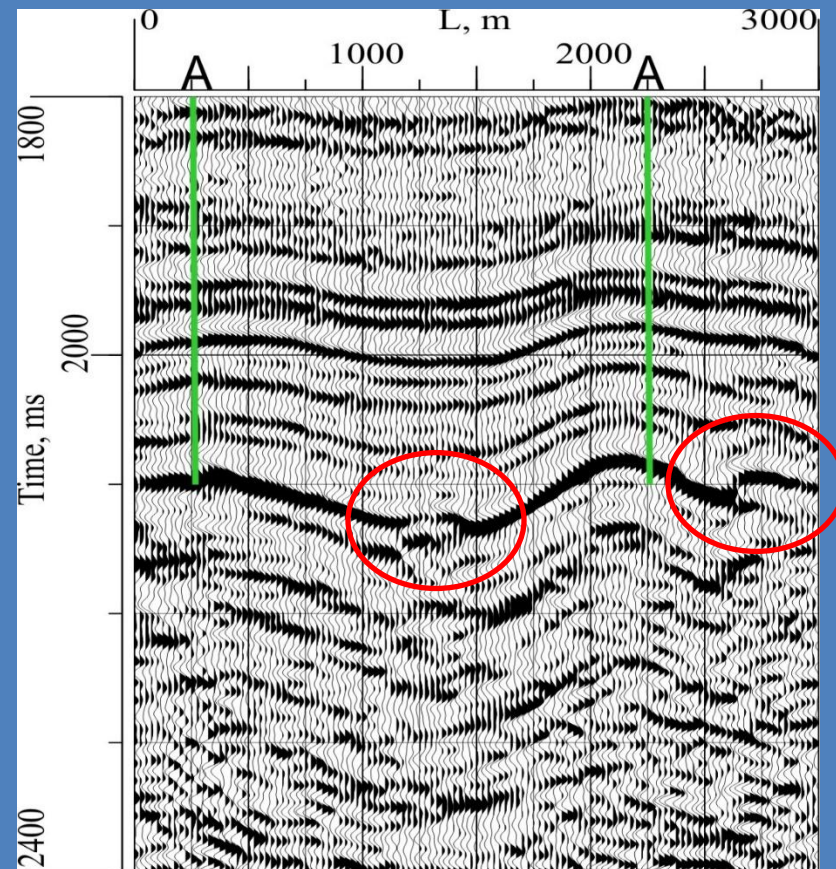
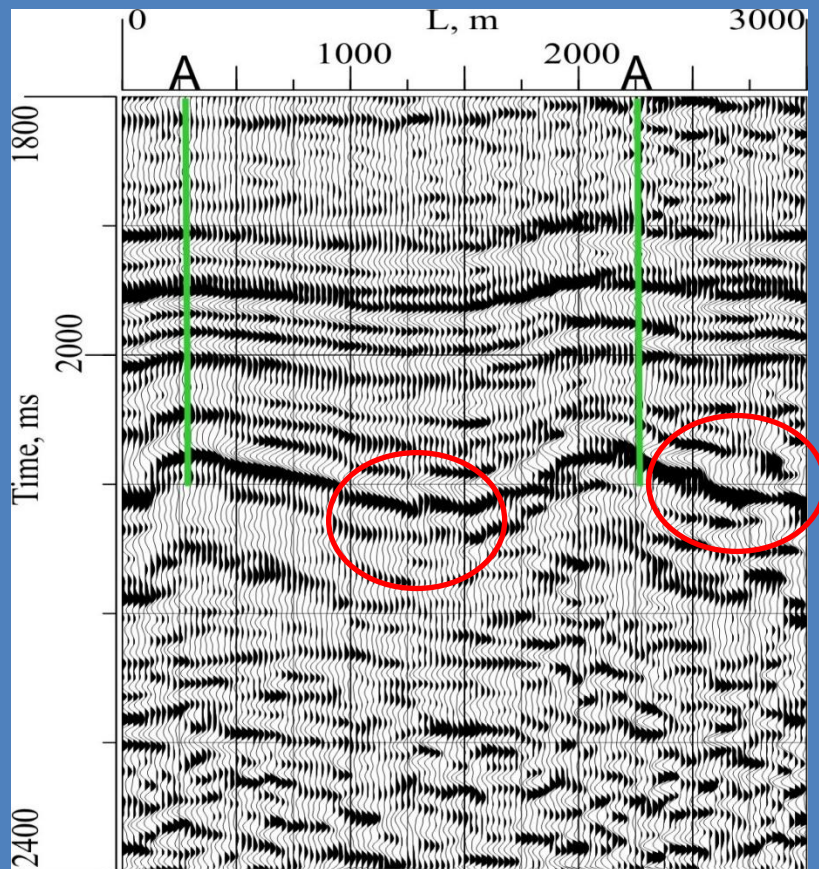
11. Результат обработки по технологии СВЧ, 2D+ВСП



А-Скоростная модель из СП (Geodepth), В-Изображение СП, С-Методика наблюдений 2D+ВСП, D-Уточненная скоростная модель, Е-Контроль глубинным прибором / A-Velocity model from SES (Geodepth), B-Image from SES, C-2D+VSP observation system, D-Adjusted velocity model, E-Downhole control from 2D+VSP.

11.Результат обработки по технологии СВЧ, 2D+ВСП

Применение технологии 2D+ВСП обеспечивает лучший результат, чем применение стандартного 3D. Лучше выделяются объекты поиска, которые в 3D проявляются в виде осложнений.



Сопоставление результатов обработки данных 2D+ВСП (справа) и стандартного 3D (слева) / Comparison of processing results by means of 2D+VSP technique (right) and ordinary 3D technique (left)

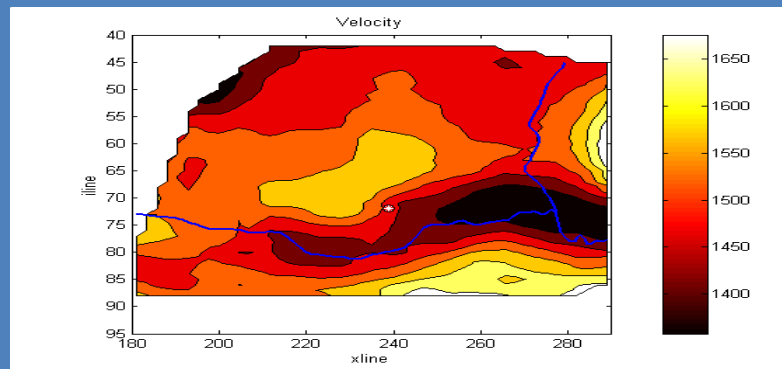
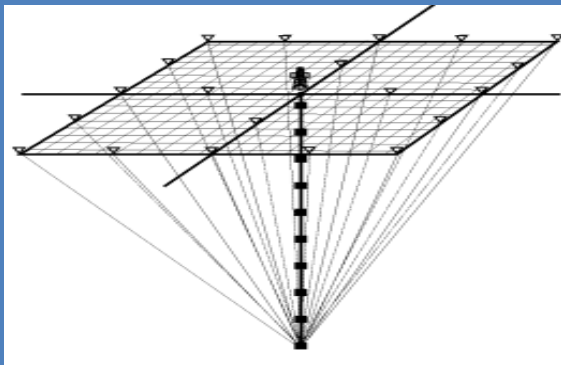
11. Результат обработки по технологии СВЧ, 3D+ВСП

При одновременной регистрации данных 3D съемки на поверхности и вблизи забоя глубокой скважины возникает возможность стандартизации импульсов возбуждения и коррекции статических поправок, в том числе низкочастотных, за счет просвечивания среды.

На рис. 11.1 – 11.3 показан пример результатов 3D, полученных после предварительной коррекции статических поправок и стандартизации импульсов возбуждения по наблюдениям в глубокой скважине одновременно с регистрацией на поверхности.

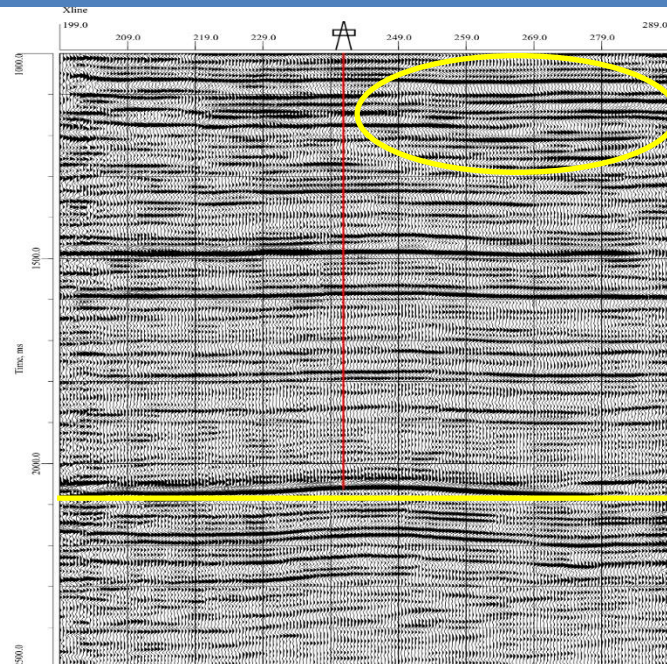
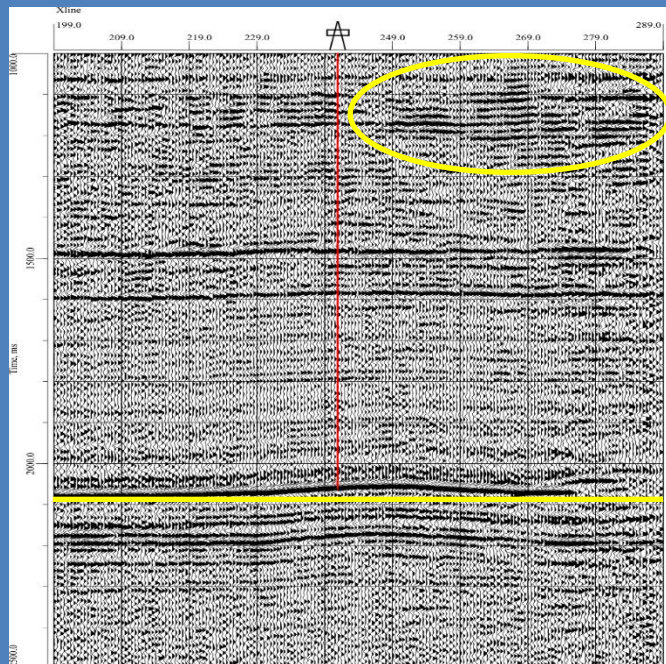
Существенно уточнено замыкание антиклинали и устранены резонансные явления.

11. Результат обработки по технологии СВЧ, 3D+ВСП



11.1. Система наблюдений 3D+ВСП

11.2. Карта скоростей слоя, включающего вечную мерзлоту



11.3. Сопоставление результатов обработки данных 3D+ВСП (справа) и стандартного 3D (слева)

12. Выводы и рекомендации / Conclusions

1. Разработанные в рамках технологии Сейсморазведки Высокой Четкости (СВЧ) новые, основанные на фундаментальных исследованиях, методы позволяют существенно расширить частотный диапазон обработки до 2-250Гц (7 октав) в условиях присутствия сильных помех, вызванных присутствием мерзлых пород, а также выявить и оценить низкоскоростные аномалии в зонах ММП.
2. Трехмерные системы наблюдений 3D+ВСП позволяют оценить и использовать истинную форму сигнала и истинные скорости, включая аномальные зоны.
3. Метод «Поликор» позволяет корректно определять статические поправки при резких вариациях мощности ММП.
4. Полный итеративный анализ волновых полей дает возможность выделить полезный сигнал на фоне помех в условиях ММП.
5. Суммирование Р и S волн позволяет улучшить соотношение сигнал/шум и расширить спектр временного разреза.
6. Векторная миграция является корректным способом оценки коэффициентов отражения по нормали к границе.
7. Эффективность технологии СВЧ для районов ММП подтверждена результатами обработки реальных данных по Восточной и Западной Сибири.