

Обработка сейсморазведочных материалов: возможности и проблемы

Соснов К.Н., Заложных М.А., Барулин Д.А., Масляницкий В.В., Чесалов А.Ю., Шаманов А.В., Феоктистова К.М., ОАО "Саратовнефтегеофизика", г. Саратов

Новое поколение геофизиков, занимающихся обработкой сейсморазведочных данных, вероятно, уже не помнит, что чуть менее полвека тому назад график обработки включал в себя монтаж полевых сейсмограмм, записанных на фотобумаге, корреляцию томографов отраженных волн от целевых горизонтов с последующим построением на миллиметровке глубинных разрезов. С созданием полевых станций с записью информации на магнитный носитель появилась возможность многократного воспроизведения магнитограмм на обычную бумагу с подбором оптимальных параметров фильтров и усиления. Затем опять монтаж, корреляция и т.д. и т.п. Существенные изменения в процессе обработки произошли в начале шестидесятых, когда Саратовское СКБ сейсмического приборостроения разработало преобразователь сейсмических записей - ПСЗ, позволявший вводить кинематические и статические поправки и тем самым получать на выходе временные разрезы. А далее появился блок магнитной памяти - БМП - создав тем самым предпосылки для перехода к новой системе полевых наблюдений МОГТ и, соответственно, к появлению новых устройств обработки, сначала аналоговых, затем цифровых, и соответствующих технологий обработки. Вот об этом нам бы и хотелось по возможности не очень долго порассуждать.

Понятно, что прежде, чем приступить к обработке сейсморазведочных данных надо эти данные получить. Причем, чем качественнее исходная информация, тем надежнее будут результативные материалы обработки - это аксиома. Кстати, уместно при этом сослаться на высказывание одного из основоположников МОГТ - У.Мейна, утверждавшего, что никакая самая совершенная методика обработки... не может исправить недостатки отдельных записей, сделанных в поле. Конечно, много воды утекло с момента публикации - конец шестидесятых - статьи вышеуказанного автора. Появились весьма эффективные обрабатывающие комплексы с наборами процедур подавления широкого класса волн-помех, повышения разрешенности и прослеживаемости целевых горизонтов. Тем не менее, все более широкое применение, в том числе и в практике нашего предприятия, находят обработка материалов опытных работ и оперативный контроль качества получаемой информации непосредственно в поле, особенно если учесть, что география наших полевых работ весьма обширна. Так, за последние годы нашим сейсмическим партиям довелось поработать и на севере - полуострова Средний и Рыбачий, и в Восточной Сибири - в междуречье Ангара и Енисей, и на юге, в Краснодарском крае в условиях рисовых чеков. Как правило, на всех новых площадях неизбежны опытные работы по подбору параметров источника возбуждения колебаний, будь то вибраторы типа СВ-27/150 или источник типа «Енисей». Вполне понятно, что доставка материалов опытных работ в стационарный ВЦ для обработки, мягко говоря, не рациональна. Думаем, мы не будем оригинальны, утверждая полезность, а вернее, необходимость наличия в сейсмической партии полевого мини-центра,

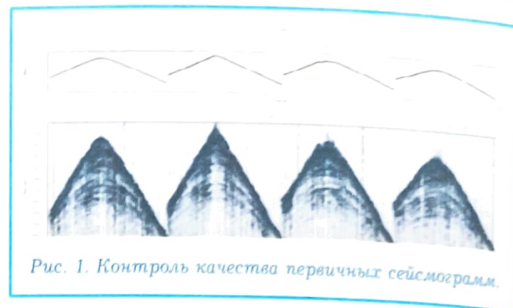


Рис. 1. Контроль качества первичных сейсмограмм.

оснащенного программным комплексом SPW. При этом реализуются операции оперативной обработки материалов опытных работ по уточнению параметров источника возбуждения колебаний и отдельных элементов систем наблюдения и 2D и 3D, ежедневного контроля качества первичных сейсмограмм (рис.1), а также контроль качества получаемого материала на уровне временного разреза (рис.2).

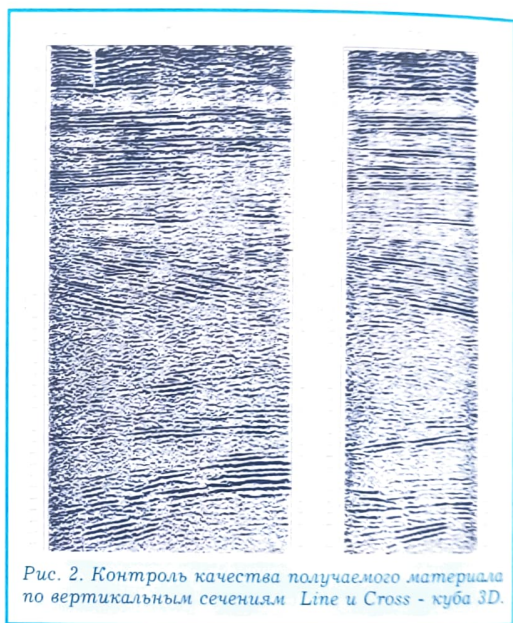
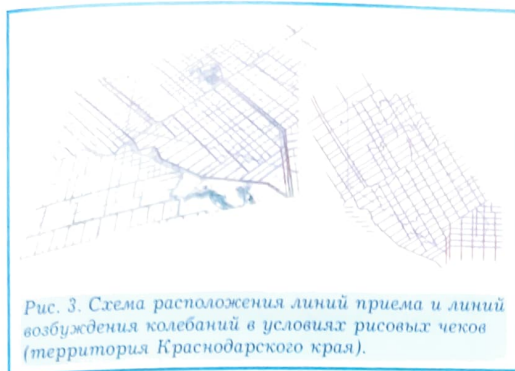


Рис. 2. Контроль качества получаемого материала по вертикальным сечениям. Line и Cross - куба 3D.

Практика проектирования сейсморазведочных работ 3D показала, что для выбора наиболее оптимальной системы обработки необходимо иметь специализированный программный продукт соответствующего уровня и качества. В партии обработки ОАО "Саратовнефтегеофизика" данная проблема была решена с приобретением пакета американской компании Green Mountain Geophysics - Mesa.

Mesa позволяет проектировать любые типы площадных систем наблюдения, применяемых в современной сейсморазведке, оперативно рассчитывать основные параметры спроектированных съемок (кратность, удаления, азимуты, подавление волн-помех и эффект суммирования по ОГТ). Анализ параметров возможен для полного или заданного пользователем диапазона удалений и азимутов.

Проектирование сейсмической съемки производится с учетом поверхностных условий путем



бурения, позволяющая построить карту поверхности какого-либо горизонта, будь то поверхность надоев или мелководья, как показывает опыт наших работ, можно существенно сократить объемы МСК (или МПЗ), выполняя указанные исследования лишь в контрольных точках с шагом между последними в 1,5 – 2 км. В промежутках между контрольными точками и охрону проводят в соответствии с рельефом дна или поверхности, следуя не хитрому правилу – «яма – ямистее», «бугор – бугристее», что в переводе на общепринятое понятие означает ступенчатое изохрон на приподнятых отметках рельефа и увеличение промежутков между ними в пониженных местах – поименных участках и т.п. Все «недоборы-переборы», посчитанный таким способом априорной статикой, устраняются путем посадки реперного горизонта каждого из обрабатываемых профилей на карту. При отсутствии последней плотность сети МСК в левобережье Саратовской области (где нет резких перепадов рельефа поверхности, и ЗМС имеет достаточно простое строение) должна быть порядка 1 км, а в правобережье – не более 500 м. Понятно, что последний вариант связан с достаточно большими затратами средств и времени. В качестве альтернативы, можно предложить расчет статик по сейсмограммам ОГТ с использованием комплекса «Fathom» (разработка компании GMG) в сочетании с опорными пунктами МСК.

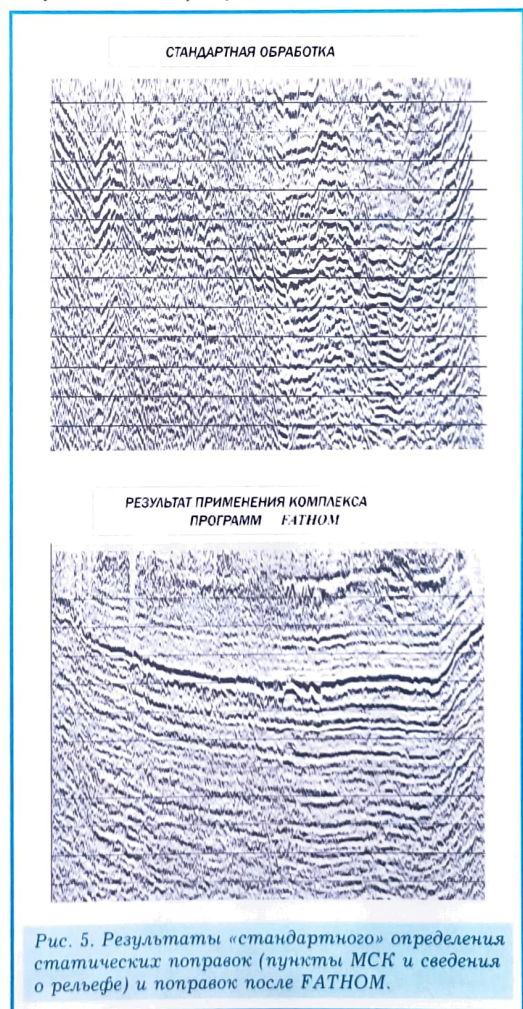
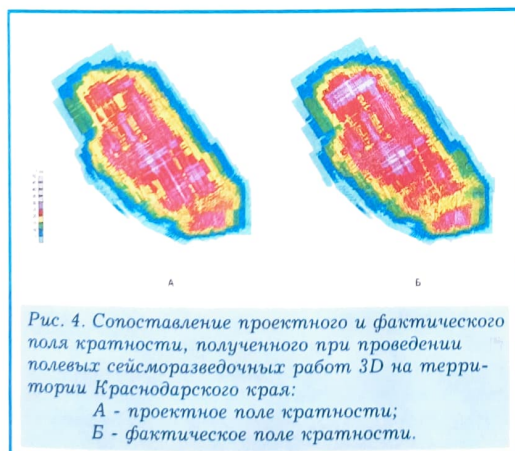
Для примера сошлемся на результаты, полученные с помощью вышеназванного комплекса в условиях правобережья.

Конечно, уверенная корреляция времен первых вступлений напрямую зависела от качества

интерактивного редактирования расположения ПВ и ПП с использованием графической подложки (топографические карты, аэрофотоснимки, цифровые карты рельефа).

На рис. 3 приведен пример неравномерной, субрегулярной системы, спроектированной в условиях рисовых чеков на территории Краснодарского края. Площадь представленного полигона 30 – 33 км². Специфика данных работ заключалась в том, что участок располагался в зоне поливного земледелия с широко развитой системой гидротехнических сооружений – каналов, рисовых чеков и дамб. В связи с разным расстоянием между дамбами и непригодности некоторых из них для работы тяжелыми, 27-тонными вибраторами, расстояние между приемными линиями меняется даже в пределах одного блока, как и расстояния между линиями возбуждения. Соответственно изменяется и количество пунктов возбуждения в блоке.

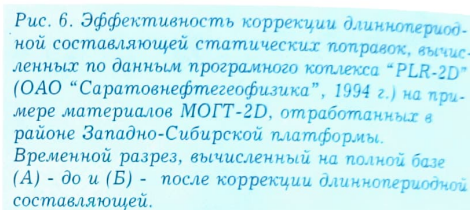
Поэтому непосредственно в полевых условиях после получения от топографов сведений о реальных позициях разбитых линий приема и возбуждения, операторам станции ежедневно выдавалась информация о коммутации каналов приема каждого блока обрабатываемой полосы и количестве источников. При этом, с учетом вносимых в систему наблюдения изменений, на мини-центре контролировалось соответствие реального поля кратности проектному, что в конечном итоге позволило «удержать» поле кратности в заданных пределах (рис. 4) и, после обработки полученных материалов, выполнить геологическую задачу.



Не секрет, что качество и достоверность итоговых материалов обработки во многом зависит от того, насколько полна и достоверна информация о строении верхней части разреза и, в первую очередь, зоны малых скоростей. В принципе, если на изучаемой сейсморазведочной площади имеется достаточно плотная сеть скважин структурного

ОАО "САРАТОВНЕФТЕГЕОФИЗИКА" ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

В настоящее время к стандартной обработке



предъявляются значительно более высокие требования с точки зрения качества получаемых результатов. Это обусловлено тем, что в последние годы целью поисково-разведочных геофизических работ, особенно в старых нефтегазовых провинциях, становятся относительно небольшие по размерам геологические объекты. Частично возможность выделения таких объектов ограничивается точностью и разрешающей способностью сейсмического метода. По этой причине задача повышения достоверности и детальности получаемых данных, а также максимального сохранения их информативности в процессе обработки становится все более актуальной. Современные системы обработки сейсмических данных предоставляют геофизикам достаточно широкие возможности для решения многих проблем, возникающих на этом пути.

ОАО «Саратовнефтегеофизика» в настоящее время располагает целым рядом мощных программных пакетов, в полной мере удовлетворяющим самым последним требованиям. Основной системой обработки является пакет программ **GeoCluster**, разработанный фирмой **CGG** (Франция). Пакет обладает развитым пользовательским интерфейсом, позволяющим быстро составлять задания, контролировать процесс их выполнения и анализировать результаты с помощью соответствующих графических приложений. Локальная компьютерная сеть позволяет рационально распределить отдельные этапы графа обработки и интерпретации и эффективно использовать вычислительные мощности.



ОАО "САРАТОВНЕФТЕГЕОФИЗИКА" ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

система GeoCluster состоит:

- пакет 200 стандартных модулей для всех основных этапов стандартного графа обработки сейсмических данных 2D и 3D-наблюдений;
- мощные и удобные интерактивные приложения для организации работы и управления процессом выполнения, а также для анализа результатов на различных этапах обработки;
- Система GeoCluster является весьма гибкой с точки зрения возможности:
 - комбинации отдельных модулей практически в любом порядке и создания тем самым необходимых последовательностей процедур;
 - выполнения выборки трасс из наборов данных по любым заданным критериям;
 - создания своих собственных модифицированных процедур.

В GeoCluster используются самые современные алгоритмы подавления случайных и регулярных помех, основанные на принципах wavelet-анализа, факторного анализа, высокочастотного преобразования Радона и т.п. Имеется множество различных типов процедур регулировки амплитудного уровня записи, фильтраций, деконволюций в т.ч. многоканальных, учитывающих поверхностные условия, и других.

Для обработки данных площадных наблюдений используется набор специализированных 3D-модулей, позволяющих управлять параметрами бинирования, выполнять автоматическую коррекцию статистических поправок (как высокочастотной, так и низкочастотной компоненты), коррекцию фазовых сдвигов, а также подавление помех различных классов как на 3D-сейсмограммах, так и на суммарных кубах.

Имеются мощные графические приложения для сравнительного анализа различных вариантов результатов обработки: вывод на экран в многооконном режиме, вывод в режиме мгновенной смены изображения для детального анализа отдельных элементов разреза, в режиме суперпозиции цветных и черно-белых изображений. Данные режимы используются для подбора параметров процедур обработки и позволяют оптимизировать их с высокой точностью.

Специализированные интерактивные приложения для скоростного анализа позволяют осуществлять выбор скоростных законов одновременно по мини-стекам (фрагментам временного разреза), вертикальным и горизонтальным спектрам скоростей, сейсмограммам ОГТ, а также оперативно получать и анализировать карты и кубы скоростей (в случае работы с данными 3D-наблюдений).

Один из вариантов типового графа обработки данных МОГТ-2D, используемый в настоящее время, приведен на рис.7.

Наряду с традиционной базовой методикой часто применяются специфические подходы, значительно повышающие эффективность обработки в конкретных сейсмогеологических условиях. К таким методам, в частности, относится процедура исключения влияния криволинейной акустической жесткой границы, находящейся в верхней части разреза. Возможность эффективного использования этой операции для материалов МОГТ-3D появилась сравнительно недавно, благодаря внедрению аппаратно-программного комплекса о котором сказано выше.

В качестве примера можно привести ярко выраженный положительный результат применения такой процедуры при обработке данных МОГТ-3D на Коптевской площади Саратовской области (работы 2004 года). Исключение влияния

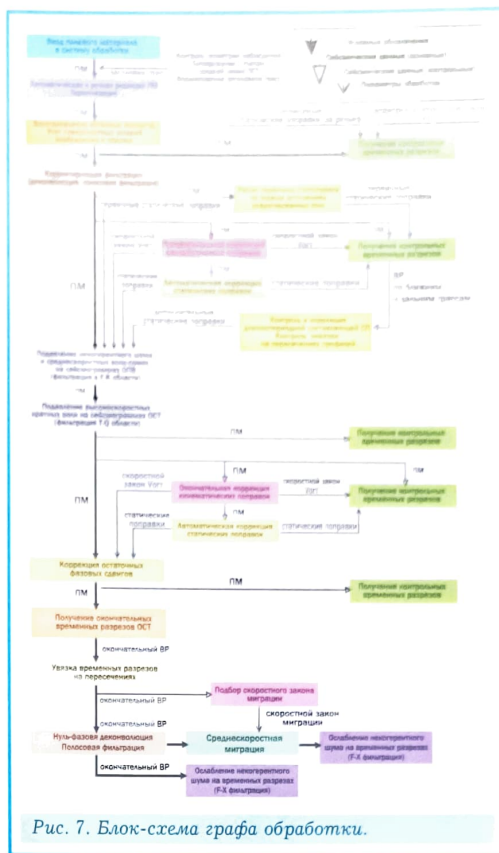


Рис. 7. Блок-схема графа обработки.

первой "жесткой" границы на данной площади являлось совершенно необходимым и принципиально важным элементом графа стандартной обработки. Его задачей являлось устранение временных искажений годографов отражений от целевых горизонтов карбона и девона.

Эти искажения связаны с прохождением сейсмических лучей через находящуюся в верхней части разреза (на уровне 300-500 м) границу с высокой акустической жесткостью (кровля карбонатных отложений палеозоя), имеющую сложную геометрию и резко меняющиеся в пространстве углы и глубины залегания. Интервальная скорость в отложениях над указанной границей (в основном это терригенные отложения) составляет 1800-2000 м/с. Ниже нее разрез представлен высокоскоростными карбонатными породами (доломиты, известняки, ангидриты) - скорость доходит до 4000-4500 м/с. Следовательно, с учетом изменения плотности, акустическая жесткость в них возрастает более чем в 2 раза.

Такие особенности сейсмогеологического строения разреза не позволяют по ОГТ получить сколько-нибудь удовлетворительную прослеживаемость отражений от целевого интервала разреза путем обычного суммирования. Поэтому, расчет и ввод статистических поправок ("поправок исключения"), компенсирующих влияние границы, о которой сказано выше, являлись ключевым моментом, определяющим эффективность всех последующих этапов графа и, в итоге, качество окончательного результата обработки.

Процедура расчета поправок исключения включала следующий набор операций.

1. Коррекция кинематических поправок на верхнюю часть разреза, включающую первую жесткую границу (примерно до уровня 600 м).
2. Получение суммарного куба на ограниченной (по удалениям) базе суммирования (до 500 м) в целях обеспечения наиболее точной конфигурации

полюс 1.4 тыс. километров.

3. Уменьшение скорости на 40% приводит к уменьшению искажений.

4. Построение карты жесткой границы по сейсмическим данным с помощью программного комплекса построения карт жесткой границы по сейсмическим данным.

5. Построение карты поверхности грабенов путем пространственного сглаживания с шагом 1000-1500 м. Карта сглаживания с шагом 1000-1500 м. Карта сглаживания с шагом 1000-1500 м.

6. Расчет карты поправок искривления (рис. 8) путем вычитания карты грабенов из карты 1.4 тыс. километров.

7. Распределение рассчитанных поправок по пунктам приема и возбуждения (по 1/2 величины поправки в пункт приема и в пункт возбуждения).

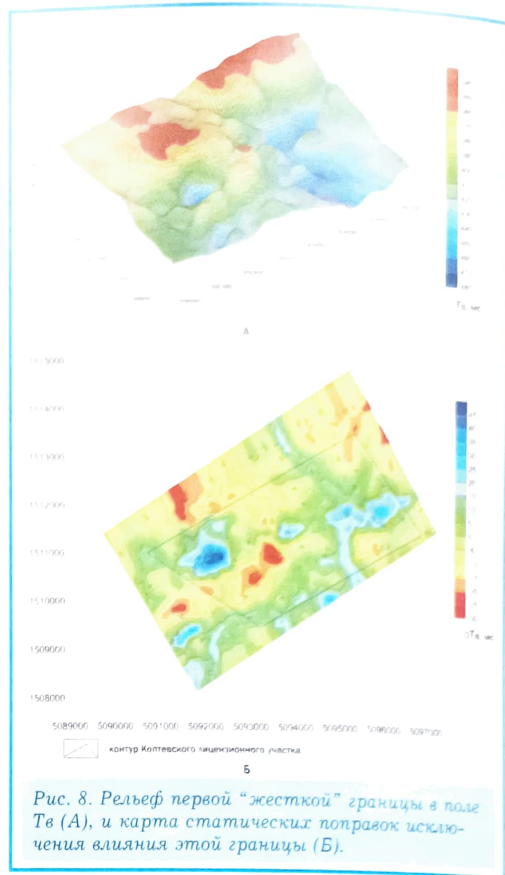
8. Получение набора кубов для анализа с разными коэффициентами (множителями) статпоправок искривления - коэффициентами искривления (K).

9. Выбор коэффициентов искривления для различных пространственных зон путем визуального контроля качества суммирования на вертикальных сечениях куба.

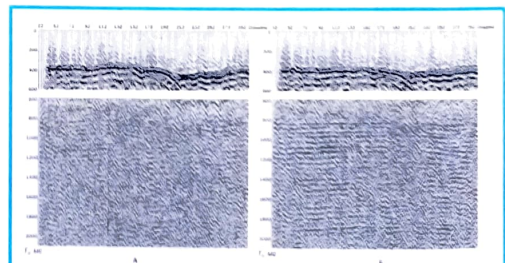
Теоретически данные коэффициенты определяются соотношением интервальных скоростей в толще пород над жесткой границей (V_1) и под ней (V_2) и рассчитываются по формуле: $K=(V_2-V_1)/V_2$. Но, поскольку значения данных интервальных скоростей могут быть оценены лишь приблизительно, для более точного определения вводимых в ПМ поправок требуется эмпирический подбор коэффициентов K. К тому же указанные скорости могут изменяться по латерали, соответственно и коэффициенты искривления на разных участках площади могут быть различными. Критерием выбора оптимального значения K служит качество прослеживания глубоких границ. В нашем случае выполнялось тестирование коэффициента K в интервале от 0,3 до 0,9 с шагом 0,1. В качестве наилучшего для всей площади было выбрано значение K равное 0,7. Эффективность описанной выше процедуры (с оптимальными параметрами) проиллюстрирована на рис. 9. Видно, что произошло кардинальное улучшение прослеживаемости всего комплекса отложений - как в интервале карбона и девона (800-1200 мс), так и более глубоких - почти на всем протяжении (по латерали) вертикального сечения куба.

Необходимо также отметить некоторые особенности применения традиционных методов в связи со спецификой сейсмогеологических условий изучаемого района.

Для выполнения процедуры восстановления истинных амплитуд на Коптевской площади, среди прочих, был выбран алгоритм восстановления, основанный на анализе закона затухания амплитуд для каждой элементарной трассы, с последующим сглаживанием расчетной кривой и умножением отдельных отсчетов на соответствующие коэффициенты. В данном случае такой метод представляется наиболее корректным, так как важнейшим фактором, определяющим характер изменения динамики волнового поля на исследуемой площади, является наличие в верхней части разреза указанной выше жесткой сейсмической границы. Поэтому изменения амплитуд на отдельных трассах определяются не только расстоянием между ПВ и ПП и глубиной отражающих границ (временем регистрации), но и характером трансформации волнового фронта при прохождении жесткой границы. Углы подхода сейсмических лучей к преломляющей границе в



связи с ее сложной конфигурацией сильно и незакономерно изменяются. Это вызывает фокусировку, или же, наоборот, размывание энергии волн, отраженных от глубоких границ, а следовательно значительные и трудно предсказуемые изменения уровня зарегистрированного сигнала. В таких условиях подход к восстановлению амплитуд с использованием эмпирически рассчитанной зависимости является предпочтительным и дает более устойчивый результат, чем стандартные способы. Для компенсации различий в среднем уровне записи на элементарных трассах, обусловленных неидентичностью поверхностных условий возбуждения и приема и наличием жесткой преломляющей границы, использовалась одноканальная нормализация в широком временном окне, захватывающим интервал полезной записи (200-2000 мс) и учитывающим нормальное приращение времени по годографам отраженных волн в зависимости от расстояния между ПВ и ПП. Как показывает наш многолетний опыт, вариант с использованием одноканальной нормализации в широком окне гораздо более устойчив по



сравнению с различными алгоритмами учета неидентичности условий возбуждения и приема, основанных на расчете компенсирующих множителей для отклонений ПП, ПВ и удалении. А в случае редких различий поверхностных условий, низкого соотношения сигнал/помеха, и, особенно, наличия мощного сложнопостроенного рефрактора, о котором сказано выше, распространение приема (коэффициентирование ПП, ПВ и классов удалений) неэффективно.

Рассматривая типичные операции ослабления регулярных волн-помех, важно отметить, что если устранение регулярных среднескоростных помех (обычно обменного типа), как правило, достаточно эффективно достигается с помощью фильтрации в F-K области, то с высокоскоростными кратными и частично-кратными ситуация выглядит несколько сложнее. Существуют общие ограничения для всех известных методов вычитания кратных волн, не использующих разницу кривизны томографов полезной волны и помехи. Дело в том, что устойчивые оси синфазности кратных отражений, часто присутствующие на суммарном разрезе, формируются по ближайшим к ПВ трассам, на которых амплитуда сигналов помехи, как правило, выше, чем на некотором удалении. В этой области кинематические различия таких помех и однократных полезных отражений на тех же временах регистрации (особенно в высокоскоростных карбонатных разрезах) минимальны и разделить их не представляется возможным. Сдвиг разделительной кривой в сторону высоких скоростей приводит к вычитанию одновременно кратной и полезной волны на ближних каналах, что практически всегда вызывает заметное ухудшение прослеживаемости целевых горизонтов. На удаленных же от ПВ трассах рассматриваемые помехи достаточно надежно подавляются вследствие несинфазного суммирования и иногда проявляются на ВР в виде нерегулярного шума (обычно, невысокой интенсивности), не препятствующего, в большинстве случаев, решению геологических задач. По указанным выше причинам, принципиальных изменений в волновой картине после применения рассматриваемой процедуры в условиях высокоскоростных карбонатных разрезов не наблюдается. Вероятно, более эффективным методом борьбы с помехами данного класса является их моделирование с последующим вычитанием из наблюдаемого волнового поля. Этот подход требует построения точной глубинно-скоростной модели с соответствующей параметризацией. Необходимые для моделирования данные (глубины сейсмических границ, плотности, интервальные скорости, коэффициенты поглощения и рассеяния) могут быть получены только в результате скважинных исследований, то есть существуют лишь в дискретных точках. Информация об их пространственном распределении в геологической среде на исследуемой площади отсутствует. Однако, даже при наличии принципиальной возможности решения рассматриваемой задачи, такая методика потребовала бы многократного увеличения временных затрат на обработку и, соответственно, значительного повышения стоимости работ.

Примером эффективного подавления низкоскоростных низкочастотных волн-помех (поверхностного типа) может служить применение переменной по времени и удалениям полосовой фильтрации к сейсмическим материалам МОГТ-3D, полученных на территории Краснодарского края в Кубанском прогибе (работы 2004 г). Согласно требованиям заказчика, в принятой методике полевых работ использовался опорный

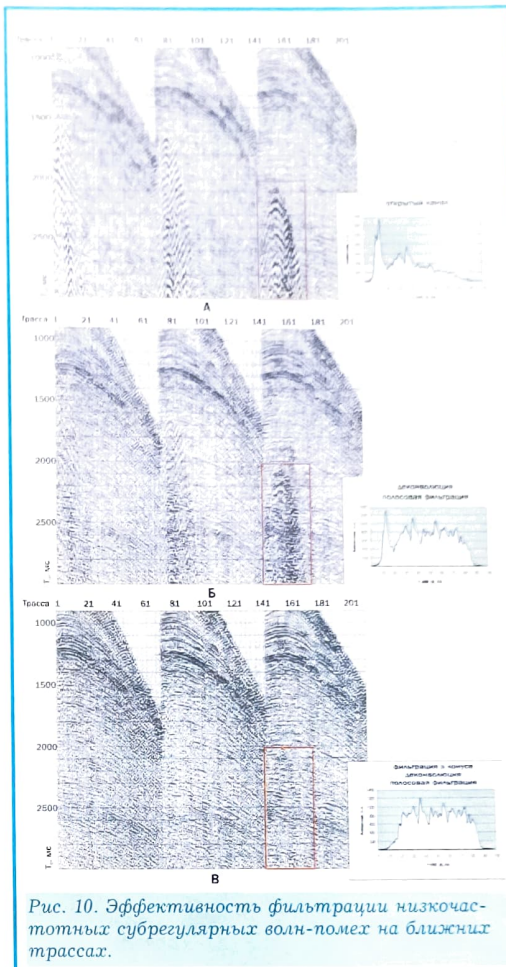


Рис. 10. Эффективность фильтрации низкочастотных субрегулярных волн-помех на ближних трассах.

сигнал с начальными частотами порядка 6-8 Гц, что обусловило появление интенсивных субрегулярных волн-помех на ближних к пункту возбуждения трассах (волны Рэлея и "звуковые" волны). Для борьбы с указанными помехами применялась полосовая фильтрация в конусе, ограниченном кажущейся скоростью приблизительно 350 м/с, в котором регистрировались рассматриваемые помехи. Для их подавления перед процедурой деконволюции использовался фильтр верхних частот с нижней границей 16 Гц. Начиная с определенного времени, нижняя граница фильтра в конусе была изменена на 10 Гц в целях сохранения низкочастотных отражений от глубоких горизонтов. Вне зоны конуса применялась обычная полосовая фильтрация с диапазоном пропускания 8-90 Гц, что позволило в целом сохранить низкочастотную компоненту полезной записи.

Эффективность такого подхода иллюстрируется на рис. 10 подборкой фрагментов первичных записей после восстановления амплитуд и амплитудно-частотными характеристиками в окне, захватывающем зону помех. Приведены фрагменты первичных полевых сейсмограмм на открытом канале (А), после деконволюции и обычной полосовой фильтрации в диапазоне 8-90 Гц по всей записи в целом (Б), и после предварительной (до деконволюции) фильтрации в конусе, и последующих деконволюции и обычной полосовой фильтрации (В). Вид сейсмической записи и соответствующий амплитудный спектр отчетливо показывает исчезновение низкочастотных помех в случае (В).

ОАО "САРАТОВНЕФТЕГЕОФИЗИКА" ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ