

Построение глубинно-скоростных моделей при глубинной миграции сейсмограмм для районов с контрастными скоростными неоднородностями в ВЧР.

Вороновичева Е.М., Королев Е.К., Российская Е.М., ООО "ПАРАДАЙМ ГЕОФИЗИКАЛ"

В российской и западной литературе проблеме аномального поведения скоростей ОГТ, получаемых в результате скоростного анализа при обработке сейсмических данных в районах со сложным строением верхней части разреза (ВЧР), посвящено много работ [1, 3, 5, 6, 7 и др.]. В результате аналитических и численных исследований связи скоростей ОГТ и параметров среды выяснено, что одной из основных причин больших отличий скоростей ОГТ для глубоких границ от соответствующих значений средних скоростей сейсмических волн является влияние латеральных нелинейных изменений скоростей в ВЧР.

Характерным для искажений, вызванных близ поверхностными неоднородностями, является выход значений скоростей ОГТ из интервала, определяемого минимальным и максимальным значениями интервальных скоростей в вышележащей толще, и увеличение размаха их колебаний, приуроченных к границам неоднородностей, с ростом глубины отражающей границы. В работе [3] показано, что эти особенности поведения скоростей ОГТ аналитически могут быть описаны с помощью второй производной по пространственной координате от функции, описывающей переменную пластовую скорость в плоском (эффективном) поверхностном слое. В работе [8] предложена технология формирования глубинно-скоростной модели и выполнения миграции в подобных условиях. Следует отметить, что в отечественной литературе разработка подобных технологий еще не получила достаточного развития. Фактически можно отметить только одну недавнюю работу [2], посвященную этому вопросу.

В работе [4] нами рассматривалось выполнение глубинной миграции сейсмограмм в сочетании с расчетом/вводом длиннопериодных статических поправок замещения для эффективного слоя с переменной скоростью, моделирующего неоднородную ВЧР. Миграция выполнялась на "плавающем" локально-плоском уровне, а учет длиннопериодных искажений осуществлялся путем ввода в мигрированный разрез ОГТ-согласованных статических поправок (СтП), не зависящих ни от времени регистрации отражений, ни от удалений источник-приемник.

Очевидно, что все ограничения, сопутствующие вводу больших по величине поправок "за неоднородность" наиболее ярко (и негативно!) проявляются для условий распространения неоднородной зоны многолетне-мерзлых пород (ЗММП), характерных для севера Западной Сибири и Канады. В работе [8] для учета влияния ЗММП в подобных условиях предлагается использовать специальный комплекс программ, в которых сняты ограничения на "статическую" природу корректирующих сдвигов, т.е. при устранении влияния неоднородной ВЧР используются поправки, зависящие и от времени и от удаления источник-приемник. Нами сделана попытка реализовать подобный подход, используя про-

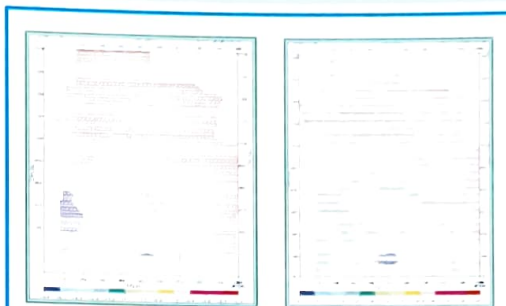


Рис. 1. Карты статических поправок (для ПП): а - длиннопериодные поправки "за рельеф", б - карта корректирующих длиннопериодных поправок за "неоднородность" ВЧР (поправки при приведении времен отражений к условиям "мерзлых" пород должны быть взяты со знаком "-")

граммные средства компании ПАРАДАЙМ.

Для опробования разработанной технологии использовались сейсмические данные, полученные в районе, расположенном на севере Западной Сибири. Для него характерно наличие резко неоднородной ЗММП, содержащей участки растеплений переменной мощности. Альтитуды рельефа съемки от 0 до 37 м, примерно половина ее территории - русла рек и заболоченные участки, к которым и приурочены зоны растеплений. Карта на рис.1б иллюстрирует плавно меняющиеся СтП для пунктов приема (ПП), рассчитанные по методике, описанной в работе [5]. Величина длиннопериодной составляющей статических поправок на площади наблюдений составляет от 0 до -65 мс (-130 мс в сумме за ПП и ПВ). Для корректирующих поправок характерны их высокий градиент на участках смены поверхностных условий, сочетание различных пространственных периодов - среднего и длинного - в зависимости от выбранного направления по площади. Величина полной корректирующей поправки, включая поправки "за рельеф" (рис.1а) и "за неоднородность" (рис.1б) достигает -160 мс.

Коррекция статики выполнялась в четыре этапа.

1. Предварительная коррекция статики: путем

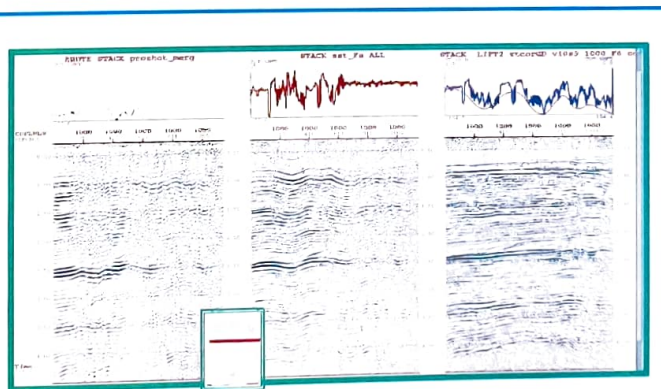


Рис. 2. Вертикальное сечение временных кубов на разных этапах коррекции СтП: а - только с поправками "за рельеф", б - с остаточными поправками, рассчитанными автоматическими процедурами коррекции, в - с окончательными корректирующими поправками. Графики над разрезами - СтП

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

РАЗРАБОТКИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЕЙ

применения нескольких итераций автоматической коррекции устранялись преимущественно короткопериодные, малоамплитудные статические сдвиги.

2. В интерактивном режиме определялась среднепериодная и короткопериодная высокоамплитудная составляющая статики, не устраненные при применении автоматических процедур коррекции.
3. Длиннопериодные (ДП) временные искажения компенсировались введением поправки "за неоднородность", рассчитанной способом замещения слоя. Для их расчета использовались спектры интервальных скоростей по самому верхнему отражающему горизонту, имеющему достаточно надежное прослеживание на всей площади наблюдения.
4. Заключительный этап: автоматическая коррекция коротко и среднепериодных составляющих остаточных статических поправок

На рис.2, иллюстрирующем изменение качества суммирования в процессе коррекции статики, представлено одно и то же вертикальное сечение суммарных временных кубов, полученных на разных этапах коррекции статических поправок.

Рассчитанные таким образом СтП обеспечивают качественное суммирование трасс и надежное прослеживание отражающих горизонтов. Немаловажно, что характер «структурного» поведения значений T_0 , полученных в результате такой коррекции, был подтвержден скважинными данными. При получении «окончательного» суммарного куба, как уже отмечалось нами в работе [4], длиннопериодная компонента корректирующих статических поправок статики, изображенная на рис 2в коричневой линией, может быть введена уже в суммарные трассы, т.е. после суммирования.

Проблема возникает при выполнении миграции до суммирования: очевидно, что непосредственное введение в сейсмические данные таких больших по величине и протяженности статических сдвигов

вызовет искажения кинематических характеристик отражений за счет параллельного переноса их годографов, что в итоге приведет к искажению глубинно-скоростной модели и изображения среды, получаемого при глубиной миграции сейсмограмм.

Как отмечалось в ряде работ [3, 7, 8 и др.], одной из причин искажения скоростей является отличие от гиперболности годографов отражений – в том числе и за счет смещения годографа при коррекции статики. В качестве средства, позволяющего улучшить эту ситуацию, предлагается введение переменных по времени и удалениям поправок, компенсирующих негиперболичность годографов, рассчитываемых по параметрам отражений от глубоких границ [8]. Взяв за основу эту идею, мы попытались осуществить ее, используя стандартные процедуры систем FOCUS и GeoDepth.

Наиболее простым путем при расчете таких поправок было бы получение разницы времен пробега вдоль лучей для двух моделей среды – с наличием неоднородного слоя в ВЧР и без него [8]. К сожалению, прямое вычисление этих разностей с помощью стандартных средств FOCUS и GeoDepth оказалось невозможным. Единственная возможность ввода поправок, обладающих подобными свойствами, заключается в использовании кинематических поправок, в том числе остаточных, обеспечивающих наилучшую (с точки зрения энергии суммирования) аппроксимацию наблюдаемого годографа отраженной волны.

Проиллюстрируем возможность такого решения данной проблемы на синтетической модели, имитирующей ситуацию, характерную для районов Западной Сибири (рис. 4). Моделирование выполнялось с учетом преломления, параметры расстановки – 0-3400 м, интервал возбуждения (шаг ПВ) 50 м, интервал регистрации (шаг ПП) 50м, кратность 34.

Основные этапы предлагаемой методики.

- Автоматическая и интерактивная коррекция короткопериодных и среднепериодных СтП.

- Анализ пластовых скоростей для верхнего слоя и расчет корректирующих статических поправок "за неоднородность" ВЧР [5].

- Построение двух вариантов глубинно-скоростной модели (ГСМ) разреза (см. рис 3.): (1) «эффективной» и (2) «теоретической».

Для построения «эффективной» ГСМ в первом слое модели используется скорость, полученная на этапе расчета поправок «за неоднородность» ВЧР. Для более глубоких отражений выполнялся погоризонтный анализ интервальных скоростей (методом когерентной инверсии), на основе которого выбирались постоянные пластовые скорости, соответствующие участкам, не осложненным поверхностными скоростными неоднородностями. В реальной ситуации такие участки, называемые опорными, выявляются на этапе анализа исходных данных и рассчитываемые поправки обеспечивают «приведение» к этим условиям [5]. В данном случае, для построения ГСМ использовалась скоростная анализ интервальных скоростей в точке CDP=860 (рис.3, 4). Для построения «теоретической» ГСМ скорости в верхнем слое «эффективной» модели заменялись

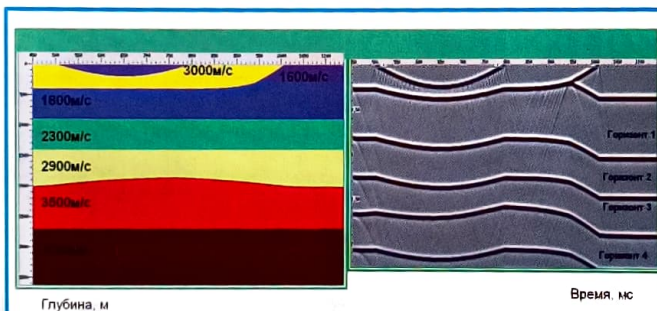


Рис.3 Моделирование влияния контрастных скоростных аномалий в ВЧР: а - заданная синтетическая глубинно-скоростная модель, б - синтетический временной разрез.

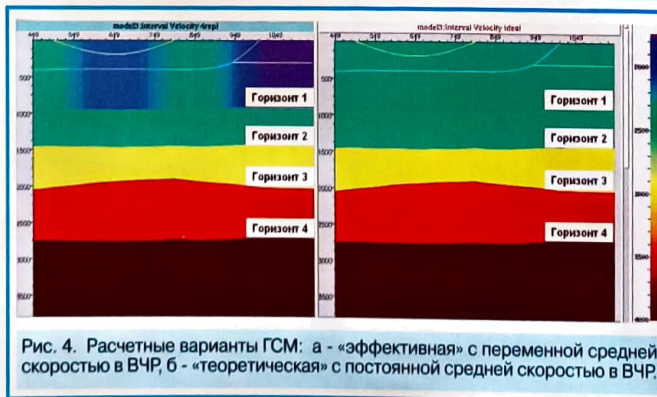


Рис. 4. Расчетные варианты ГСМ: а - «эффективная» с переменной средней скоростью в ВЧР, б - «теоретическая» с постоянной средней скоростью в ВЧР

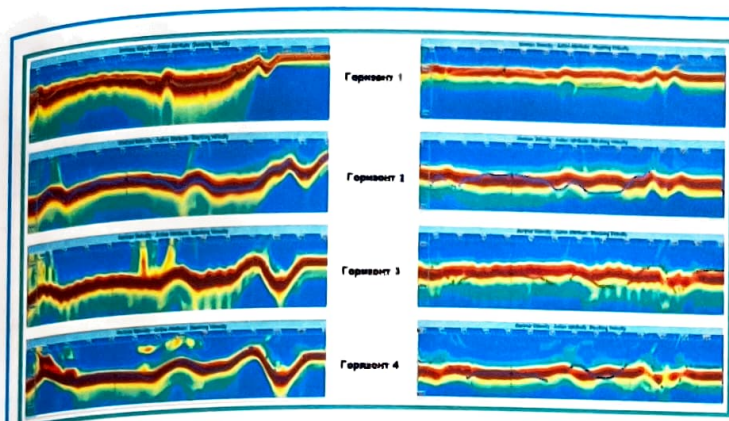


Рис. 5. Горизонтальные спектры скоростей суммирования, рассчитанные: а - по исходным сейсмограммам «эффективной» модели, б - по сейсмограммам с введенной переменной по времени и удалениям поправкой (графики, наложенные на спектры варианта б, соответствуют значениям исходных скоростей).

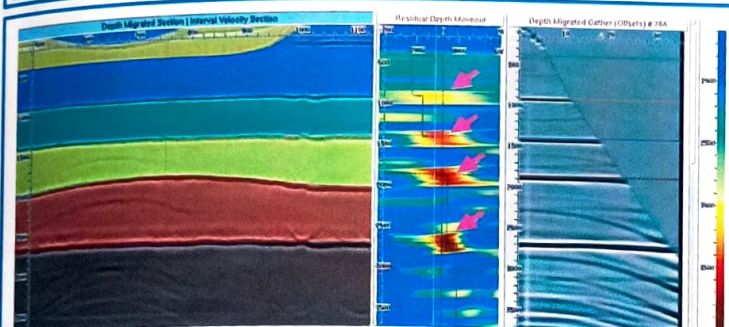


Рис. 6. Результат глубинной миграции по сейсмограммам после ввода переменных по времени и удалениям поправок «за неоднородность», а - глубинный разрез, б - анализ остаточных кинематических поправок, в - мигрированная сейсмограмма общей точки отражения.

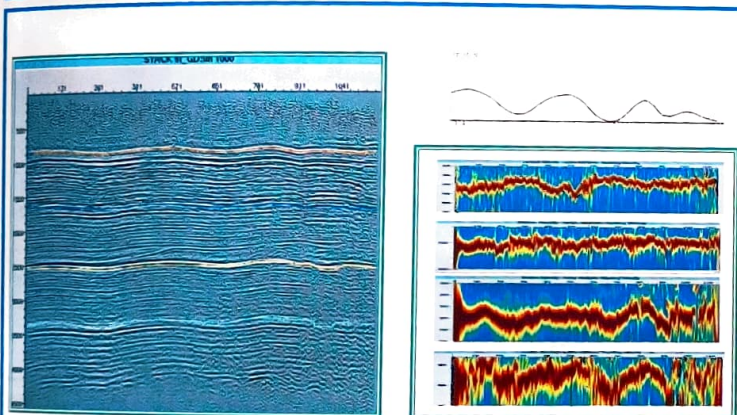


Рис. 7. Вид исходных данных: а - сечение временного куба, б - спектры скоростей суммирования вдоль опорных горизонтов.

постоянной скоростью, равной скорости замещения (рис. 4б). В реальной ситуации, если имеются дополнительные сведения о строении ВЧР, они также должны быть использованы для построения модели.

- Расчет синтетических сейсмограмм для двух вариантов ГСМ.
- Выполнение погоризонтного анализа скоростей суммирования (рис. 5) и построение вертикальных скоростных разрезов для двух вариантов ГСМ
- Ввод в сейсмограммы переменных по време-

ни и удалениям сдвигов путем:

1) прямого ввода кинематических поправок, соответствующих скоростям, полученным в результате скоростного анализа по «эффективной» модели;

2) ввода статических поправок «за неоднородность»;

3) обратного ввода кинематических поправок, рассчитанных для «теоретической» модели.

Скоростные спектры, рассчитанные по исправленным таким образом сейсмограммам, уже не содержат аномальных искажений, вызванных локальными неоднородностями (рис. 5).

• Анализ интервальных скоростей (включая томографию) по скорректированным сейсмограммам для построения глубинно-скоростной модели для миграции.

• Глубинная миграция скорректированных сейсмограмм (рис. 6).

Рассмотрим применение методики на реальных данных. На рис. 7 приведено одно из сечений временного куба после коррекции коротко-периодных и среднепериодных СтП и спектры скоростей ОГТ вдоль опорных горизонтов. При построении «эффективной» глубинно-скоростной модели скорости в верхнем слое рассчитывались, исходя из значений длиннопериодной компоненты финальных статических поправок (график над спектрами скоростей на рис. 7б).

Для «теоретической» модели в первом слое была задана постоянная скорость 2450 м/с (при наличии скважинных данных о скоростях в ВЧР возможно задание более сложной, градиентной скоростной модели первого слоя). Для каждой из построенных ГСМ рассчитывались синтетические сейсмограммы, по которым выполнялся погоризонтный анализ скоростей суммирования (спектры для «эффективной» модели изображены на рис. 8а).

На рис. 8б приведены спектры скоростей, рассчитанные по реальным сейсмограммам. Близость поведения скоростей ОГТ, рассчитанных по синтетическим сейсмограммам для «эффективной» модели, и по реальным сейсмограммам, является критерием правильности выбранной модели ВЧР. Этот критерий использовался нами для итерационного уточнения модели ВЧР. «Эффективная» модель построена таким образом, что латеральные

флуктуации скоростей вдоль опорных горизонтов отражают влияние только близповерхностных скоростных неоднородностей и нелинейное изменение формы границ вышележащих горизонтов. Коррекция формы годографов на сейсмограммах путем ввода переменных по времени и удалениям временных сдвигов, отражающих разницу полей скоростей суммирования, рассчитанных для «теоретической» (рис. 9б) и «эффективной» (рис. 9а) ГСМ, приводит к выравниванию горизонтальных спектров и устранению аномальных эффектов, свя-

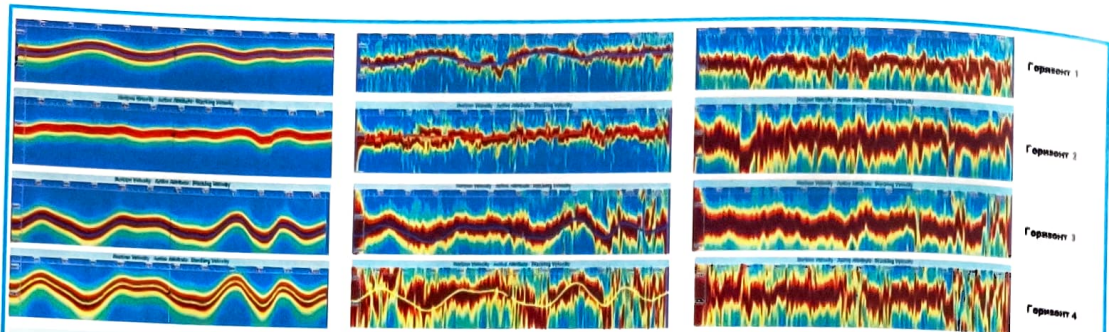


Рис 8. Горизонтальные спектры скоростей суммирования на этапе уточнения модели ВЧР, рассчитанные: а – по синтетическим сейсмограммам для «эффективной» ГСМ, б – по реальным исходным сейсмограммам, в – по скорректированным сейсмограммам с введенной переменной по времени и удалениям поправкой.

занных с контрастными неоднородностями в покрывающей толще (рис. 8в).

По скорректированным таким образом сейсмограммам выполняется глубинная миграция (рис. 10). Для дальнейшего уточнения ГСМ может применяться как погоризонтная томография, так и метод когерентной кинематики по мигрированным подборкам выполняется на этой стадии с большей степенью надежности. При этом прослеживаются изменения скоростных характеристик горизонтов, связанных с латеральными изменениями параметров геологической среды, в том числе с тектоническими нарушениями в правой части разреза (рис. 10).

Выводы.

Разработана методика определения и учета влияния скоростных неоднородностей ВЧР с использованием стандартных пакетов GeoDepth и Focus. Для контроля за правильностью построения модели ВЧР используется расчет синтетических сейсмограмм и анализ скоростей по ним. Критерием точности построенной модели среды является близость значений скоростей, определенным по реальным и синтетическим данным. Стабилизация поведения скоростей ОГТ после ввода поправок замещения является дополнительным критерием правильного учета скоростных аномалий ВЧР.

Литература:

- Бляс Э.А., 2005, Новый взгляд на скорости ОГТ в слоистых латерально-неоднородных средах: аналитическое и численное исследование: Технологии сейсморазведки, 3, 7-25
- Денисов М.С., Силаенков О.А., 2008, Расширение возможностей обработки результатов сейсмических наблюдений за счет использования процедуры продолжения волнового поля: Технологии сейсморазведки, 3, 3-18.
- Долгих Ю. Н., 2006, Недостатки упрощенных подходов к учету ВЧР в условиях Западной Сибири: Технологии сейсморазведки, 3, 35-42.
- Королев Е. К., Российская Е. М., 2006, Учет длинно-периодных искажений, связанных с неоднородностями ВЧР, при выполнении глубинной миграции сейсмограмм: Технологии сейсморазведки, 4, 33-36
- Королев Е.К., Королев А.Е., Хайретдинова (Российская) Е.М., 2005, Интерпретационный подход к учету длинно-периодных искажений сейсмических волновых полей, вызванных зоной моголетнемерзлых пород. Технологии сейсморазведки – №1, с.41-46
- Логовской В. И., Говоров С. С., 2000, Повышение достоверности сейсморазведочных данных в зонах развития многолетнемерзлых пород: Геофизический вестник, 2, 8-13
- Черняк В. С., 2006, Остаточные аномалии $V_{сдр}$ после ввода в сейсмограммы поправок за многолетнемерзлые породы и способ избавления от них. Технологии сейсморазведки, 3, 43-46.
- Е. Бляс, 2007, Depth velocity model building and imaging in the presence of shallow velocity anomaly effects, EAGE 69th conference expanded abstracts, E034

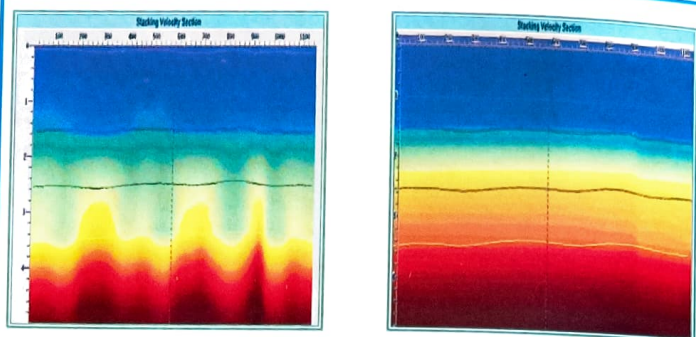


Рис 9. Разрезы скоростей суммирования, полученные при анализе синтетических данных: а - для «эффективной» ГСМ с переменной скоростью в ВЧР, б - для «теоретической» модели с постоянной скоростью в ВЧР.

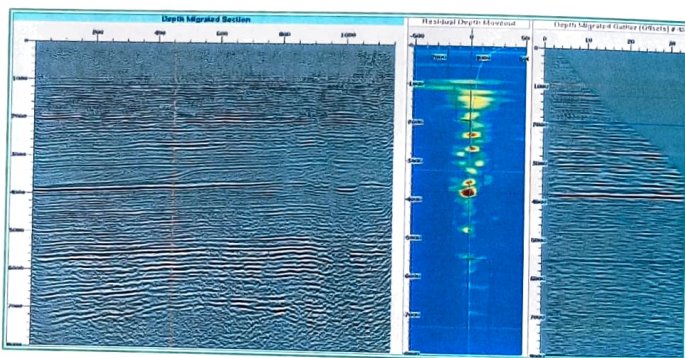


Рис. 10. Результат глубинной миграции для тонкослоистой ГСМ, построенной с помощью погоризонтной томографии, с учетом влияния ВЧР: а - глубинное изображение среды, б - спектр остаточной кинематики, в - сейсмограмма с введенными переменными по времени и удалениям поправками после миграции.