

Возможности восстановления параметров анизотропии по сейсмическим данным

Анисимов Руслан Гурьевич

Яндекс.Терра (ООО «СейсмоТек»), Москва

В процессе решения обратной кинематической задачи и построения глубинно-скоростной модели среды геофизики постоянно сталкиваются с проблемой выбора. Наличие выбора возникает из-за существования кинематически эквивалентных сред и, по существу, является следствием того, что мы пытаемся решать некорректную задачу, которая либо имеет неограниченное количество решений, либо его не имеет вовсе. Вследствие этого, а также вследствие наличия погрешностей в исходных данных, всегда ищутся решения, позволяющие отобразиться в исходные данные с достаточной для практики точностью. Но при такой формулировке существует бесконечное множество решений, поэтому для выбора какого-то определённого решения, обладающего желаемыми свойствами, обычно применяют технику регуляризации, позволяющую из некорректной задачи составить задачу условно корректную. И здесь очень важным является то, как данная регуляризация выполняется. Если параметризовать модель пластами и наложить на них ограничение локальной однородности, т.е. медленной изменчивости скоростей и локальной плоскости отражающей площадки, то задача становится корректной. Поэтому мы считаем, что именно в такой модели следует решать обратную кинематическую задачу геофизики, по крайней мере, до тех пор, пока это удаётся сделать.

Всё выше сказанное касалось изотропных сред и моделей, но на практике зачастую приходится работать с существенно анизотропными средами, которые ещё больше увеличивают область возможных решений. В таком случае класс локально-однородной пластовой модели приходится расширять, добавляя в модель параметры анизотропии и тем самым снова делая задачу некорректной. Её некорректность заключается в неединственности решения, которую мы продемонстрируем на следующем примере. Рассмотрим трёхмерную модель, состоящую из нескольких слоёв (рис.1). Второй слой характеризуется VTI анизотропией и параметрами: $V_0 = 2500$ м/с, $\varepsilon = 0.15$ и $\delta = 0$. Если мы изменим исходную глубину подошвы данного слоя и сделаем её на 100 метров глубже, а затем подберём такие параметры VTI анизотропии, которые позволят отобразиться во времена отражённой волны, рассчитанной в исходной модели, то мы получим новые параметры: $V_0 = 3000$ м/с, $\varepsilon = -0.06$ и $\delta = -0.16$. Оговоримся, что входные данные в наших экспериментах мы ограничиваем оффсет-фактором равным двум.

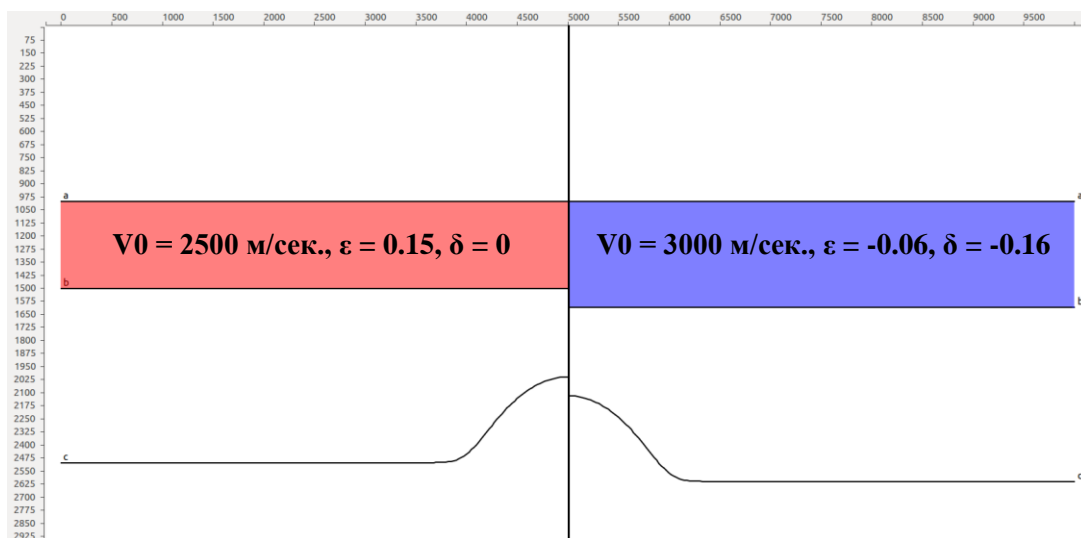


Рис. 1 Пример сечения двух совмещенных эквивалентных моделей. Левая половина изображает исходную модель, правая эквивалентную ей модель, полученную в результате решения обратной задачи определения оптимальных параметров анизотропии.

Выполнив миграцию сейсмограмм, рассчитанных в исходной модели, мы увидим, что её качество идентично в обоих случаях, но при этом глубинное положение горизонтов различно (рис.2). Таким образом, на данном примере мы показали некорректность задачи определения параметров анизотропии даже в рамках пластовой локально-однородной параметризации модели с известной осью анизотропии. Следовательно, для регуляризации данной задачи необходима дополнительная априорная информация. Исходя из приведённого примера, нетрудно догадаться, что в качестве такой информации разумно принимать глубинное положение отражающего горизонта [5].

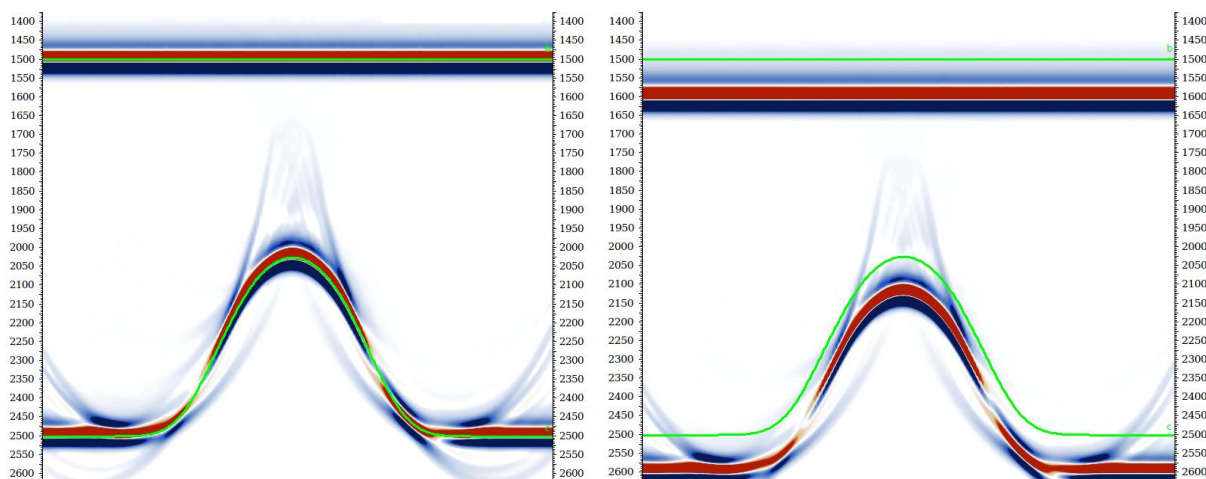


Рис. 2 Результат миграции в двух эквивалентных моделях. Качество изображения идентично, так как оси синфазностей на мигрированных сейсмограммах спрямлены в обеих моделях (в тезисах не представлены).

Но даже при использовании информации о глубинном положении отражающего горизонта нам не удастся избежать неединственности решения в случае, если мы пытаемся также идентифицировать ориентацию оси симметрии анизотропии. Помимо этого, в реальной жизни глубина горизонта в принципе не может быть задана правильно, так как у нас всегда имеется только ограниченное количество скважин, да и те могут быть с ошибками в привязке. В связи с этим хочется обладать ещё какими-либо априорными данными, которые позволят разрешить неединственность и/или оценить адекватность заданного глубинного горизонта. Для начала напомним, что мы строим толстослоистую скоростную модель и, следовательно, оцениваем интегральные параметры среды. В связи с этим можно с большой долей уверенности утверждать, что у нас имеются отражения от внутренних точек пласта, пусть даже они и фрагментарны по площади. Вопрос заключается в том, можно ли каким-либо образом использовать данный вид информации при решении обратной задачи. Для этого рассмотрим две эквивалентные модели, представленные выше, и проведём следующий эксперимент. В исходной модели добавим отражающий горизонт внутрь анизотропного пласта, рассчитаем синтетические сейсмограммы, а затем выполним их миграцию в обеих моделях (рис.3). Заметим, что добавленный горизонт является только отражающим, но не преломляющим. Данное условие является существенным и обуславливается тем, что мы описываем весь рассматриваемый слой как единую толщу.

На результатах миграции мы видим, что во второй модели изображения горизонтов получились ниже на 100 метров. При этом результат миграции ниже подошвы анизотропного слоя можно не рассматривать, так как мы уже убедились в его идентичности ранее, поэтому сосредоточимся на изображении добавленного горизонта. В целом результат кажется сопоставимым, но если приглядеться внимательнее, то можно заметить эффекты расфокусировки изображения в некоторых местах. Рассмотрение мигрированных

сейсмограмм подтверждает данный факт. Но главной особенностью является то, что такое поведение наблюдается не повсеместно, а только на участках, расположенных относительно высоко по пласту (рис.4). Данное явление происходит не потому, что мы подобрали плохую эквивалентную модель, а потому что мы использовали конечный диапазон углов просвечивания нашего пласта, когда решали задачу определения параметров анизотропии, и поэтому определили модель, эквивалентную только на имеющемся диапазоне углов.

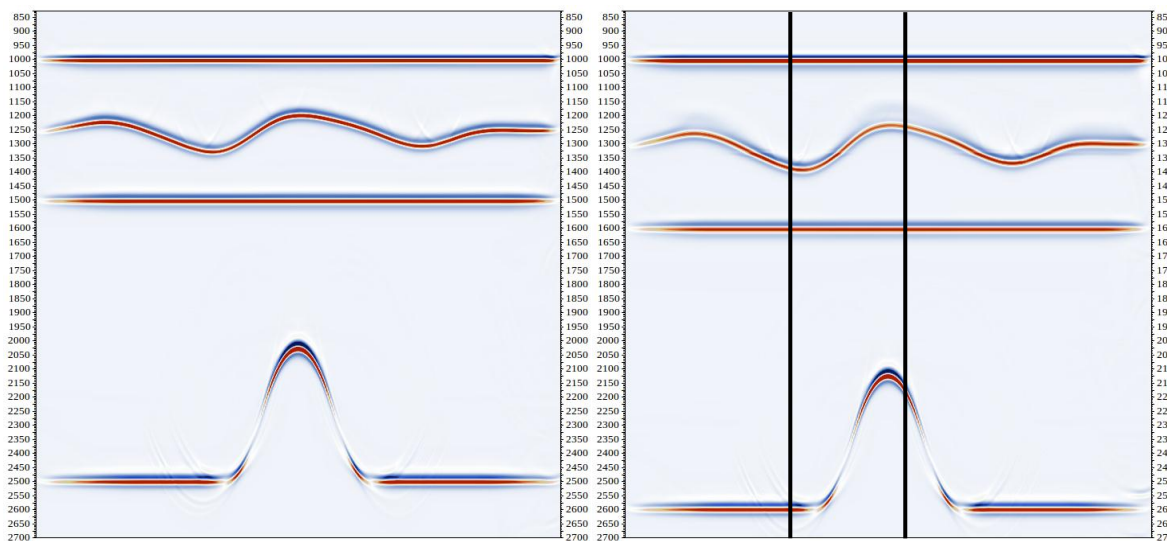


Рис. 3 Результат миграции в двух эквивалентных моделях при наличии промежуточного отражающего горизонта в анизотропном пласте. Изображение промежуточной границы во второй модели сфокусировано хуже.

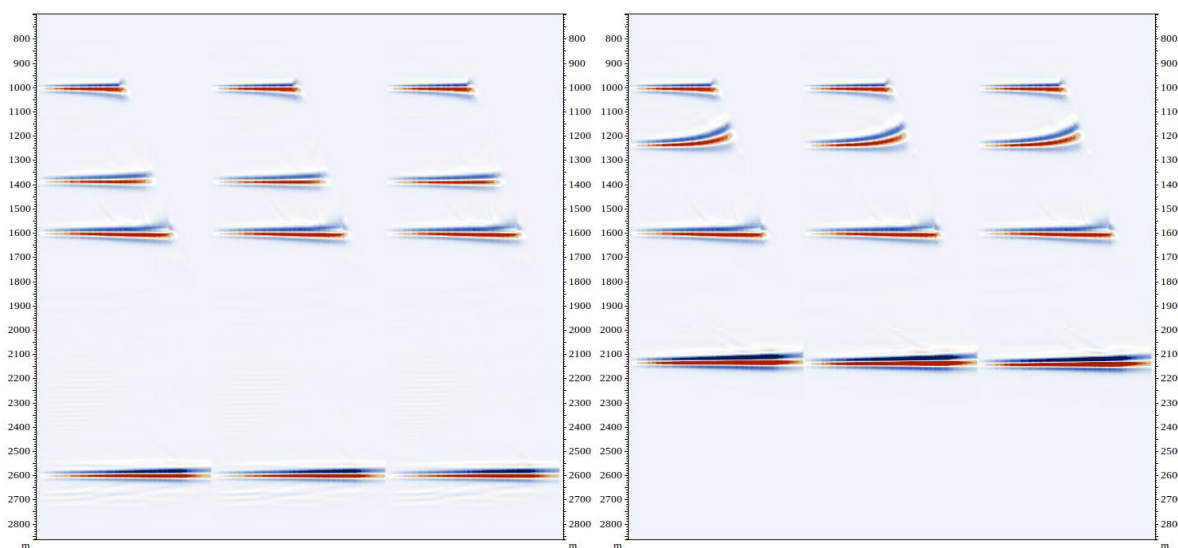


Рис. 4 Пример мигрированных сейсмограмм во второй модели. Слева – на пикете 3200 м, справа – на пикете 5200 м. Расположение соответствующих пикетов отмечено вертикальными линиями на рис.3.

Таким образом, чем выше по пласту находится внутренняя отражающая площадка, тем больший диапазон углов вовлекается в её освещение. В связи с этим мы наблюдаем спрямлённость осей синфазностей вплоть до удалений соответствующих максимальному углу просвечивания пласта, использованному при решении обратной задачи. Для более наглядной демонстрации сказанного проведём тесты, подобные вышеописанному, только теперь в качестве внутренней границы для простоты будем рассматривать горизонтальный отражатель с тремя различными положениями: на глубине 1400, 1250 и 1100 метров соответственно. Рассчитав синтетические сейсмограммы и произведя миграцию в

эквивалентной модели, мы обнаружим, что расхождение моделей по отношению к отражениям от внутренних границ слоя тем выше, чем дальше такая граница расположена от подошвы изучаемого слоя. (рис.5). Данный факт подтверждает наше предположение о том, что модели начинают расходиться вследствие того, что для отражений от внутренних границ диапазон углов просвечивания среды шире того, который использовался в обратной задаче. Поэтому данная информация является очень ценной и должна учитываться при решении задачи кинематической инверсии. Но тем не менее она не может дать гарантии в разрешении неединственности, так как на приведённых примерах мы видим, что для границ, расположенных посередине и ниже, модели эквивалентны с достаточной для практики точностью. Ввиду этого подход с использованием дополнительной априорной информации в виде поля времен отражённых волн от промежуточных границ может служить хорошим критерием для оценки правильности глубин подошвы исследуемого горизонта, а также выступать дополнительным стабилизатором решения. Но при этом он не позволяет однозначно решать обратную задачу с одновременным определением глубины отражающего горизонта, как может поначалу показаться, так как единственность не гарантирована.

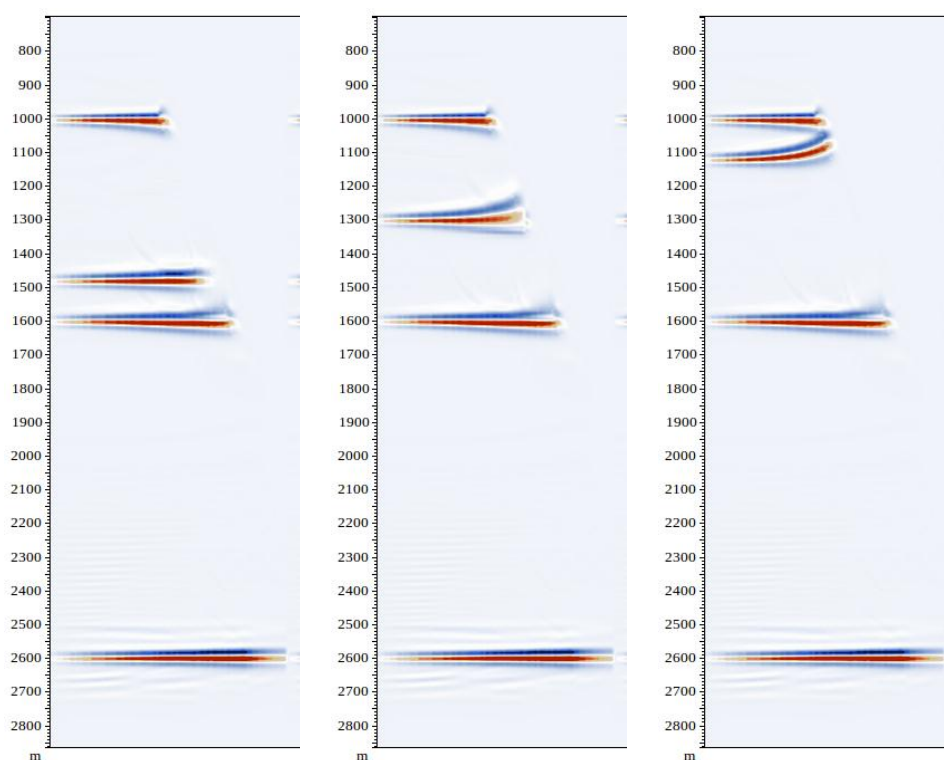


Рис. 5 Пример мигрированных сейсмограмм в трёх эквивалентных моделях с различным положением промежуточного отражающего горизонта в анизотропном пласте. Слева – на глубине 1400 м, посередине – 1250 м, справа – 1100 м.

Список литературы

1. Глоговский В.М., Лангман С.Л. Свойства решения обратной кинематической задачи сейсморазведки. // Технологии сейсморазведки, 1/2009 – Москва, 2009 – 10 с.
2. Анисимов Р.Г. Восстановление параметров анизотропии в локально однородной пластовой модели по кинематике отражённых волн // Тезисы конференции «Геомодель-2014»
3. Лангман С.Л., Анисимов Р.Г. Построение пластовой глубинно-скоростной модели в сложных средах // Тезисы конференции «Тюмень-2015»
4. Анисимов Р.Г., Лангман С.Л., Фиников Д.Б. Возможности расширения класса пластовых моделей сред при решении обратной кинематической задачи. Часть 1. Реконструкция пласта. Вставка горизонта. Технологии сейсморазведки, 2015, №2

5. Анисимов Р.Г., Лангман С.Л., Фиников Д.Б. Возможности расширения класса пластовых моделей сред при решении обратной кинематической задачи. Часть 2. Реконструкция пласта в модели анизотропии. Технологии сейсморазведки, 2015, №3