O1

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ВЫСОКОЙ ЧЕТКОСТИ (СВЧ) ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ СТРОЕНИЯ СЛАБЫХ ОТРАЖАЮЩИХ ГОРИЗОНТОВ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ 2D НА БЕРЕГОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ШУМОВ И ПЕРЕМЕННОЙ МОЩНОСТИ ММТ

А.А.Табаков*, В.В.Яньшин**, А.В.Мельников**, Ю.А.Степченков***, Л.В.Калван*, В.Н.Ференци*

*(*ООО «ГЕОВЕРС», Москва; **АО «Геотрансгаз», Москва; ***ООО «УНИС», Санкт-Петербург)*

HIGH DEFINITION SEISMIC (HDS) TECHNOLOGY FOR WEAK REFLECTING HORIZONS STRUCTURE SPECIFICATION FROM 2D SURFACE SEISMIC DATA ON BEREGOVOYE FIELD AT HIGH NOISE LEVEL AND VARIABLE PERMAFROST SECTION POWER CONDITIONS

A.A.Tabakov*, V.V.Yanshin**, A.V.Melnikov**, Yu.A.Stepchenkov***, L.V.Kalvan*, V.N.Ferentsi*

*(*GEOVERS Ltd., Moscow; **Geotransgaz JSC, Moskow; ***UNIS Ltd., Saint Petersburg)*

Аннотация. Технология Сейсморазведки Высокой Четкости (СВЧ), основанная на фундаментальных исследованиях, позволяет выделять полезный сигнал в широком частотном диапазоне в условиях присутствия сильных помех. Для этого применяется адаптивный итеративный анализ волнового поля методом проектирования на область допустимых значений в нескольких частотных диапазонах, корректно определяются статические поправки по алгоритму «Поликор». На примере обработки реальных данных наземной сейсморазведки 2D Берегового месторождения показана эффективность технологии СВЧ. В условиях высокого уровня шумов и переменной мощности ММТ получена важная дополнительная информация по слабым отражающим границам, выделен новый перспективный объект. Проведено сопоставление результатов, полученных по технологии СВЧ, с результатами обработки 2D и 3D прошлых лет.

Abstract. Based on basic researches High Definition Seismic (HDS) technology allows to select useful signal in wide frequency interval against strong noises. Adaptive iterative wave field analysis by means of projecting into tolerance range in several spectral windows is applied. Statics shifts are correctly determined by Polycor algorithm. Efficiency of HDS technology is illustrated by the example of real 2D surface seismic data processing on

Beregovoye field. At high noise level and variable permafrost section power conditions useful additional information on weak reflective boundaries is obtained. New exploration target is found. Results obtained by HDS technology and both 2D and 3D processing results of last years are compared.

Введение

Зоны ММТ, характерные для Западной Сибири, обладают свойствами, сильно осложняющими сейсморазведку. Поверхностные волны, распространяющиеся по кровле мерзлоты, имеют относительно высокую скорость и закрывают значительную часть сейсмограммы. Сейсмические волны, проходящие через сильные границы, особенно при многослойной мерзлоте, теряют существенную часть энергии. Зоны растепления под реками и озерами образуют низкоскоростные линзы, которые сильно искажают ход лучей.

Технология СВЧ, предназначенная для выделения полезного сигнала из волнового поля в максимально широком диапазоне частот при наличии сильных помех, основана на комплексном применении различных приемов, большая часть из которых хорошо известна [1]. К этим приемам относится:

- выделение сигналов при помощи проектирования волнового поля в различные области, в которых определены ограничения на параметры с последующим отделением информации за пределами допустимых значений этих параметров;
- выделение полезных сигналов, как остатков после вычитания всех выделенных регулярных и нерегулярных помех из исходного поля, с последующим накоплением выделенной части для сохранения аддитивности;
- итеративное уточнение всех выделенных сигналов до тех пор, пока итерации приводят к значимым изменениям;
- анализ волнового поля в нескольких частотных диапазонах;

В работе представлены результаты применения технологии СВЧ для обработки данных наземной сейсморазведки 2D Берегового месторождения, которые демонстрируют возможность получения важной дополнительной информации по слабым отражающим горизонтам в условиях высокого уровня шумов и переменной мощности ММТ.

1. Оценка качества первичных материалов

Оценка качества первичных материалов 2D проводилась визуально путем сопоставления исходных сейсмограмм с сейсмограммами выделенных отраженных волн, полученными в результате обработки

данных по технологии СВЧ. На Рис. 1.1 показан фрагмент исходного волнового поля в сортировке трасс ОПВ после применения деконволюции. Трассы визуализированы с коэффициентом усиления 0.3. На Рис. 2.2 представлен соответствующий фрагмент волнового поля выделенных отраженных волн с коэффициентом усиления 50. Коэффициенты усиления подобраны таким образом, чтобы волновые поля на изображениях выглядели одинаковыми по интенсивности, что позволяет оценить отношение сигнал/шум как отношение коэффициента усиления поля отраженных волн к коэффициенту усиления исходного волнового поля. Для представленных данных отношение сигнал/шум составляет порядка 1/160.

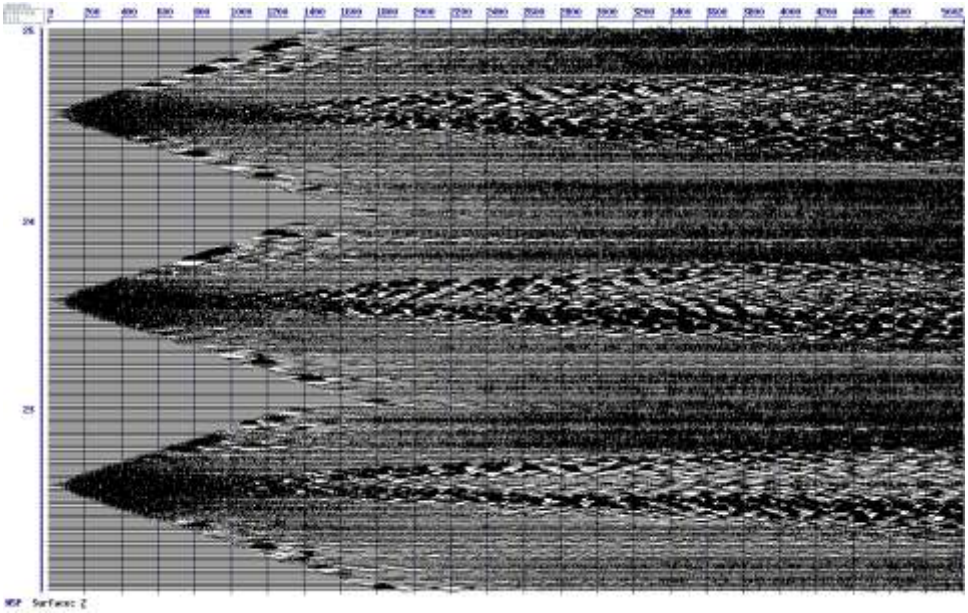

Рис. 1.1. Фрагмент исходного волнового поля профиля наземной сейсморазведки 2D, коэффициент усиления амплитуд 0.3.

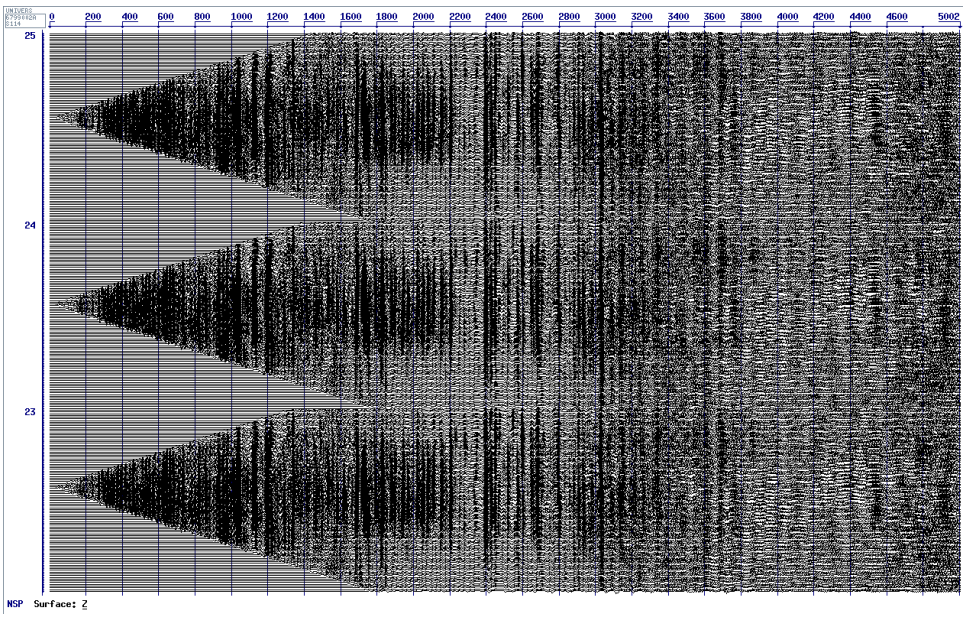

Рис. 1.2. Фрагмент поля выделенных отраженных волн профиля наземной сейсморазведки 2D, коэффициент усиления амплитуд 50.

2. Априорная статика, определение кинематических поправок

На начальном этапе обработки были рассчитаны и введены в исходное волновое поле априорные статические поправки, полученные с использованием альтитуд ПВ, ПП и с заданием постоянной скорости верхней части разреза 2000 м/с до линии приведения 0 м. На Рис. 2.1 представлен рельеф профиля 2D и априорные статические поправки.

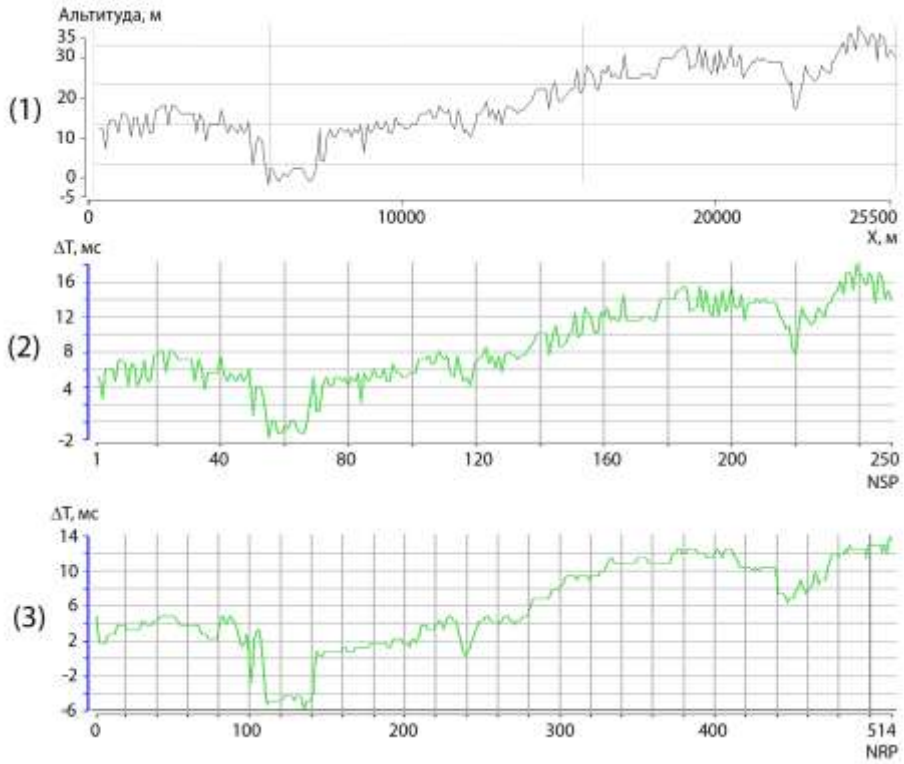

Рис. 2.1. Рельеф(1) и априорные статические поправки за ПВ(2) и ПП(3).

Для расчета скоростей однократно отраженных волн к исходному волновому полю применялся полосовой фильтр с полосой пропускания 20-60Гц, в которой отношение сигнал/шум полезных волн наибольшее. Скоростной закон определялся автоматически [2] с заданием общих для всего профиля априорных ограничений. На Рис. 2.2 показан пример подбора скоростных параметров отраженных волн для одной сейсмограммы ОПВ.

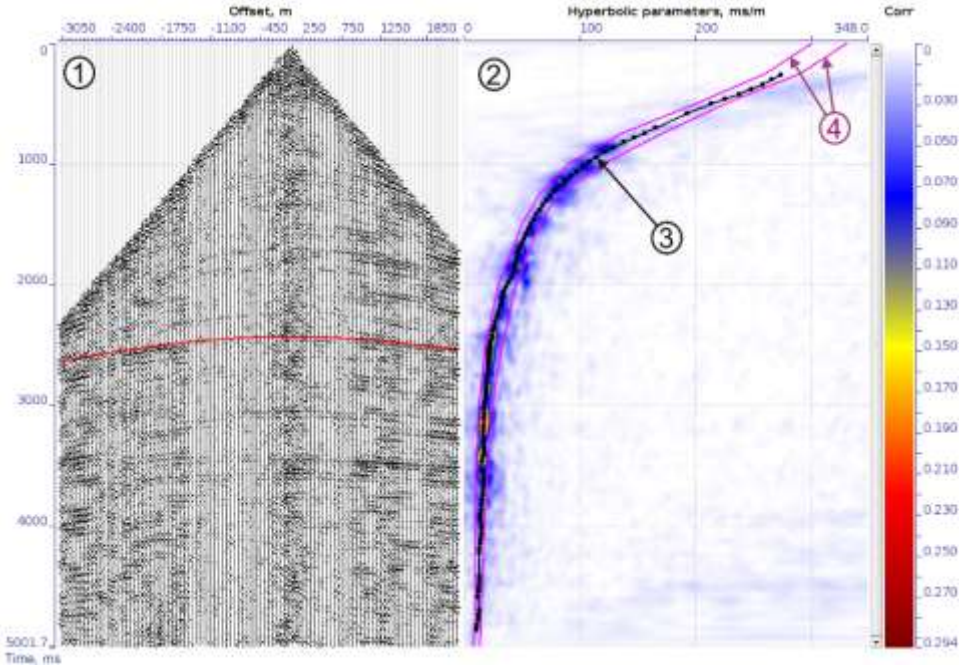

Рис. 2.2. Определение кинематических параметров. 1 – сейсмограмма ОПВ, 2 – спектр когерентности отражений, 3 – кривая параметров гипербол отраженных волн, 4 – априорные ограничения.

После выполнения процедуры подбора скоростей отраженных волн в исходные данные вводятся кинематические поправки, и вся дальнейшая обработка проводится с волновыми полями, в которых отраженные волны выведены на вертикаль.

3. Выделение «конуса помех» до деконволюции

На данном этапе обработки проводится выделение низкочастотных низкоскоростных помех (поверхностные волны Рэлея и Лява, звуковая волна), которые образуют на сейсмограммах так называемый «конус помех» (Рис. 3.1), а также помех другого вида (резонансы, амплитудные неоднородности).

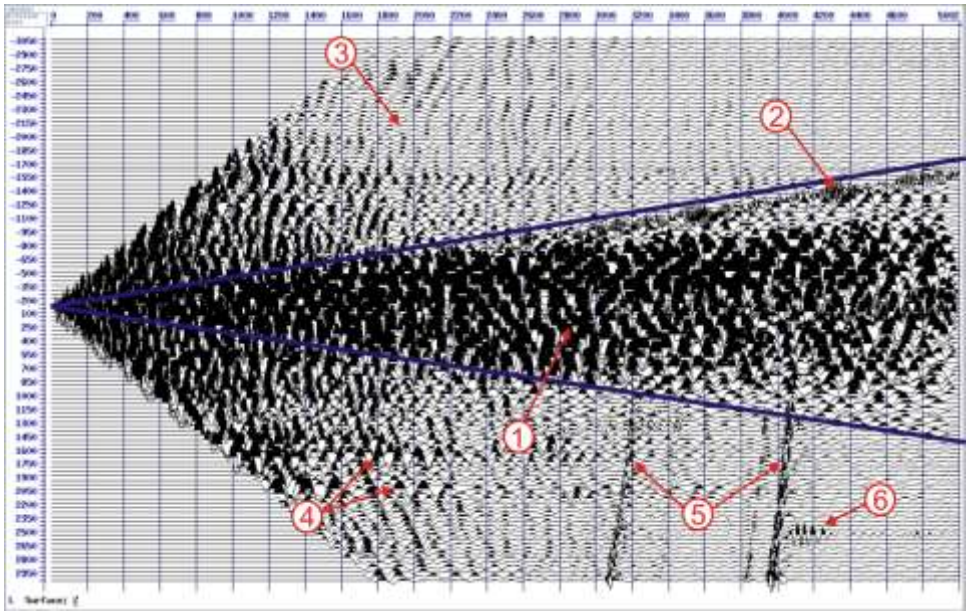

Рис. 3.1. Исходная сейсмограмма ОПВ с конусом помех. 1 – поверхностные волны, 2 – звук, 3 – кратные отражения, 4 – резонансы, 5 – обратные поверхностные рассеяния, 6 – амплитудные неоднородности.

Для выделения «конуса помех» используются следующие процедуры, реализованные в технологии СВЧ [3]:

- Двумерная FK-фильтрация;
- Селекция регулярных поверхностных волн по заданным кажущимся скоростям [4];
- Редактирование выдающихся амплитуд в различных частотных диапазонах;
- Посейсмограммное частотное редактирование (устранение гармонических помех);

На Рис. 3.2 показан выделенный «конус помех», полученный а результате применения описанных выше процедур, а на Рис. 3.3 полезные волны, полученные после вычитания «конуса помех» из исходных данных.

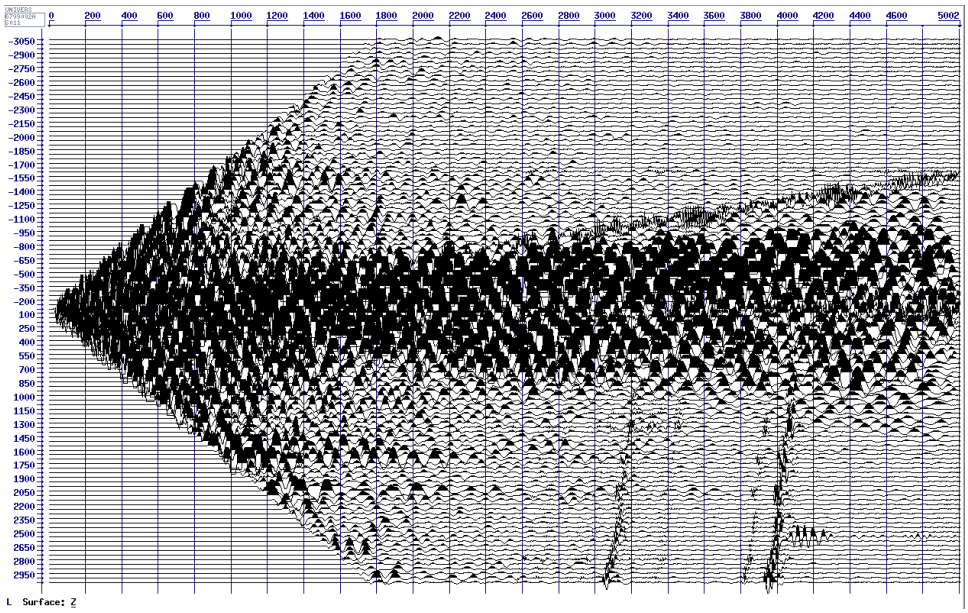

Рис. 3.2. Выделенный «конус помех».

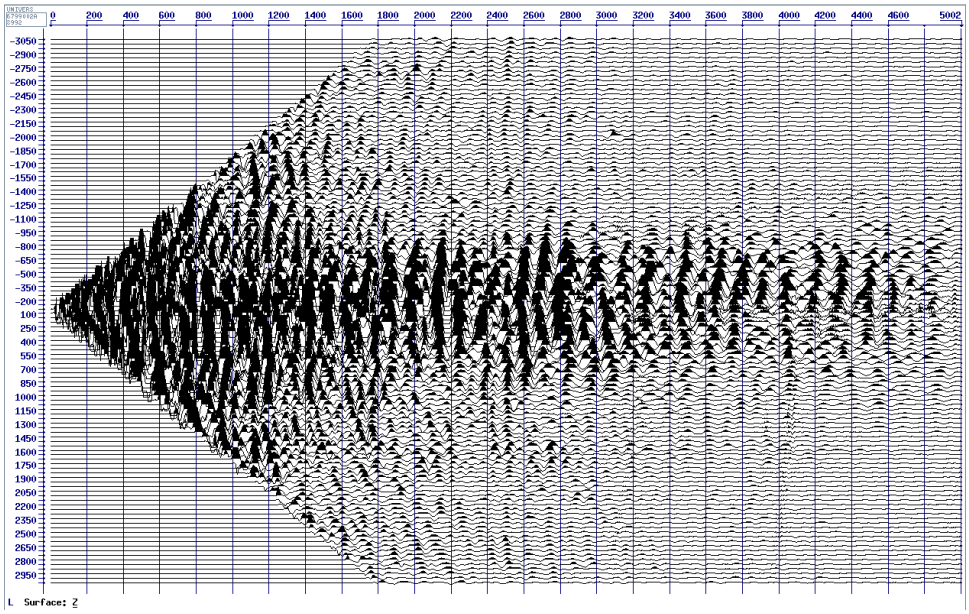

Рис. 3.3. Остатки после вычитания «конуса помех» из исходных данных (полезные волны).

4. Амплитудное и частотное редактирование

Для подавления в трассах коротких слабокоррелируемых внутри сейсмограммы всплесков большой амплитуды применяется процедура амплитудного редактирования в узких окнах. Каждая трасса разбивается на интервалы размером 10 мс, в пределах каждого интервала определяется максимальная по абсолютному значению амплитуда и строятся оценки превышения максимальных амплитуд над средней амплитудой. Если

полученная оценка превышает заданный допустимый уровень дискриминации (варьируется от 5 до 2.5 для данной обработки), то такая амплитуда квалифицируется, как амплитуда помехи. Выделенные временные интервалы с помехами коррелируются с аналогичными интервалами на соседних трассах, и, если полученная оценка средней взаимной корреляции не превышает заданного порогового значения (задается равным 0.7), то соответствующие интервалы окончательно признаются интервалами с импульсными помехами. Помехи в этих интервалах подавляются.

Для устранения гармонических помех к исходным данным применяется процедура частотного редактирования, в основу которой положена оценка превышения амплитудного спектра текущей трассы в заданной выборке (ОГТ, ОПВ, ОПП, общее удаление) над заданным эталонным уровнем амплитудного спектра с последующим ослаблением амплитуд спектра трассы до этого уровня. Эталонный спектр может быть рассчитан в заданном временном окне, а также в скользящем по времени окне заданного размера. Частотное редактирование начинается при допустимом уровне превышения амплитудного спектра в 5 раз и состоит из следующих процедур:

1. *Получение эталона.* Для этого в выборке равных удалений с заданным допустимым уровнем превышения (от 5 на начальном этапе с постепенным уменьшением до 1.5) амплитудного спектра трассы над средним спектром сейсмограммы исходные данные профиля редактируются сначала во временном окне, равном длине всей трассы (5000 мс). Затем редактирование происходит в скользящих окнах, размер которых постепенно сокращается (2500 мс, 1000 мс, 500 мс, 200 мс, 160 мс, 120 мс). В результате такого редактирования получается эталонное волновое поле, а также остатки от редактирования (разница между исходным полем и эталоном), содержащие существенный процент полезных волн.

2. *Редактирование остатков с эталоном.* К остаткам применяется частотное редактирование с полученным эталоном в нескольких скользящих окнах (500 мс, 200 мс, 160 мс). Уровень превышения амплитудного спектра задается несколько выше (~ на 30%), чем уровень превышения при получении эталона. Результатом являются новые отредактированные остатки, в которых проекции полезных волн практически отсутствуют.

Полученные таким образом остатки вычитаются из исходного волнового поля и добавляются в помехи. Редактирование повторяется с уменьшением допустимого уровня превышения спектра трассы вплоть до 1.5.

5. Деконволюция

После этапа предварительного подавления низкочастотных низкоскоростных помех выполняется процедура статистически представительной четырехфакторной деконволюции по алгоритму фильтра ошибки предсказания [5]. Форма сигнала в каждой трассе определяется формой импульса возбуждения, характеристикой приема, фактором удаления и фактором времени регистрации. Факторы времени и удаления используются как параметры с большим осреднением, что обеспечивает статистическую представительность деконволюции. Применение этой процедуры позволяет расширить спектр в сторону высоких частот и, следовательно, повысить разрешенность. На Рис. 5.1 показан фрагмент волнового поля профиля 2D с АЧХ до выполнения процедуры деконволюции, на Рис. 5.2 представлен соответствующий фрагмент поля с АЧХ после выполненной процедуры деконволюции. Хорошо заметно увеличение разрешенности сигнала после деконволюции.

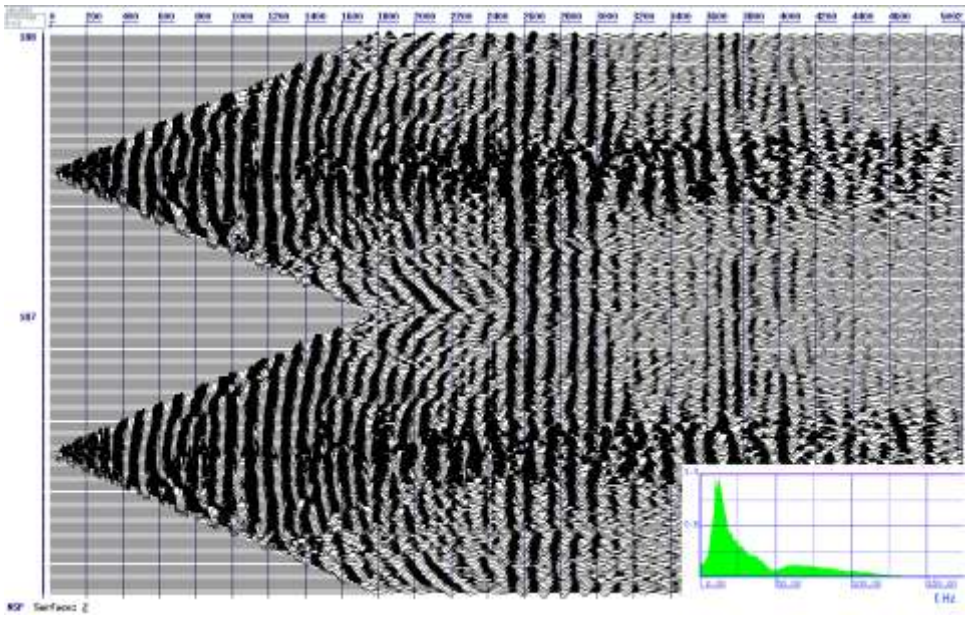

Рис. 5.1. Фрагмент волнового поля и АЧХ до применения процедуры деконволюции.

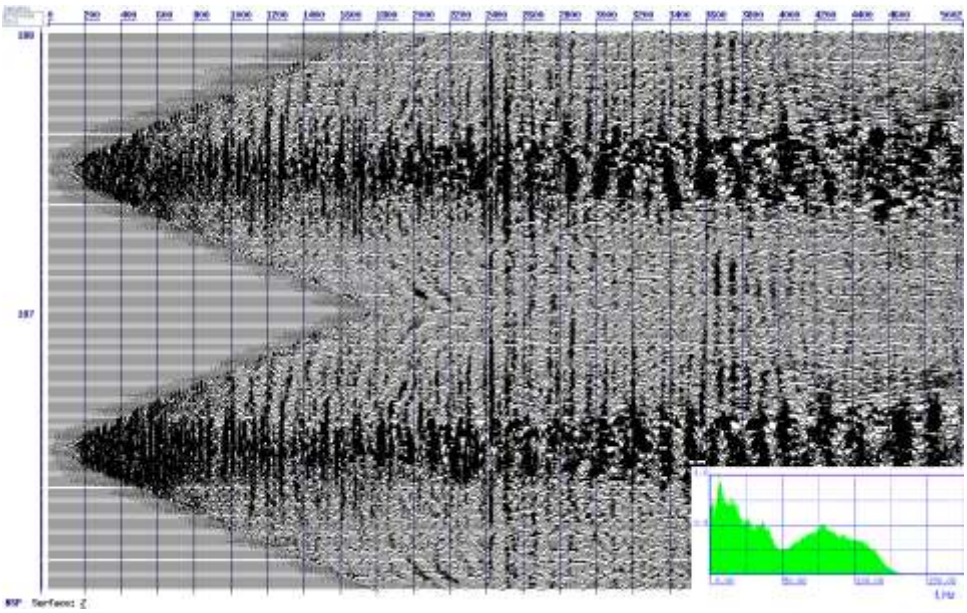

Рис. 5.2. Фрагмент волнового поля и АЧХ после применения процедуры деконволюции.

6. Коррекция статических поправок методом «Поликор»

После подавления «конуса помех», деконволюции и последующей фильтрации волнового поля, когда отношение сигнал/шум для полезных однократных отражений улучшено, для определения статических поправок применяется алгоритм «Поликор»[6]. К особенностям этого метода относится высокая помехоустойчивость, отсутствие необходимости в предварительной оценке скоростей, независимость определения статических поправок за ПВ и ПП. На Рис. 6.1 показаны кривые статических поправок за ПВ и ПП. Подобие кривых статических поправок по низкой частоте при независимости их расчета подтверждает достоверность полученного результата.

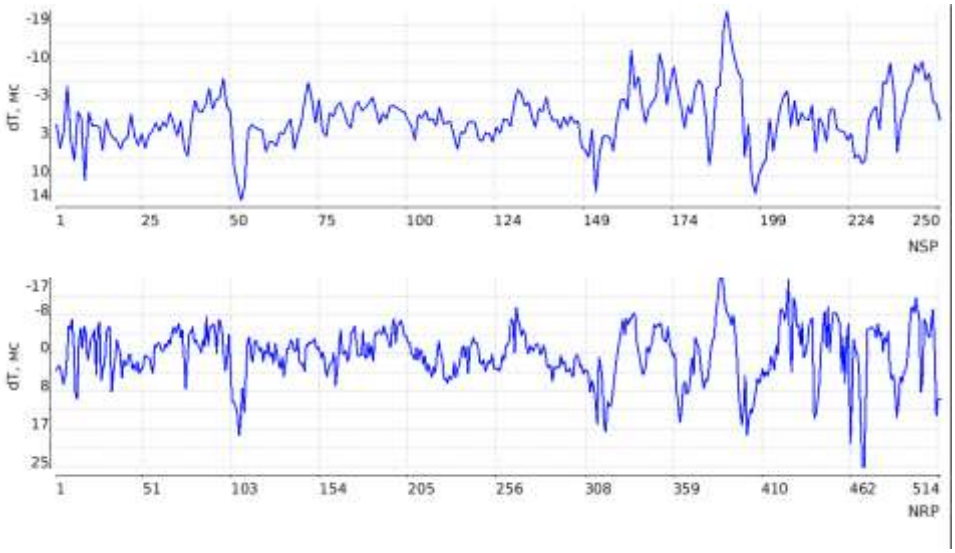

Рис. 6.1. Статические поправки, полученные методом «Поликор», 1 – за ПВ, 2 – за ПП.

На Рис. 6.2 показан результат применения статических поправок к сейсмическим трассам на удалении 1500 м.

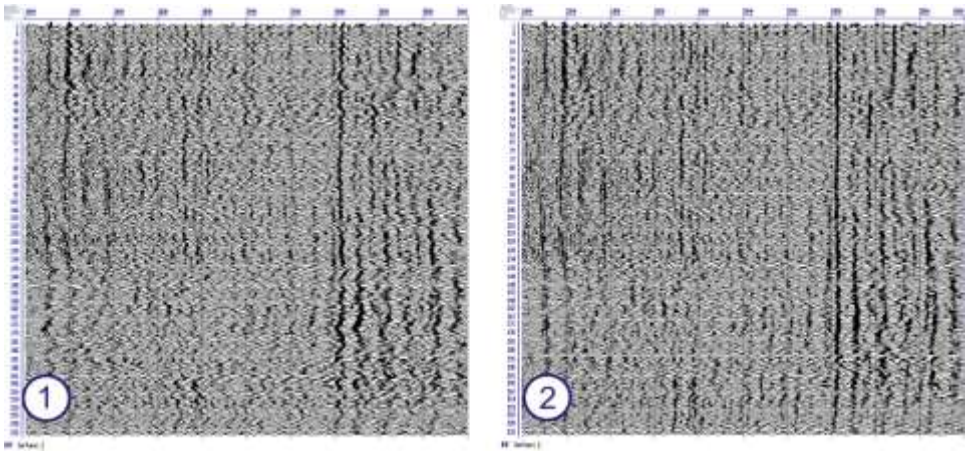

Рис. 6.2. Фрагмент волнового поля для удаления 1500 м до (1) и после (2) ввода статических поправок.

7. Итеративное разделение полезных волн и помех

Последующий процесс фильтрации представляет собой последовательное итеративное уточнение волнового поля путем выделения из него компонент с недопустимыми вариациями частот и амплитуд. При этом на каждом этапе выполняется условие аддитивности (сумма выделенных полезных волн и оставшихся помех дает исходное волновое поле). В рамках одной итерации процесса фильтрации выполняются следующие процедуры:

1. Выделение выведенных на вертикаль отраженных волн в различных сортировках трасс (ОСТ, ОПВ, ОПП, общее удаление) и получение вычитанием из исходных сейсмограмм поля остатков, которое содержит помехи разных типов [4].
2. Редактирование выдающихся амплитуд в различных частотных диапазонах (0-8 Гц, 8-15 Гц, 15-30 Гц, 30-60 Гц, 60-125 Гц) и при различных сортировках трасс (ОПВ, ОПП, ОСТ, общее удаление).
3. Частотное редактирование с постепенным уменьшением допустимого уровня превышения амплитудного спектра текущей трассы над средним спектром в сортировке трасс по общему удалению. Результатом является эталонное волновое поле для последующего частотного редактирования.
4. Частотное редактирование с постепенным уменьшением допустимого уровня превышения амплитудного спектра текущей

трассы над средним спектром, полученным по эталонному волновому полю в сортировке трасс по общему пункту возбуждения.

На Рис. 7.2 представлен фрагмент волнового поля помех, полученный в результате итеративной фильтрации. На Рис. 7.3 показаны полезные волны, которые получены в результате вычитания выделенных помех из исходного поля, изображенного на Рис. 7.1.

После итеративной фильтрации проводится дополнительная коррекция статики методом «Поликор»[6]. Полученные в результате дополнительные статические поправки вводятся в волновые поля (в исходные данные, в полезные волны и в помехи) и суммируются с поправками, полученными на предыдущих шагах.

Далее к волновым полям снова применяется процедура четырехфакторной деконволюции, после которой проводится итеративная фильтрация помех и дополнительная коррекция статики. Этот процесс чистки волнового поля продолжается до тех пор, пока отношение энергии полезных волн к энергии помех не станет достаточным для получения качественных временных разрезов.

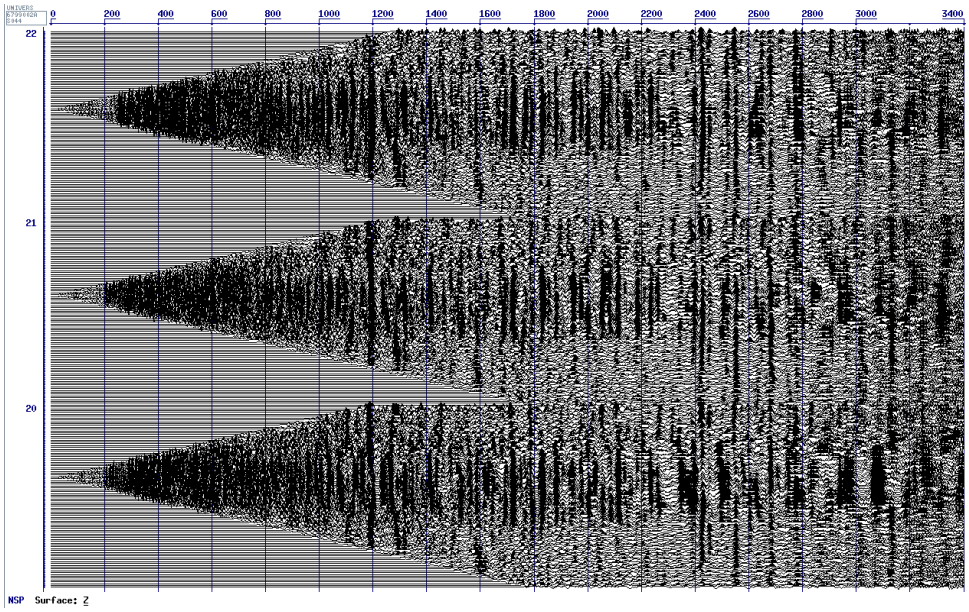

Рис. 7.1. Фрагмент волнового поля до итеративной фильтрации помех.

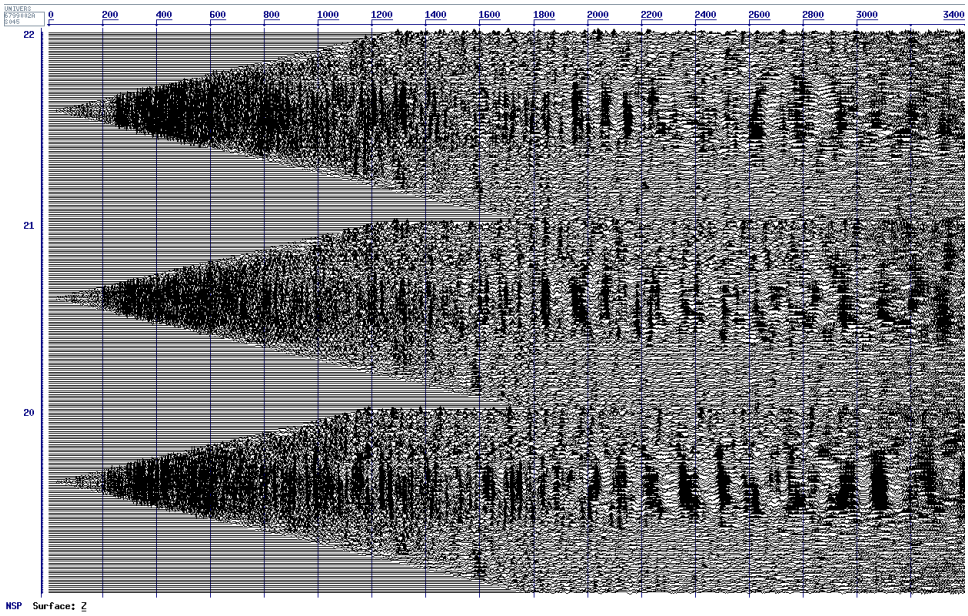

Рис. 7.2. Фрагмент волнового поля выделенных после итеративной фильтрации помех.

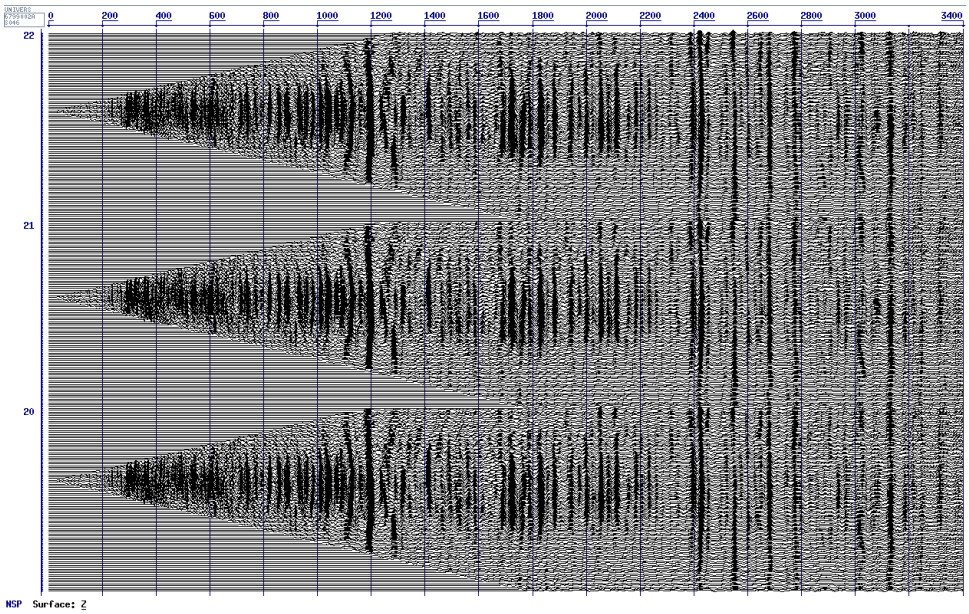

Рис. 7.3. Остатки после вычитания помех из исходного волнового поля (полезные волны).

8. Построение временного разреза, сопоставление результатов СВЧ и обработки 2D и 3D прошлых лет

На Рис. 8.1 представлен фрагмент волнового поля и АЧХ профиля 2D Берегового месторождения, подготовленного к суммированию в результате применения описанных выше процедур обработки данных по технологии СВЧ в пакете «Юниверс». На Рис. 8.2 показан соответствующий фрагмент выделенных из исходных данных помех. Перед суммированием, для улучшения качества разреза ОГТ,

рассчитываются и вводятся в трассы дополнительные кинематические поправки.

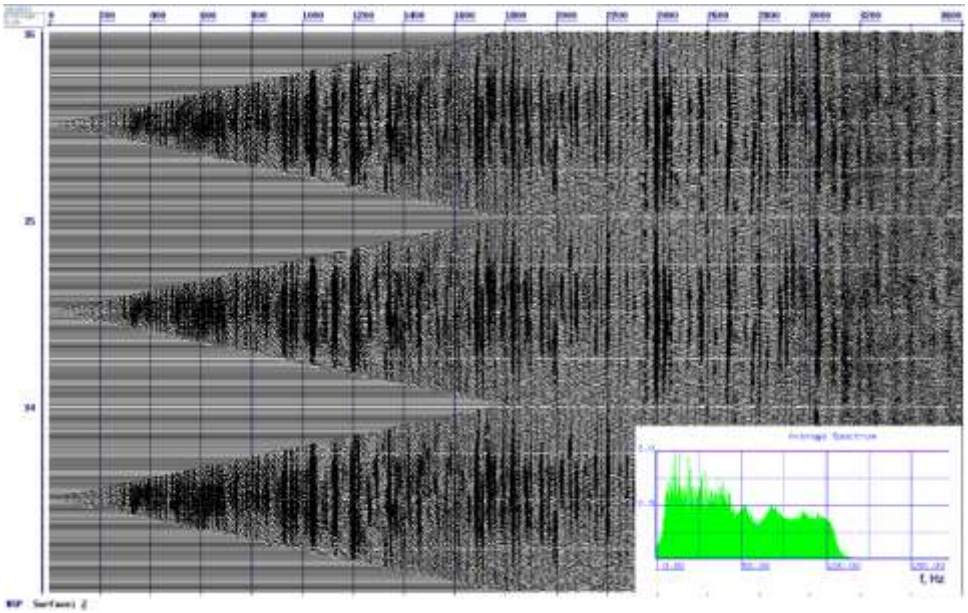

Рис. 8.1. Фрагмент подготовленного к суммированию волнового поля и АЧХ.

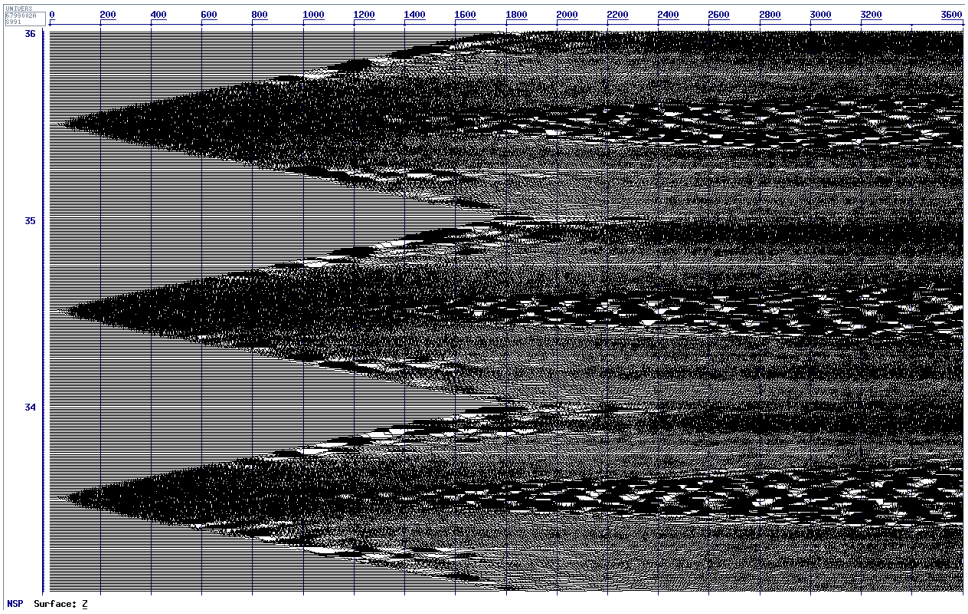

Рис. 8.2. Фрагмент поля выделенных помех.

Было проведено сопоставление результатов обработки 2D (Рис. 8.3) и 3D (Рис. 8.4), выполненных ранее по стандартному графу, с результатом обработки 2D по технологии СВЧ (Рис. 8.5, 8.6). На разрезе, полученном по технологии СВЧ, существенно лучше выделяются целевые горизонты БТ10 и БТ11, увереннее прослеживается верхняя часть разреза в районе 1000 – 1200 мс. Левее скважины №159R (см. Рис. 8.6) в области горизонтов БТ10 и БТ11 выявлено поднятие пластов амплитудой более 10 м, которое никак не проявляется на результатах предыдущей обработки 2D и 3D.

Отсутствие такой структуры по кровле Баженовской свиты и в вышележащих отложениях может свидетельствовать о возможном выявлении песчаного бара, представляющего особый интерес. На результатах обработки 3D (Рис. 8.4) заметен смеситель.

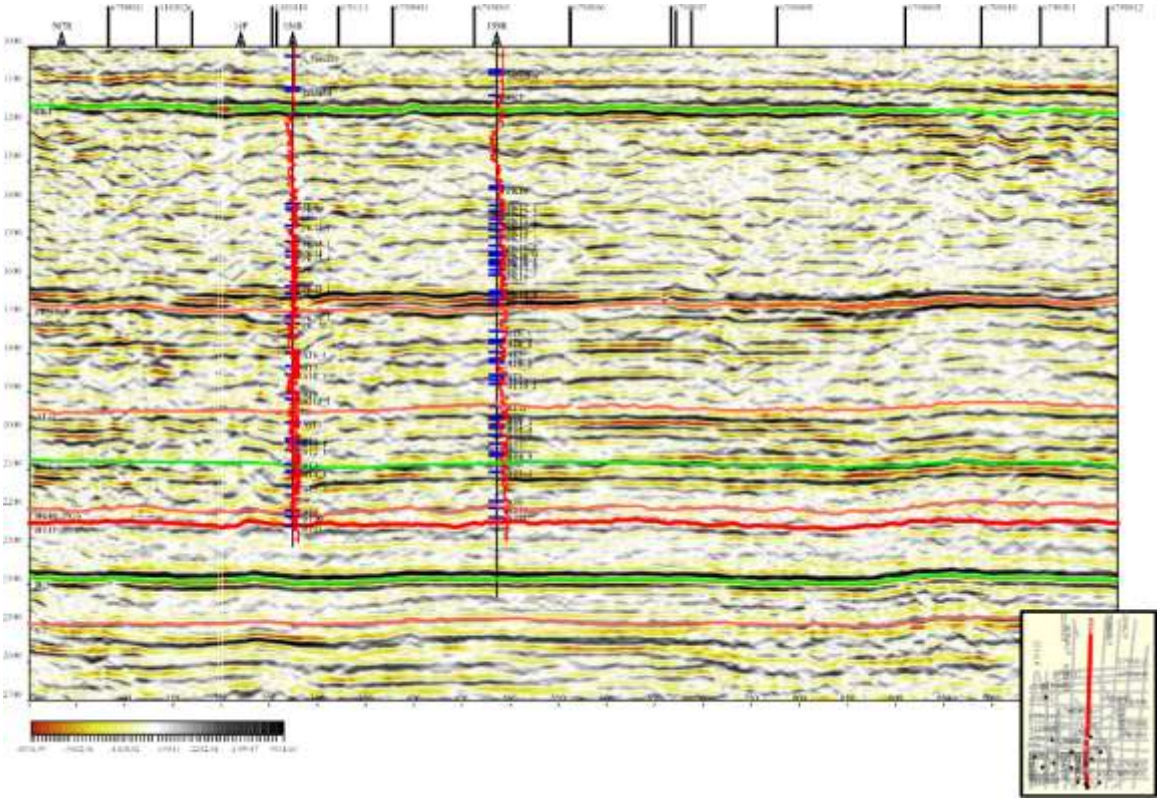

Рис. 8.3. Временной разрез профиля 2D, полученный в результате стандартной обработки.

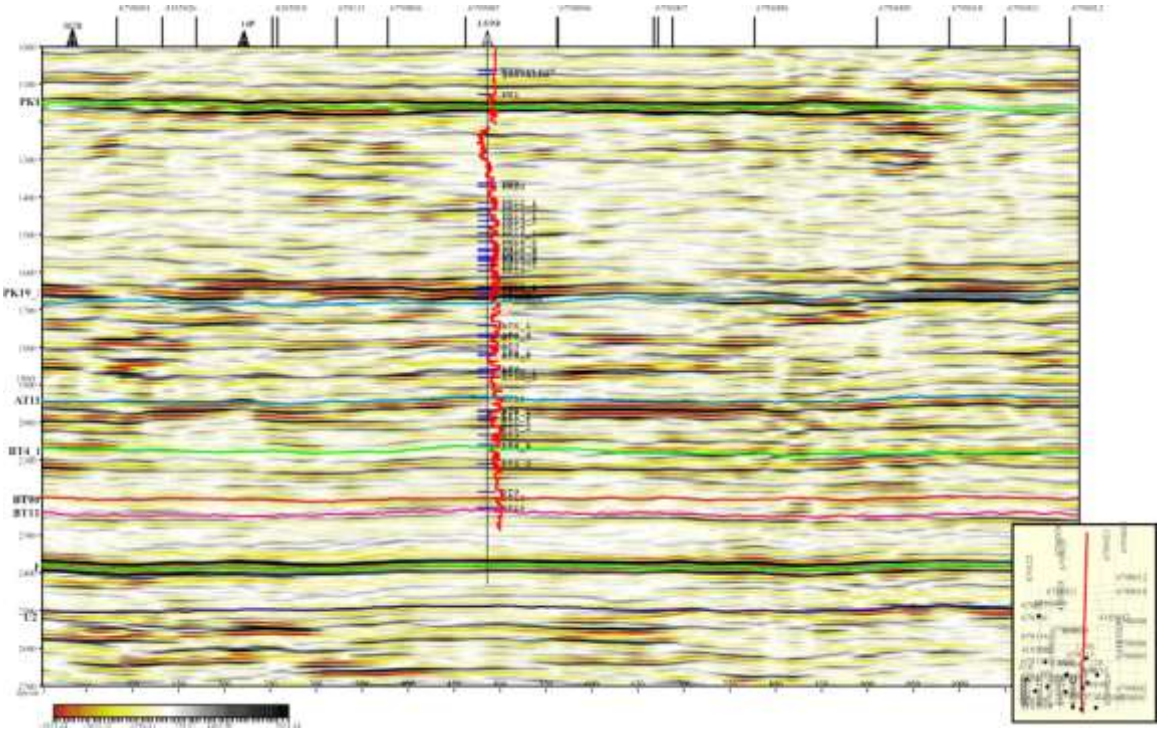

Рис. 8.4. Срез временного куба 3D, соответствующий обработанному профилю 2D, полученный в результате стандартной обработки.

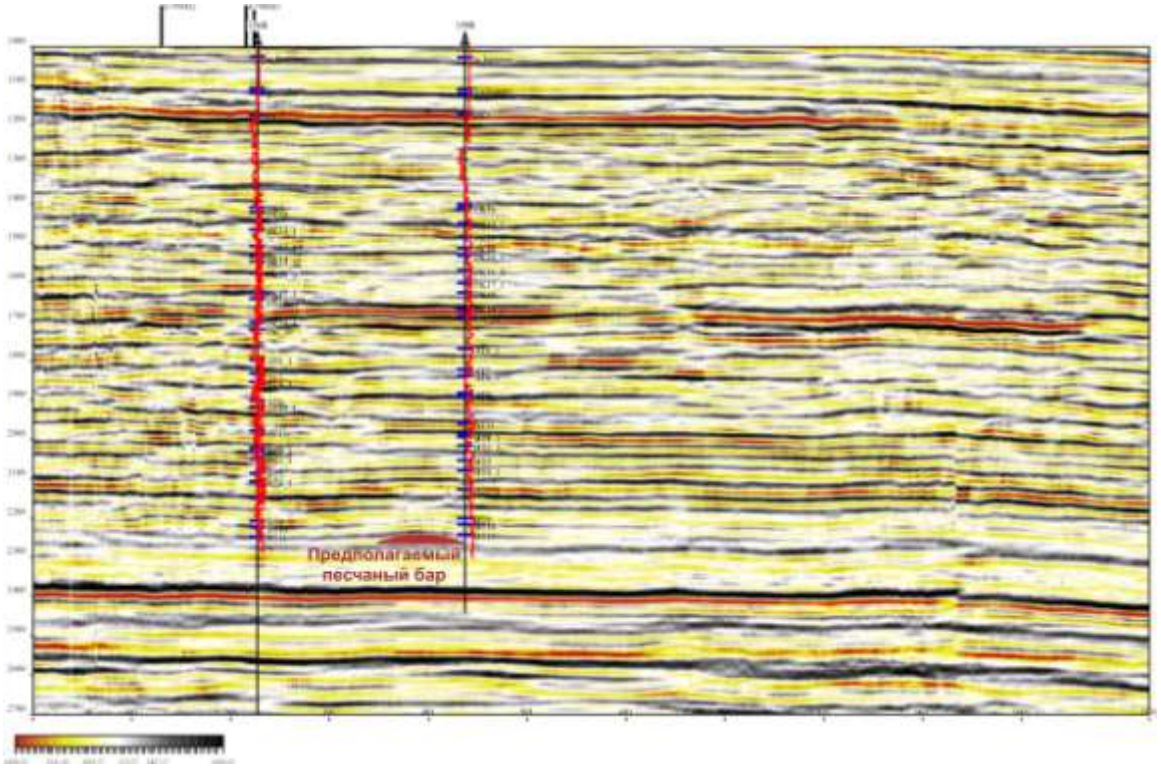

Рис. 8.5. Временной разрез профиля 2D, полученный в результате обработки по технологии СВЧ.

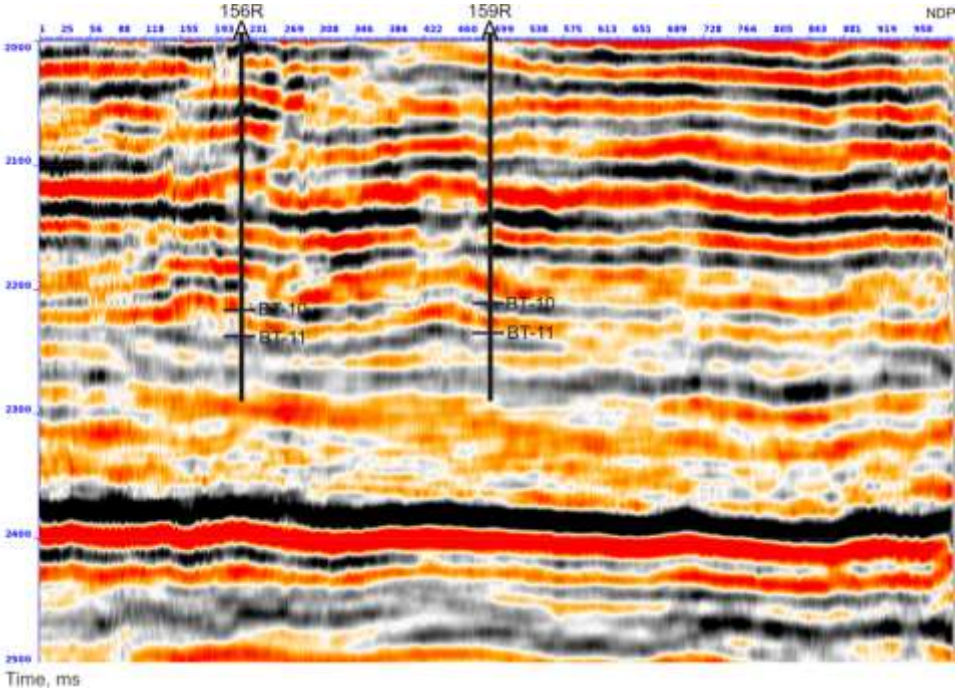

Рис. 8.6. Фрагмент временного разреза профиля 2D, полученный в результате обработки по технологии СВЧ.

Выводы.

1. Применение технологии СВЧ к данным сейсморазведки 2D на Береговом месторождении позволило получить в условиях высокого уровня шумов и переменной мощности ММТ важную дополнительную информацию по слабым отражающим горизонтам.
2. Проведено сопоставление результатов обработки реальных данных по стандартным графам 2D, 3D и по технологии СВЧ. Качество выделения целевых горизонтов на временных разрезах, полученных по технологии СВЧ, заметно лучше.
3. В результате обработки по технологии СВЧ выделен новый перспективный объект в виде песчаного бара, который представляет особый интерес для доразведки.

Список литературы.

1. А.А.Табаков, В.Н.Ференци, Л.В.Калван, Ю.А.Степченков, А.С.Колосов. Сейсморазведка Высокой Четкости (СВЧ) – бескомпромиссный подход к регистрации и обработке сейсмических данных: основные положения, регистрация данных, анализ волновых полей. Научно-технический журнал «Нефть. Газ. Новации. » 1-2014, стр. 35-39.
2. Ю.А.Степченков, А.А.Табаков, А.А,Мухин, В.Н.Ференци, А.С.Колосов, Д.А.Мухин. Повышение надежности и точности

оценки кинематических параметров отражений метода ОСТ в технологии Сейсморазведка Высокой Четкости (СВЧ). Тезисы докладов научно-практической конференции «Гальперинские чтения - 2010». Стр.23-27. Москва, 8-11 ноября 2010г.

3. Ю.А.Степченков, В.М.Громыко, А.С.Колосов, А.А,Мухин, Д.А.Мухин, А.А.Табаков, В.Н.Ференци. Редактирование резонансных явлений и вычитание поверхностных волн в технологии Сейсморазведки Высокой Четкости. Тезисы докладов научно-практической конференции «Гальперинские чтения - 2011». Москва, 24-28 октября 2011г.
4. В.Н.Ференци, В.Л.Елисеев, А.А.Табаков, Д.В.Огуенко, Ю.А.Степченков, Д.А.Мухин, А.С.Колосов. Селекция волн в технологии сейсморазведки высокой четкости методом проектирования на области допустимых параметров. Тезисы четвертой международной конференции и выставки ЕАГЕ, Санкт-Петербург, 2010, стр.215.
5. Д.В.Огуенко, А.А.Табаков, В.Л.Елисеев, А.А.Мухин, Д.А.Мухин, А.С.Колосов. Статистически представительная деконволюция в технологии СВЧ (Сейсморазведка Высокой Четкости). Тезисы докладов научно-практической конференции «Гальперинские чтения - 2009». Стр.19-23. Москва, 27-30 октября 2009г.
6. А.В.Копчиков, А.А.Табаков, В.Н.Ференци, В.Л.Елисеев. Коррекция статических поправок по методике «ПОЛИКОР» для обработки данных совмещенных поверхностно-скважинных наблюдений. Журнал «Технологии сейсморазведки», №2, 2006г.