

Об оптимальных глубинах возбуждения сейсмических колебаний при использовании взрывного источника и атрибутивном анализе качества полевого материала

■ Ботьбат В.М., Тюменский филиал ЗАО «ГЕОТЕК Холдинг», г.Тюмень

Современные задачи сейсморазведки требуют получения высококачественных исходных данных, представленных динамически выразительными и максимально разрешенными по латерали и вертикали полезными отражениями.

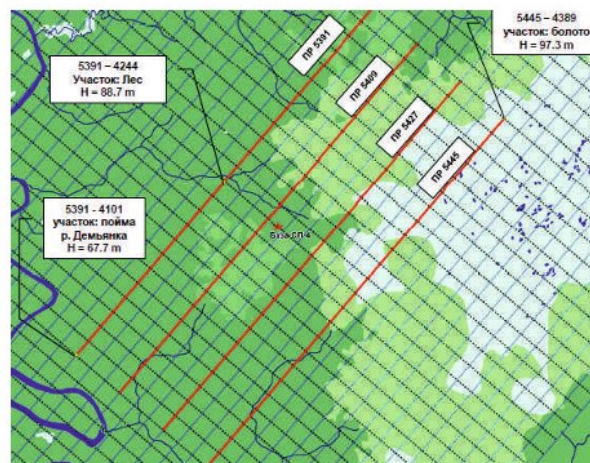
В последние десятилетия геолого-геофизические службы российских нефтяных компаний уделяют пристальное внимание так называемому атрибутивному анализу критериев качества сейсмограмм. На основании формализованных оценок стремятся «оптимизировать» технологию полевых сейсморазведочных работ таким образом, что бы добиться «максимальных» значений по комплексу параметров в заданных окнах на исходных сейсмограммах. В частности, при использовании взрывного источника это может приводить к массовой переотработке необоснованно забракованных физических наблюдений, с заданием избыточного увеличения глубины заложения заряда, что срывает плановые темпы работ, приводит к дополнительным издержкам производства и обуславливает высокие риски для своевременного выполнения полевого этапа геологического задания. В настоящей статье сделана попытка ответить на вопрос о том, насколько обосновано и оправдано увеличение затрат для повторного получения исходных данных, соответствующих формализованным оценкам компьютерных программ контроля качества

1. Стандартная методика выбора оптимальных параметров возбуждения

Порядок определения производственных параметров возбуждения сейсмических волн по результатам опытных работ, как правило, регламентируется похожими по содержанию для различных Заказчиков «Требованиями к производству сейсморазведочных работ...» и сводится к следующему (на примере проекта 3D, Тюменская область, Уватский район, сезон 2012-2013 г.г., основные показатели работ приведены в таблице 1).

На каждом из характерных в орогидрографическом отношении участках площади работ, в частности: пойма, лес, болото - подготавливается по группе взрывных скважин с различным весом и глубиной заложения заряда (рис.1.1). Приемная расстановка должна включать весь спектр рабочих удалений взрыв-прибор.

Минимальный набор процедур атри-



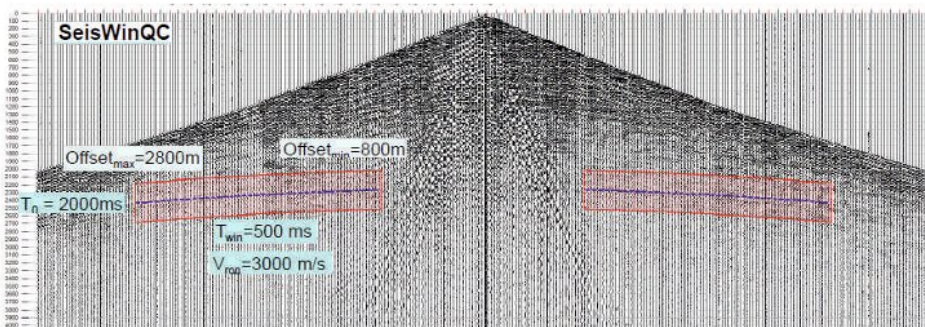
▲ Рис.1.1. Площадки опытных ПВ и приемная расстановка каналов (красные линии (ЛПП))

бутивной оценки качества сейсмограмм с опытных ПВ включает определение в целевом окне анализа (рис.1.2) доминантной частоты полезного (условно) сигнала и соотношения амплитуд сигнал/помеха.

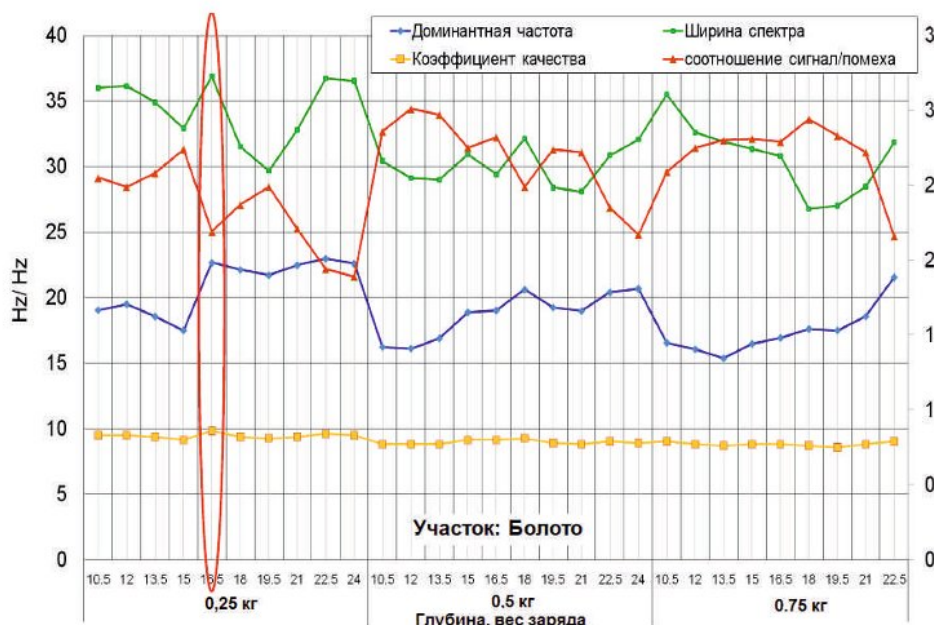
Формируются таблицы атрибутов, по которым для каждого из участков ОР строятся графики, один набор из которых приведен на рис. 1.3.

▼ Табл. 1. Основные показатели работ 3D, МСК

Основные показатели	Содержание
1. 3D	
Система наблюдения	3Д, блоковая, ортогональная
- аппаратура	SN 428 XL
- расстояние между ЛПП и ЛПВ, м	300
- расстояние между ПВ/ПП, м	50/25
- номинальная кратность	120
- кол-во ЛП в блоке/активных каналов на ЛП	20/288
- группирование сейсмоприемников	12 приборов GS-20DX на базе 25м
- условия возбуждения	Одиночные скважины с оптимальной массой заряда ВМ
- средний вес заряда, кг, тип ВВ	0,25 (БТП-250)
- глубина погружения ВМ, м	16,5 – 27
2. Изучение ВЧР	
- глубина скважины, м	до 40
- расстояние между ПП, м	1-14м :1, 14-40м: 2
- тип группирования, м	Один с/п -20DX на канал
- удаление ПП от скважины, м	1, 5, 10
- источник возбуждения	Взрывной - ЭДС-1



► Рис.1.2. Окна атрибутивного анализа, в частности, для ПМО SeisWin QC.



► Рис.1.3. Графики атрибутов качества для участка «болото»

Очевидно, что однозначная корреляция между количественными оценками амплитудно-частотных характеристик отражений и глубинами заряжения отсутствует. Естественно, что Исполнителем работ «ОАО «Интегра-Геофизика» была предложена для производства минимально возможная по затратам подготовки взрывных скважин глубина погружения в 16,5 м (красный овал на рис.1.3)

Аналогичная ситуация имела место и для участков «пойма», «лес».

Несмотря на отсутствие убедительных аргументов, Заказчик, вероятно руководствуясь соображением «чем глубже – тем лучше», «Заданием на регистрацию» установил глубины погружения ВМ в лесу не менее 18 м, на болоте и в пойме не менее 21 м, вес заряда повсеместно 0,25 кг.

Минимально-допустимая видимая частота сигнала для всех условий работ определена в 17 Гц.

2. Ревизия результатов опытных работ

Поскольку на детальном этапе 3D сейсморазведки практически повсеместно в условиях Широкого Приобья актуальным является (из геологического задания):

- детальное изучение геологического строения исследуемой территории по отражающим горизонтам в нижнемеловых и юрских отложениях;
- стратиграфическая привязка отражающих горизонтов, изучение акустических свойств разреза исследуемой территории;
- выявление и трассирование возможных зон тектонических нарушений;
- уточнение пространственного расположения зон пород-коллекторов продуктивных пластов;
- подготовка к глубокому бурению

выявленных и новых нефтегазоперспективных структур и объектов, постольку для решения таких задач необходимы исходные данные, преобладающее значение в которых имеют средне – и высокочастотные компоненты ОБ с удовлетворительным соотношением сигнал/помеха.

В связи с этим сейсмограммы опытных работ были обработаны полосовыми фильтрами 30-40-100-150Гц, 40-50-100-150Гц, и 50-60-100-150Гц с целью диагностики части диапазона спектра целевого окна записи, действительно необходимого для целей сейсморазведки, включая расчленение сложнопостроенных тонкослоистых пачек неокма (основной объект изучения).

Основные результаты повторного анализа материалов опытных работ сводятся к следующему:

Для пойменных и заболоченных участков (рис. 2.1-2.3)

С увеличением глубины заряжения ВМ с 10,5 до 19,5 м для всех вариантов фильтрации в диапазоне целевого интервала времени 1-2,3 с снижается корреляция и динамическая выразительность отражений от целевых горизонтов.

Некоторое улучшение качества волновой картины с 19,5 до 24 м, по-видимому, объясняется интерференцией основного цуга колебаний из очага возбуждения с вторичными волнами-спутниками от подошвы ЗМС до поверхности, длины волн которых кратны четверти длины, что приводит к увеличению энергии отраженных волн (далее ОБ), но при этом смещается фаза и искажается форма импульса. Подтверждением этого является набор функций автокорреляций для разных глубин, каждая из которых представляет собой сумму ФАК по 12-ти последовательным трассам в окне полез-

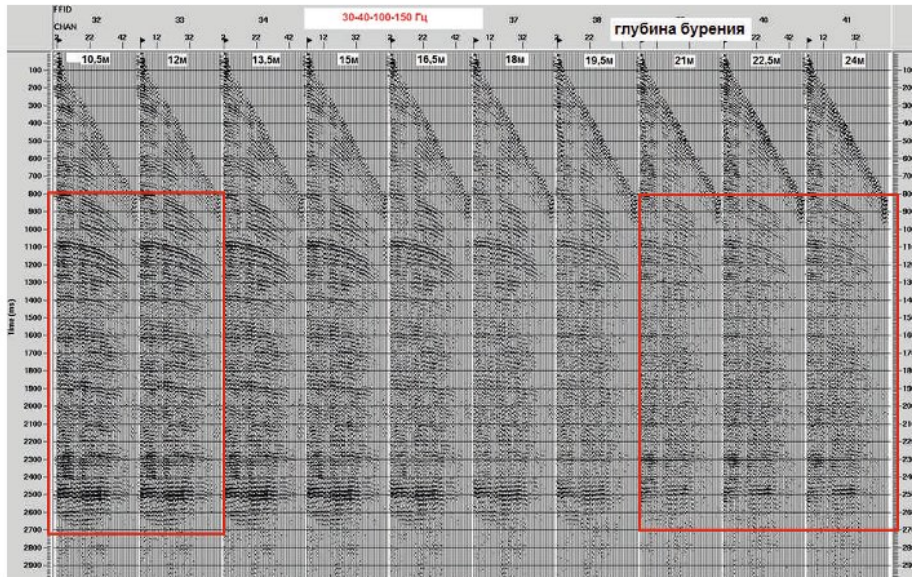


Рис.2.1. Фрагменты сейсмограмм ОР, пойма. Полосовой фильтр 30-40-100-150Гц (предпочтительные глубины возбуждения 10-13м)

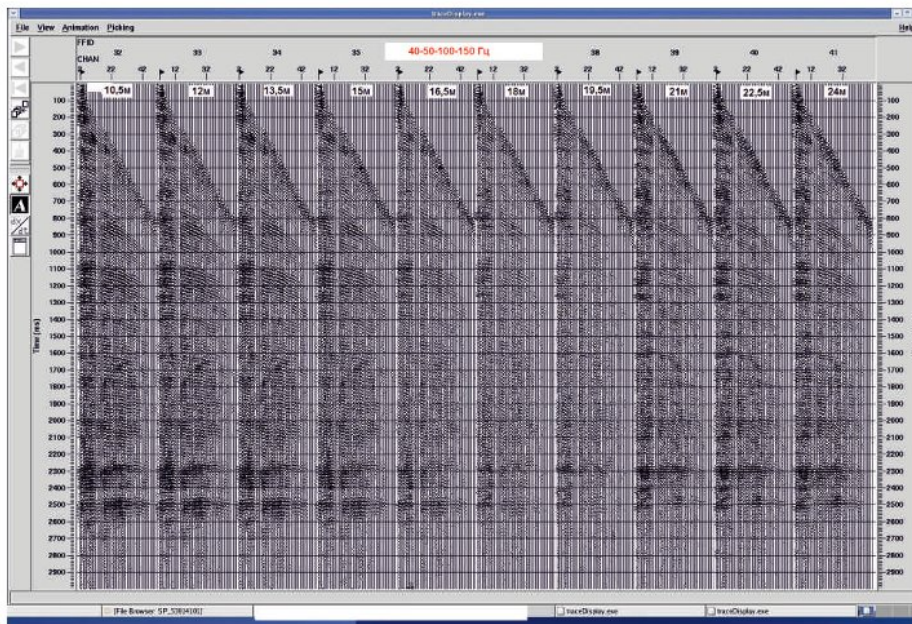


Рис.2.2. Фрагменты сейсмограмм, пойма. Полосовой фильтр 40-50-100-150Гц (оптимальная глубина погружения ВМ от 10 до 13.5м)

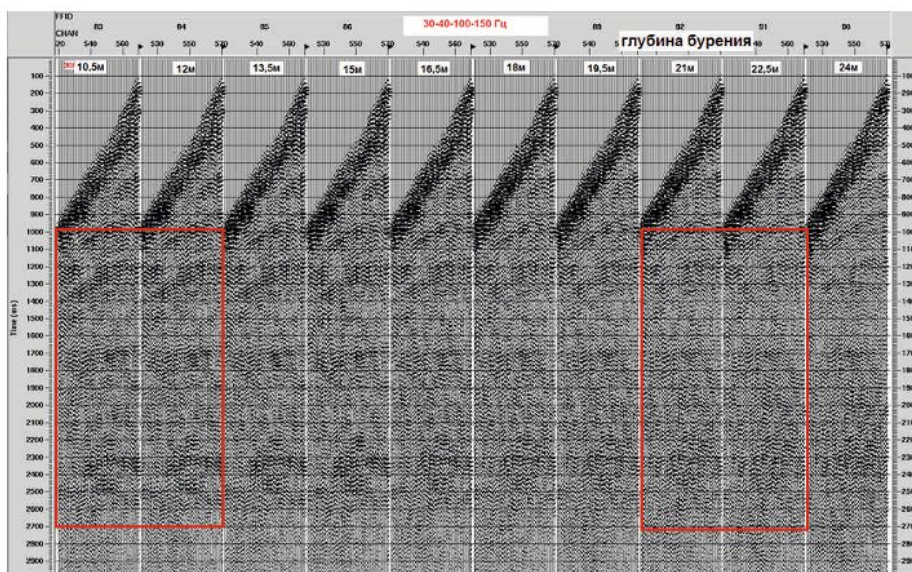


Рис.2.3. Фрагменты сейсмограмм ОР, болото. Полосовой фильтр 30-40-100-150Гц (глубины 10-12 м лучше, чем 21-22м, а на времени записи около 1 с существенно лучше)

ных отражений (рис.2.5). Классическая ФАК с четко выраженным центральным максимумом и минимальной амплитудой побочных экстремумов, свидетельствующими о диагностике преобладающего колебания (сигнала), получена на глубине 10,5 м. С увеличением глубины ФАК «размазывается», увеличиваются по амплитуде боковые «лепестки», обусловленные колебаниями, не имеющими отношения к полезным.

Для залесенных участков (рис.2.4)

Анализ сейсмограмм после фильтрации подтверждает корректность определения глубины заряжения в лесу в 18м. На больших глубинах значимого улучшения качества сейсмограмм не отмечается, что подтверждается и стабилизацией в этом диапазоне ФАК. В отличие от заболоченных и пойменных участков, где присутствует четкая акустическая граница подошвы ЗМС (торф-глина), формирующая интенсивные волны-спутники, на залесенных территориях акустический импеданс с глубиной выражен слабо (разрез более однороден), о чем свидетельствуют и данные МСК. «Подкачка» энергии от подошвы ЗМС здесь не столь существенна.

Вышеприведенные и, на первый взгляд, парадоксальные заключения для определенных поверхностных условий («чем глубже - тем хуже») вполне корректно вписываются в теоретическую концепцию об оптимальной для генерирования энергетически выраженных средне- и высокочастотных колебаний глубине погружения заряда на 3-6 м (в зависимости от глубины целевых объектов) ниже подошвы ЗМС.

На каждом из участков опытных работ (далее ОР) отработаны по одной скважине МСК. Годографы и результаты обработки данных МСК на участках ОР пред-

ставлены на рис.2.6.

Известно, что максимально возможную частоту отраженного сигнала ($F_{\text{макс}}$) в зависимости от его времени T на разрезе эмпирически связывает закон: $F_{\text{макс}} = 150/T$.

При возбуждении колебаний в коренных породах со скоростью V , характерной для данной площади длина падающей волны λ с частотой ($F_{\text{макс}}$) составит $\lambda = V/F_{\text{макс}}$

Оптимальная глубина заложения заряда определяется как $H_{\text{опт}} = H_{\text{ЗМС}} + \frac{1}{4}\lambda$.

Для наиболее глубокого целевого горизонта рассматриваемого проекта на времени около 2 с (рис.2.7) $H_{\text{опт}} = H_{\text{ЗМС}} + \frac{1}{4}(V/(150/2с)) \approx H_{\text{ЗМС}} + V/300$.

Для залесенного участка (ПК МСК – 5391/4244) мощность ЗМС – 9-10 м, скорость в подстилающем слое 1450 м/с. Оптимальная глубина погружения заряда: $10 \text{ м} + 1450 \text{ м/с} / 300 \approx 15 \text{ м}$. В пределах погрешности оценки параметров ВЧР (возможна трехслойная модель) и с учетом диапазона частот в 50-70 Гц можно согласиться с 18 м.

ПК – 5445/4389 (болото). Мощность ЗМС – 7-8 м, скорость в подстилающем слое 1820 м/с, $H_{\text{опт}} \approx 14 \text{ м}$.

ПВ – 5391/4101 (пойма). Мощность ЗМС – 5 м, $V = 1540 \text{ м/с}$, $H_{\text{опт}} \approx 10 \text{ м}$

На основании вышеизложенного представляется, что для заболоченных и пойменных участков площади предписанная Заказчиком глубина заряжения ВМ была избыточной. По данным МСК, выполненным на участке работ с плотностью 1 скв. на 2 кв.км, Исполнителем предложена оптимизированная схема глубин бурения взрывных скважин 3D, в целом с меньшим на 3-5 м погружением ВМ в сравнении с фактической (рис.2.8)

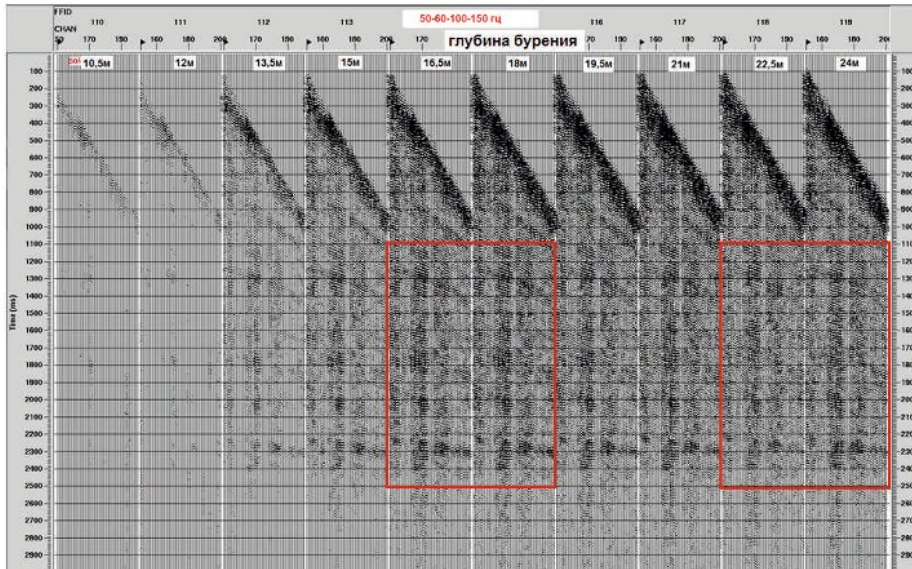


Рис.2.4. Фрагменты сейсмограмм ОР, лес. Полосовой фильтр 50-60-100-150Гц (достаточная глубина погружения заряда 16-18м)

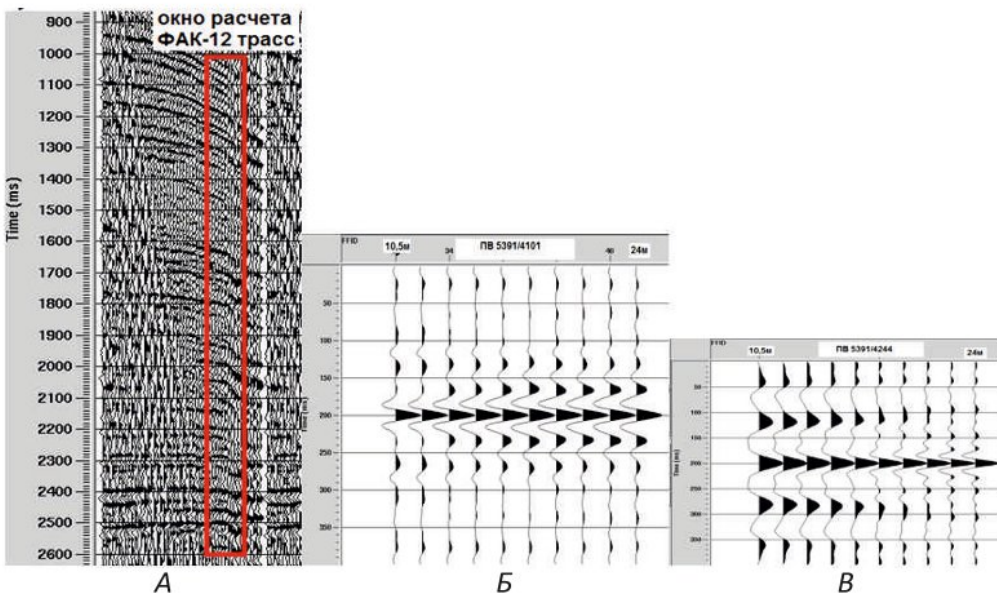


Рис.2.5. А-окно расчета ФАК, Б-ФАК для глубин 10,5-24м, пойма, В-ФАК для глубин 10,5-24м, лес

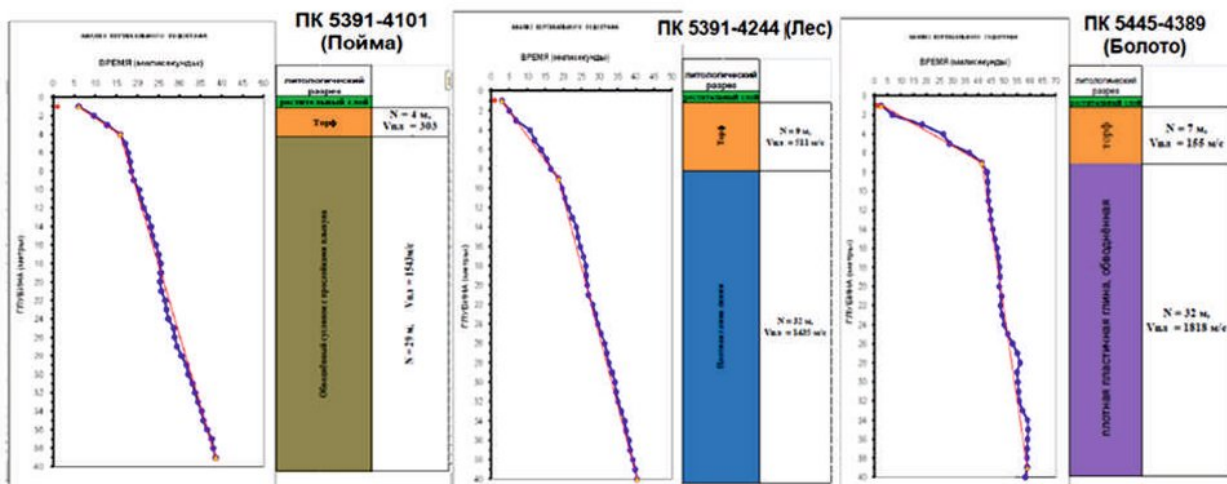
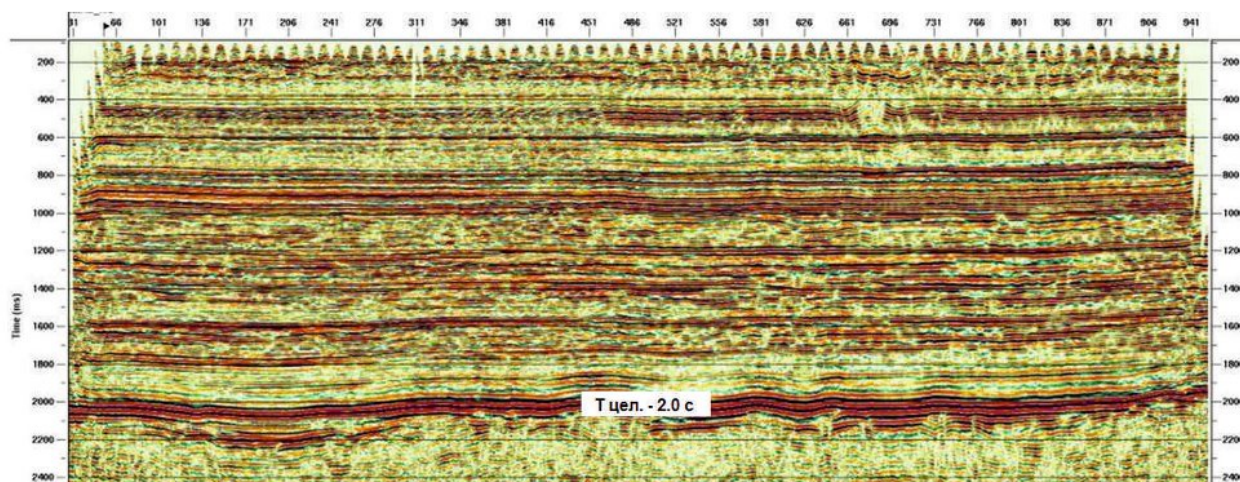
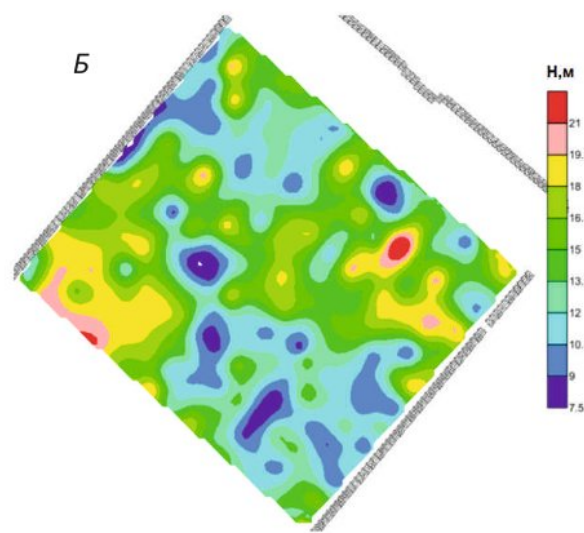
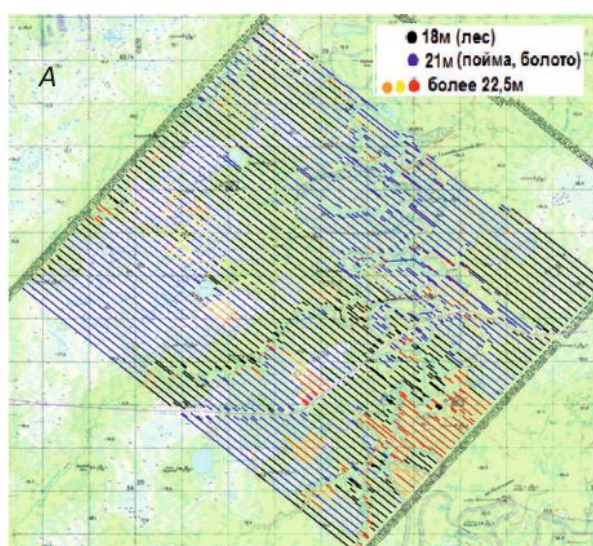


Рис.2.6. Годографы и результаты обработки данных МСК на участках опытных работ.



▲ Рис. 2.7. Пример временного разреза (Уватский район)



▲ Рис. 2.8. Фактическая и по данным МСК схемы глубин зарядания ВМ.

3. О методологии атрибутивного анализа

Из зарегистрированных на проекте 21 000 физических наблюдений (далее по тексту ф.н.) брак, оперативно переотработанный, составил 1400 ф.н. (6,6%). Подавляющее большинство сейсмограмм из этого количества (62%, рис.3.1) признано некондиционными по критерию низкой частоты сигнала (меньше 17 Гц). Приурочены такие сейсмограммы, в основном, к болоту (рис.3.2.)

Количественная оценка качества атрибутов, выполняемая по исходным данным, представляется некорректной,

поскольку необходимые для решения задач ПГР средне- и высокочастотные отражения завуалированы на сейсмограммах доминирующими волнами с АЧХ в 12-25 Гц, меньше всего представляющих интерес для камерального этапа.

В таком случае, массовая переотработка ф.н., не соответствующих пороговым значениям критериев качества, в частности, по частоте, не только поставила под угрозу срыва своевременное выполнение работ и привела к колоссальным убыткам сейсморайона, но и оказалась бессмысленной с точки зрения улучшения геофизической информативности.

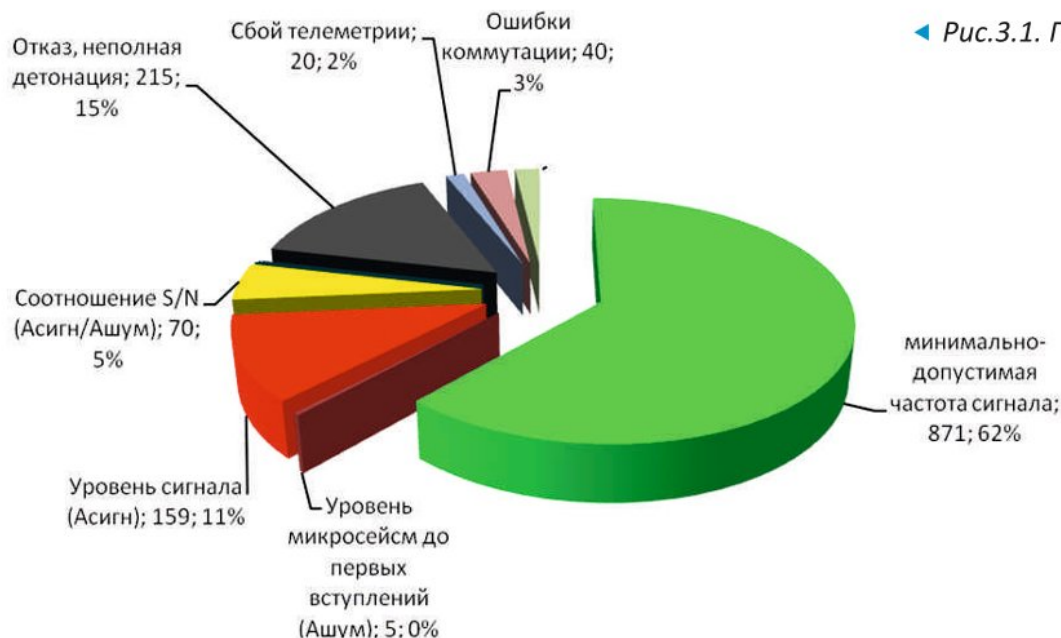


Рис.3.1. Причины брака

4. Сравнительная оценка временных разрезов «брак-перебур»

«Поскольку технические требования имеют дело с тем, что представляет собой потерянные данные и приемлемый процент потерянных данных, тем, кто принимает окончательное решение, должен быть обработчик сейсмических данных.

Например, важным является не отношение сигнал-шум по необработанным записям, а отношение сигнал-шум по конечным обработанным данным.»

Д-р Ричард Стокер, доктор философии, магистр точных наук, старший консультант по геолого-геофизическим исследованиям.

С целью выяснения насколько критично для конечного результата использование сейсмограмм с пониженными значениями S/N и видимой частотой сигнала, построены два временных разреза (далее ВР) по одному профилю участка площади, представленному плотным облаком переотработанных ф.н. (рис.3.3).

В суммирование использовалось

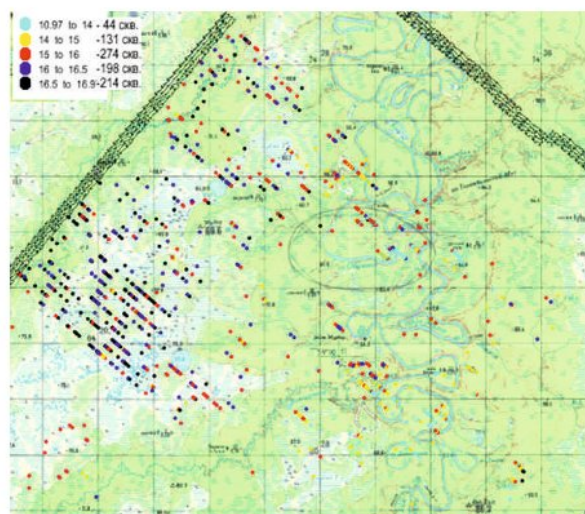
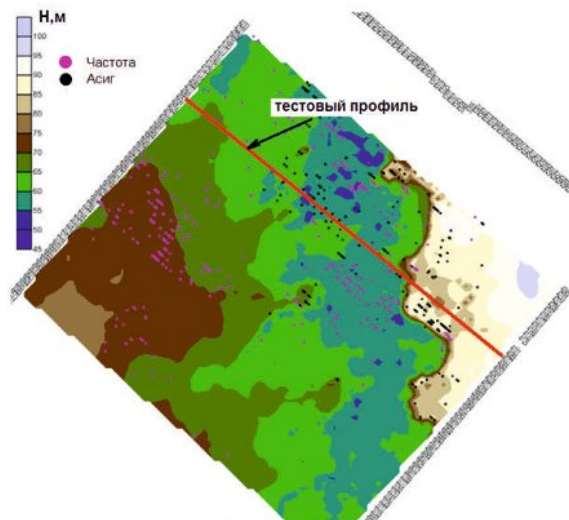


Рис.3.2. Забракованные ф.н. по частоте сигнала

4099 ф.н. принятых – сумма «Принято» и 4117 ф.н. с браком – сумма «С браком» (18 ф.н. – не переотработанный по Асиг. брак).

Предварительная обработка ограничена набором минимально необходимых процедур:

- ввод SEG-D файлов в систему обработки (ProMAX);
- присвоение геометрии;
- ввод поправки за сферическое расхождение (восстановление амплитуд);
- ввод статических поправок за рельеф (уровень приведения – 120 м,



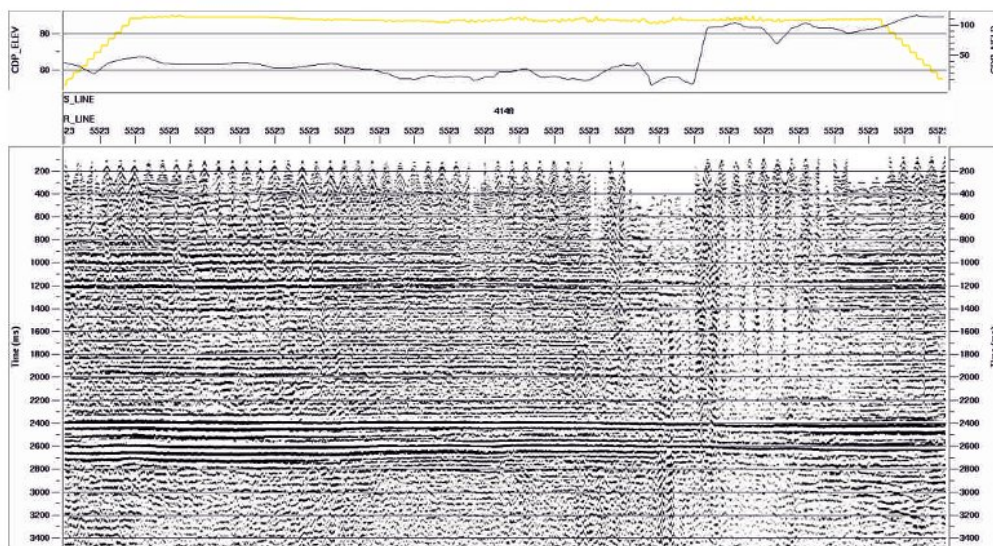
▲ Рис.3.3. Тестовый профиль на схеме забракованных ф.н.

- скорость замещения 1600м/сек);
- полосовой фильтр 10-13-80-90 Гц;
- ввод кинематических поправок, анализ по вертикальным скоростным спектрам, шаг 0,5х0,5 км);
- суммирование по ОГТ.

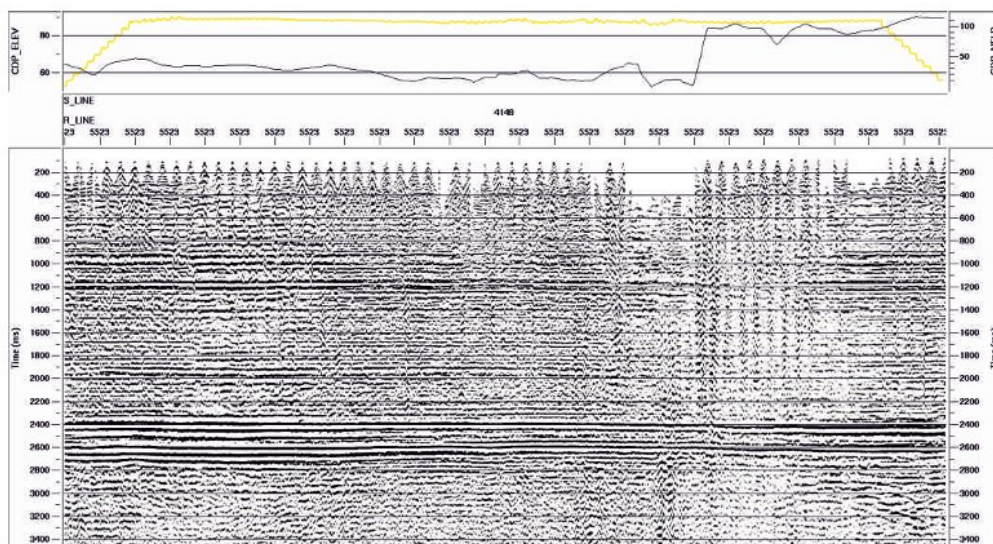
Из рис.3.4-3.7 следует, что ни визуаль-но, ни в количественных оценках АЧХ сумм нет разницы для полевых данных, «принятых» и «забракованных» по формальным оценкам.

Аналогичный результат получен и в работах 3D на этого же Заказчика в Нижневартовском районе (методика работ такая же, как в Уватском районе).

► Рис. 3.4.
ВР с браком



► Рис. 3.5.
ВР с переот-
работанным
браком



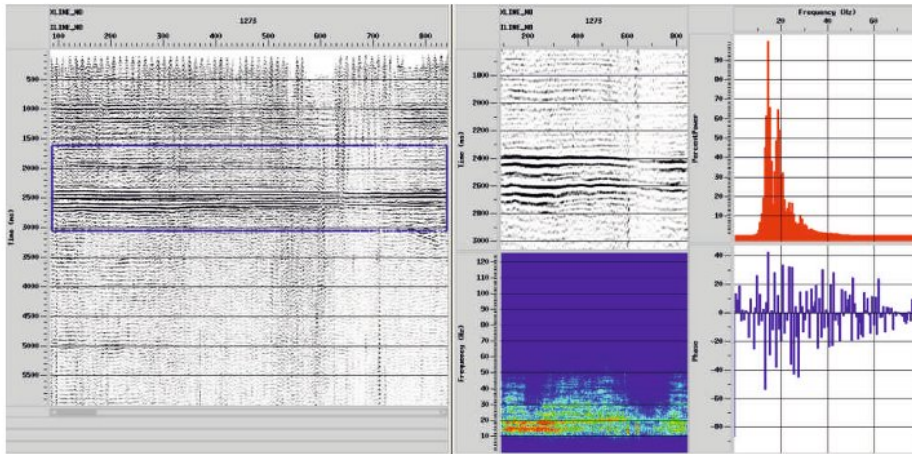


Рис. 3.6. Спектр нормированный суммы с браком (окно анализа в синем прямоугольнике)

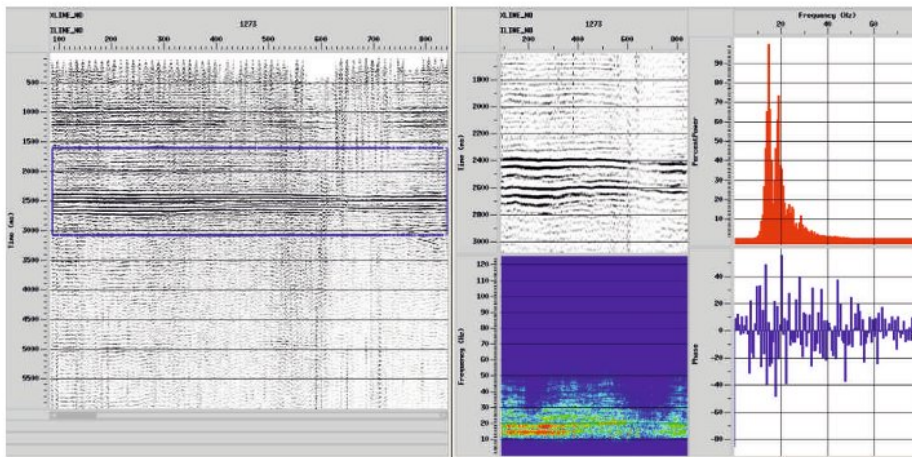


Рис. 3.7. Спектр нормированный суммы «принято»

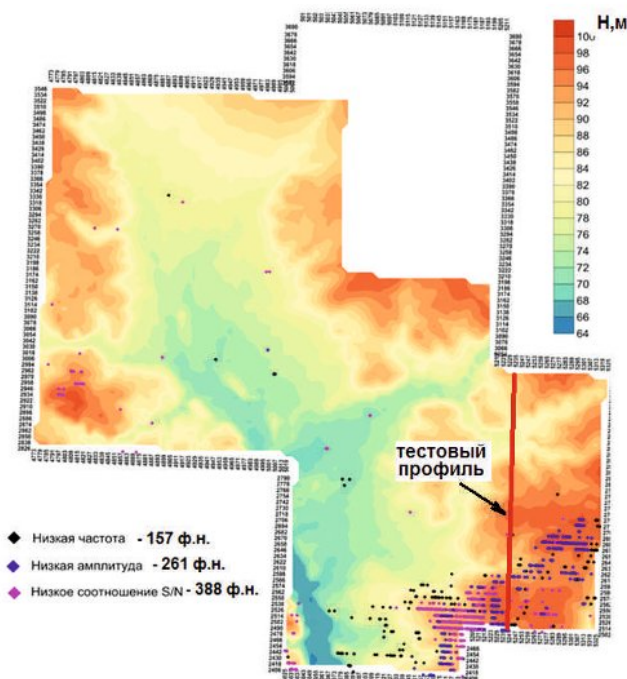


Рис.3.8. Тестовый профиль на схеме забракованных ф.н.

На рис. 3.8 представлено положение тестового профиля на схеме забракованных ф.н. (брак 4,1% от всего объема работ). На рис. 3.9-3.12 ВР с браком и с переотработанными ф.н. и их АЧХ.

Представленные здесь временные разрезы с использованием «принятых» и «забракованных» по формальным оценкам полевых данных получены по очень сокращенному графу обработки, но не следует ожидать, что дополнительные адаптивная фильтрация данных, подавление случайного шума и кратных волн, миграция и пр. приведут к более информативному результату в варианте «принято» для расчета AVO атрибутов и дальнейшего решения задач ПГР. Напротив, процедуры фильтрации поверхностных волн, деконволюции, поверхностно-согласованной нормализации амплитуд, 3Д F-K фильтр, подавление влияния системы отстрела и т.п. полнос-

тью компенсируют некоторые различия (если они были) в АЧХ сейсмотрасс, «принятых» и «забракованных» по формальным оценкам.

Проекты, по которым здесь представлены материалы, характеризуются повышенной плотностью съемки (400 000 трасс/кв.км при бине 12,5х25м), широкоазимутальной приемной расстановкой (отношение сторон 0,8) и высокой кратностью регистрации (120). На таком высокотехнологичном фоне замена 2-3 % сейсмограмм визуально более представительными исходными данными не влияет заметно на результаты суммирования выборок по ОСТ.

Нормированные суммотрассы с отношением сигнал/помеха, многократно лучшим, чем у исходных сейсмограмм, нивелируют исходную разницу в АЧХ трасс по ОПВ, если она и была.

Однако, это утверждение относится только к ситуации, когда абсолютное большинство сейсмограмм (90 % и более) имеет достаточную энергию сигнала, широкий спектр и низкий уровень помех, то есть, когда заряды расположены на оптимальной глубине, датчики установлены в плотный снег и регистрация производится в приемлемых погодных условиях.

В случае преобладания сейсмограмм с пониженным качеством, эффект будет аналогичным, но результат противоположным. Улучшение отдельных сейсмограмм не окажет существенного влияния на качество итоговых данных.

Таким образом, приходим к выводу, что затягивание сроков выполнения работ, даже вызванное борьбой за максимально возможное качество каждой отдельной сейсмограммы, но приводящее, для завершения площади, к необходимости массовой отработки скважин в неблагоприятных погодных условиях (весенний период), скорее всего, приведет к общей потере качества данных на значительном участке.

Заключение

1. Следует очень аккуратно относиться к выбору оптимальных параметров возбуждения при использовании взрывного источника с учетом ключевых для качества атрибутов записи волновой картины и анализом спектральных характеристик, особенно в части компонент, действительно необходимым для решения поставленных геологических задач.

Необходимо адекватно выбирать глубины заложения зарядов, руководствуясь разумным компромиссом между общей энергией сигнала и долей высоких частот в спектре. Сокращение затрат времени на бурение избыточных метров уменьшит риски затягивания полевого сезона.

2. Очевидно, что определенные по результатам опережающего МСК глубины взрывных скважин более оптимальны с точки зрения «подкачки» высокочастотных составляющих сигнала, чем возбуждение с больших глубин, когда размазывается интерференция полезных волн от подошвы ЗМС(ЗПС). Необходимо предусматривать опережающее исследование ВЧР во всех регионах, где ЗМС изменчива.

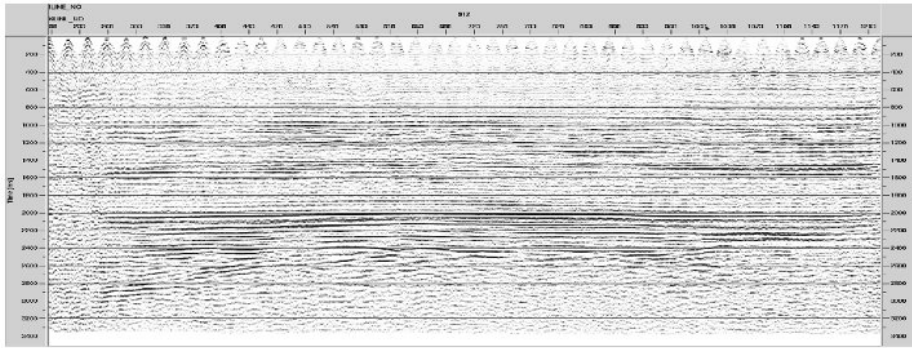
3. Представленные в настоящей статье результаты заставляют задуматься о целесообразности современного подхода к количественному атрибутивному анализу в целом. Считается, что атрибутивный анализ снижает риски неадекватной оценки качества, существующие из-за «человеческого фактора». При этом, выбор порога критериев качества во многом зависит от субъективной оценки и компетентности Супервайзера.

4. В случае наличия 4-6% «брака по атрибутам» (не технологического), когда пересмотр общих критериев оценки еще не требуется, а временные разрезы

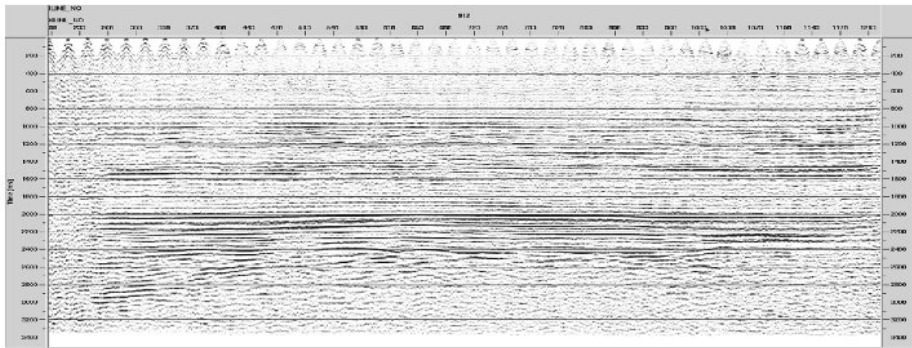
экспресс-обработки с «забракованными» ФН не отличаются от сумм с переотработанным ФН (без брака по атрибутам), необходимо, кроме повальной атрибутивной оценки ф.н., проводить визуальную оценку качества и анализ сейсмогеологических причин появления аномальных атрибутов, подтверждая

обоснованность «разбраковки» / приемки записей качеством временных разрезов.

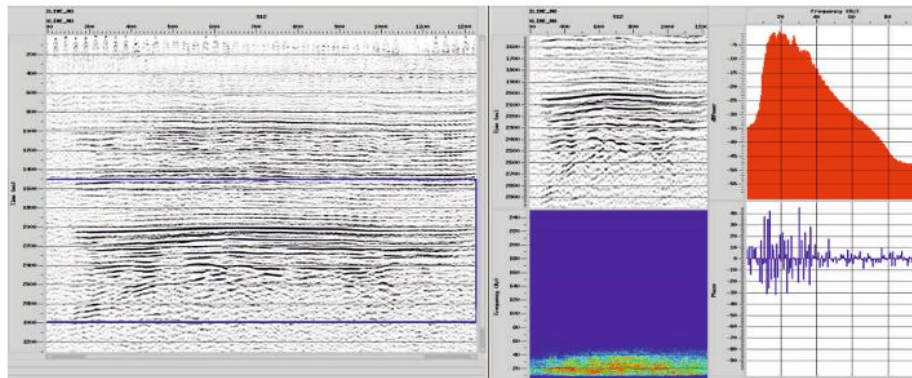
P.S. Выражаем глубокую благодарность В.С.Павлушину за консультации в некоторых аспектах затронутых здесь проблем сейсморазведки.



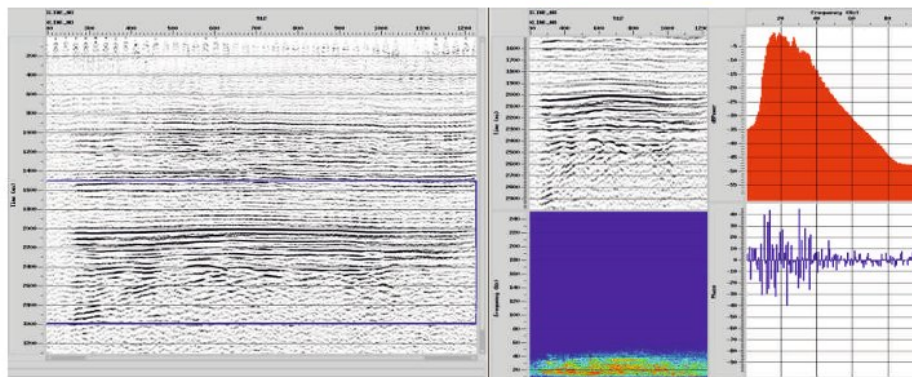
◀ Рис.3.9. ВР, содержащий забракованные по атрибутам ф.н. Inline 912



◀ Рис.3.10. ВР с переотработанным по атрибутам браком.



◀ Рис.3.11. Спектральный анализ разреза с браком



◀ Рис.3.12. Спектральный анализ разреза с переотработанным браком