

НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ В СЛОЖНЫХ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Беркович А.¹, Бельфер И.¹, Межбей В.¹

Цимбалюк Ю.А.²

(1-Geomage Модиин, Израиль,

2-ФГУП «ЗапСибНИИГ»)

Построение временного разреза, наряду с построением глубинных изображений, остается важным инструментом поисково-разведочных работ. Опыт показывает [1], что временные разрезы позволяют извлечь достаточное количество информации в случае геологического строения умеренной сложности. Кроме того, даже для более сложных моделей среды, когда необходимо использование глубинной миграции исходных трасс, построение изображения разреза во временном масштабе обычно является основой для построения макроскоростной модели.

Как известно, одними из основных процедур, предназначенных для получения временных разрезов, являются расчет и ввод кинематических поправок и суммирование трасс, подобранных по общей глубинной (средней) точке ОГТ. Для расчета кинематических поправок требуется знание точного закона изменения скорости суммирования по оси времени. Эта скорость обычно определяется с помощью разновременного суммирования трасс, подобранных по ОГТ (скоростного анализа). Количество этих трасс не всегда является достаточным для необходимого увеличения отношения сигнал-помеха. Кроме того, ввод кинематических поправок сопровождается нелинейным растяжением сигналов на малых временах, характеризующих верхнюю часть геологического разреза. Часто это приводит к потере отражений на сейсмических разрезах в интересующих геологов интервалах глубин. Кроме того, практически во всех алгоритмах цифровой обработки предполагается, что годографы отраженных волн на сейсмограммах ОГТ описываются гиперболой. Однако геологическая среда во многих случаях настолько сложна, что “гиперболичность” годографов нередко нарушается. В результате, сложные участки временных разрезов, которые, как правило, и являются целью поисков и разведки, не поддаются интерпретации из-за “размазанности” или полного отсутствия целевых отражений.

Предлагалось множество способов как избавиться от нелинейных искажений, учесть негиперболичность годографа и оценить строение среды и т.д. Однако они не нашли практического применения из-за сложности алгоритмов, необходимости больших затрат ручного труда и зачастую малой эффективности.

В новом методе цифровой обработки Мультифокусинге (MF) [1-3] удалось избавиться от вышеперечисленных недостатков. Каждая результирующая трасса временного разреза в этом методе формируется за счет суммирования трасс, которые не обязательно принадлежат к одной ОГТ. Источники и приемники, соответствующие этим трассам, находятся около центральной точки в пределах некоей достаточно протяженной зоны (супербазы). В эту зону может попасть множество общих глубинных точек и, соответственно, значительно большее количество трасс, предназначенных для суммирования, чем в традиционной методике. Поскольку в новом методе суммируемые трассы больше не принадлежат общей глубинной точке, потребовался более общий по сравнению со стандартным методом подход к расчету и вводу кинематических поправок. Выведена новая общая формула, описывающая времена вступления волн для случая произвольной конфигурации источников и приемников и произвольного строения среды для расчета сдвигов сейсмических трасс, находящихся вблизи центральной точки.

Кинематическая поправка в новом методе [3-4] зависит не от одного параметра – скорости, а уже от трех параметров: угла подхода β фронта волны к центральной точке супербазы, размеры которой определяются величиной первой зоны Френеля, и радиусов кривизны двух фундаментальных волновых фронтов - R_{cre}^+ и R_{cre}^- . Представим (рис. 1), что нормальный луч выходит из источника в точке (назовем эту точку центральной) на поверхности под углом β_0 к вертикали, касается границы отражения в точке O и возвращается обратно в точку X_0 .

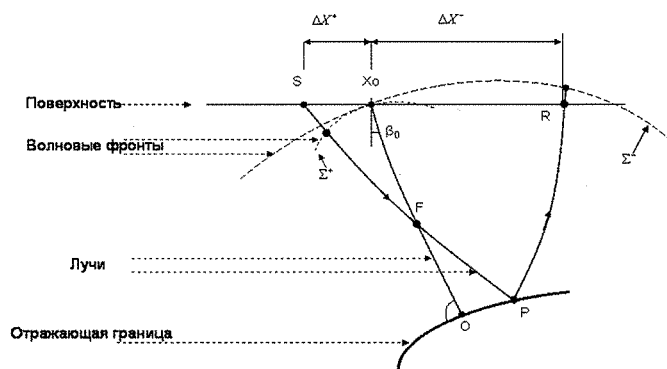


Рис. 1. Схематическое представление принципа фокусирования

Параксиальный луч, выходящий из произвольно расположенного источника S , пересечет нормальный луч в точке F , отразится и вернется к поверхности в некоей точке R приемника. Кинематическая поправка для произвольной конфигурации источник-приемник вблизи нормального луча в этом случае будет следующей [3]:

$$\Delta\tau = \frac{\sqrt{(R^+)^2 + 2R^+\Delta X^+ \sin\beta + (\Delta X^+)^2} - R^+}{V_0} + \frac{\sqrt{(R^-)^2 + 2R^-\Delta X^- \sin\beta + (\Delta X^-)^2} - R^-}{V_0}, \quad (1)$$

где

$$R^+ = \frac{1+\sigma}{\frac{1}{R_{cee}^+} + \frac{\sigma}{R_{cre}^+}}, \quad R^- = \frac{1-\sigma}{\frac{1}{R_{cee}^-} - \frac{\sigma}{R_{cre}^-}} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{\Delta X^+ - \Delta X^-}{\Delta X^+ + \Delta X^- + 2 \frac{\Delta X^+ \Delta X^-}{R_{cre}} \sin\beta} \quad (3)$$

Здесь ΔX^+ и ΔX^- - расстояние от источника и приемника, соответственно, до центральной точки супербазы X_0 ; R^+ и R^- - радиусы кривизны воображаемых волновых фронтов; V_0 - скорость волны вблизи поверхности; σ - параметр фокусирования, который зависит от системы наблюдений; R_{cre}^+ - радиус кривизны волнового фронта, который формируется источником, расположенным в точке, где луч с нулевым удалением, вышедший из центральной точки, попадает на рефлектор; R_{cee}^- - радиус кривизны волнового фронта, который формируется нормальными лучами, выходящими из различных точек отражающей границы, т.е. зависит от формы границы.

Размер апертуры (супербазы) суммирования вблизи центральной точки определяется по формуле:

$$W = \frac{2}{\cos\beta} \sqrt{\frac{V_0 T}{2 \left| \frac{1}{R_{cee}^+} - \frac{1}{R_{cre}^-} \right|}}, \quad (4)$$

где T - period of the signal ($T=1/f$, где f - частота сигнала). Параметр R_{cre}^+ связан со скоростью с помощью выражения $R_{cre}^+ = V_{rms}^2 t_0 / 2V_0$, где t_0 - это нулевое время на центральной трассе. Если не использовать R_{cee}^- , т.е. установить $R_{cee}^- = \infty$, то в этом случае (4) становится следующим:

$$W = \frac{V_{rms}}{\cos\beta} \sqrt{\frac{t_0}{f}} \quad (5)$$

Края нашей супербазы, вычисленные по формуле (5), имеют коническую форму, расширяясь с увеличением времени. Для дифрагированных волн $R_{\text{сее}}=R_{\text{cre}}$, поэтому $W=\infty$. For diffracted waves $R_{\text{сее}}=R_{\text{cre}}$ then $W=\infty$ мы можем использовать супербазу любого размера, однако это не оправдано с точки зрения сильно меняющихся по горизонтали геологических условий верхней части разреза существенно.

MF заключается в переборе трех параметров: β , R_{cre} и $R_{\text{сее}}$, и расчете для каждого из их сочетаний кривой вступлений волн по формуле (1), вдоль которой вычисляется коэффициент когерентности. При этом, как показано на рисунке 2, не происходит растяжения сигналов на малых временах, что является основной причиной потери информации о верхней части разреза при применении стандартной методики обработки.

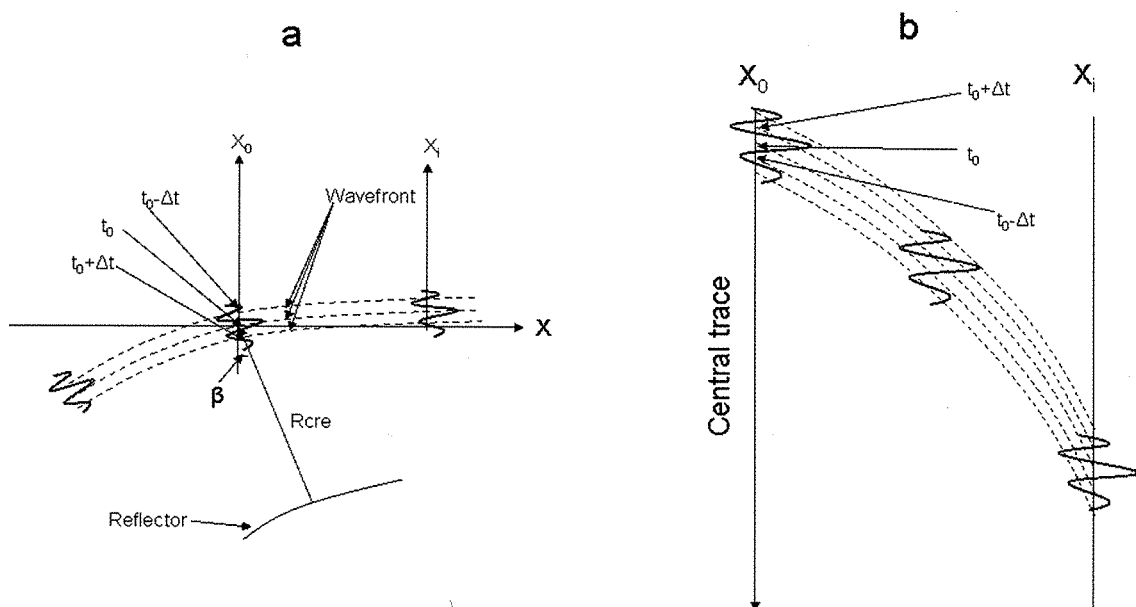


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая отсутствие растяжения сигналов в методе MF:
 а - волновой фронт вблизи поверхности в различные моменты времени;
 б - линии суммирования в MF, соответствующие различным моментам времени схемы (а)

Растяжение не происходит по той причине, что все отсчеты импульсов волн на центральной трассе имеют одни и те же параметры волнового фронта в пределах сигнала, поэтому коррекция по формуле (1) будет постоянной вдоль всего сигнала.

Производится поиск такого варианта набора параметров, который максимизирует функцию когерентности, вычисляемую по всем сейсмическим трассам, находящимся вблизи центральной точки. Выбор оптимального варианта позволяет значительно повысить отношение сигнал/помеха для границ сложной структуры даже в том случае, когда регистрация данных производится по новейшей технологии с применением высокой кратности наблюдений.

Доказано [4], что формулы времени пробега Мультифокусинга позволяют не только адекватно отразить время вступления для произвольных конфигураций источник-приемник, так же как и традиционные кинематические поправки для сейсмограмм ОГТ, но являются более точными для моделей геологического разреза различной сложности.

Таким образом, потенциальные преимущества Мультифокусинга заключаются в следующем:

1. Суммирование большого количества трасс, охватывающих множество средних точек и увеличение за счет этого статистического эффекта и эффекта направленности системы.
2. Суммирование вдоль траекторий, соответствующих оптимальному сочетанию основных параметров волновых фронтов, позволяет избавиться от неравномерного растяжения сигналов.
3. Более точная оценка времен вступления отраженной волны по новой формуле, выведенной для общего случая.

Эти преимущества нового метода позволили заметно повысить качество при обработке данных, полученных в сложных сейсмогеологических условиях в различных регионах мира: Северо-Западе России, Западной Сибири, Прикаспийской впадине, Украине, Австралии, Северной Африке, Индии, Канаде и т.д. В частности, на рисунке 3а представлен результат стандартной обработки данных по одному из профилей площадной системы.

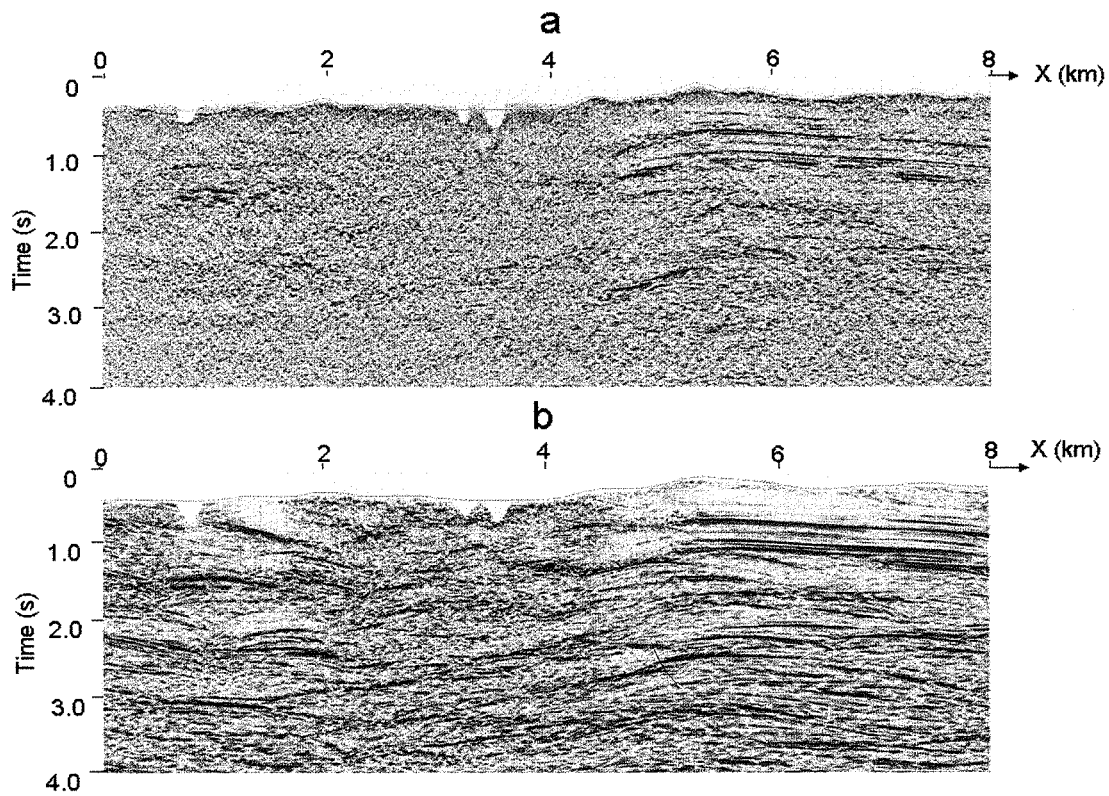


Рис. 3. Временные разрезы, полученные по стандартной методике (а) и с помощью Мультифокусинга (b). Кратность наблюдений – 75. Канада

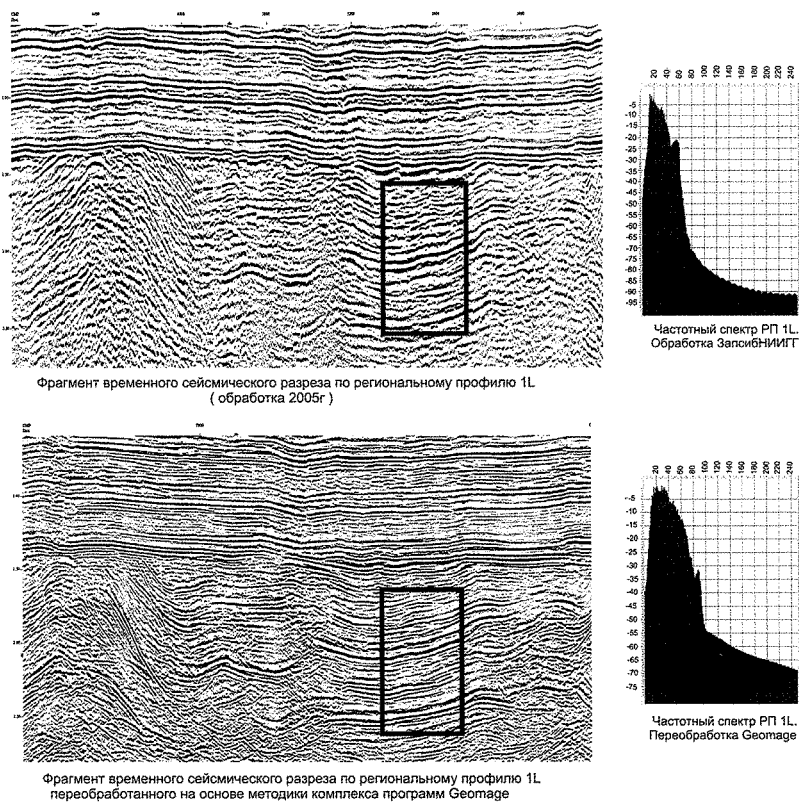


Рис. 4. Сравнение качества обработки сейсмических данных

По традиционной методике выделяются только отдельные отражения в правой части разреза. Результат Мультифокусинга (рис. 3б) обеспечил геологов всей необходимой информацией, позволившей осуществить площадную интерпретацию с целью заложения разведочных скважин.

Очень хорошие результаты применения технологии MF получены по материалам Западной Сибири. Одним из самых сложных для геологического изучения в Западной Сибири является доюрский комплекс.

Перспектива нефтегазоносности этого комплекса многими исследователями оценивается очень высоко. Построение сейсмогеологической модели на основе временных сейсмических разрезов чаще всего затруднено неоднозначностью корреляции отражённых волн данного интервала. Это связано с плохой прослеживаемостью горизонтов из-за слабой разрешённости сейсмической записи, наличием большого количества кратных волн и дизъюнктивных нарушений. На рисунке 4 демонстрируется результат переобработки фрагмента регионального профиля. Можно убедиться, что волновая картина в доюрском комплексе стала более чёткой.

Динамическая выразительность отражающих горизонтов позволяет более точно прослеживать границы по сравнению с вариантом обработки профиля прошлых лет.

За счёт более точной коррекции кинематики и статики существенно улучшилось соотношение сигнал/помеха, а частотный диапазон расширился на 30-40%.

Получая такой огромный прирост информативности за счёт использования методики MF в трудноинтерпретируемых интервалах, можно быть уверенным, что и более сложно построенные комплексы будут в ближайшее время доступны для детального исследования.

Литература

1. Berkovitch, A., Keydar, S., Landa, E., Trachtman, P. Multifocusing in practice. 68th Annual Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys. Expanded Abstracts. 1998.
2. Berkovitch, A., Gelchinsky, B., Keydar, S. Basic Formula for multifocusing stack (56th Mtg. Eur. Assoc. Expl. Geophys. Expanded Abstracts. 1994. -P 140.
3. Беркович, А., Бельфер, И. "Мультифокусинг – новый метод обработки сейсмических данных многократных наблюдений"//Тезисы доклада на IX международной научно-практической конференции "ГЕОМОДЕЛЬ-2007"-Геленджик, 2007.
4. Gelchinsky, B. Homeomorphical imaging method of analyzing the structure of a medium. U.S. Patent 5103429. 1992.