

Построение пластовой глубинно-скоростной модели в сложных средах

С.Л. Лангман* (Яндекс.Терра, ООО «Сейсмотек»), Р.Г. Анисимов (Яндекс.Терра, ООО «Сейсмотек»)

Введение

Общим местом при обсуждении обратных задач является констатация их некорректности или неустойчивости. Поэтому нелишне будет напомнить, что обратная кинематическая задача для пластовой, локально-однородной, изотропной модели среды корректна и устойчива. Это означает, что если известны времена прихода волн от всех границ, включенных в пластовую модель среды, и среда действительно состоит из набора пластов, обладающих свойствами локальной однородности и изотропности, то при небольших погрешностях в исходных данных, решение получается тоже с небольшими погрешностями. Проблема обратной задачи для пластовой модели среды, таким образом, не в ее некорректности в классическом понимании, а в неадекватности самой модели, с которой приходится работать. Не бывает толстослоистых сред и невозможно измерить времена прихода всех отраженных волн от всех границ, разделяющих все пласты. Так вот от того каким образом среда разбивается на пласты, сколько их включено в модель и каковы их свойства, самым существенным образом зависит решение. При этом самые различные решения могут с высокой степенью точности отображаться в одни и те же данные от отдельных горизонтов. Проиллюстрируем эту проблему следующим примером. На рис.1 показана исходная модель, состоящая из шести различных по скорости пластов.

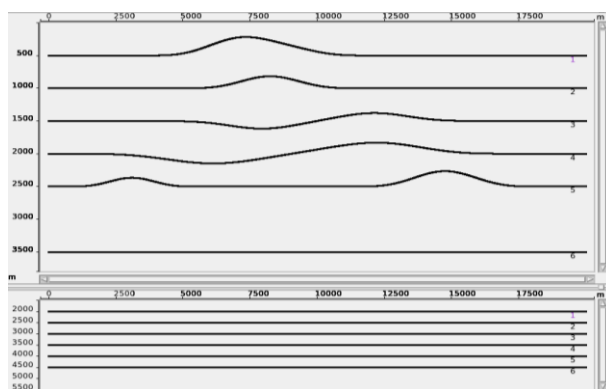


Рисунок 1 Исходная модель, состоящая из шести различных по скорости горизонтов

Сделаем предположение о том, что по каким-либо причинам отражения от второго и третьего горизонтов не сформировались, либо прослеживаются неуверенно. На основании сделанного предположения мы можем предъявить сколько угодно различных по конфигурации моделей таких, что времена отражений от пятого горизонта будут эквивалентны исходным. На рис.2 представлены две такие модели. В одной из них положение пятого горизонта совпадает с положением пятого горизонта в исходной модели, а во второй сильно отличается (рис.3). Учитывая, что времена прихода отраженных волн от рассматриваемого горизонта в обеих моделях эквивалентны, то и миграция даст результат одинакового качества (рис.4). Предположим, что одна из моделей истинная, и рассмотрим пачку слоёв от второго до пятого горизонта как один неоднородный пласт, состоящий из двух горизонтов. Данная неоднородность является очень простой и параметризуется всего двумя скоростями и промежуточной границей. Можно было бы поставить задачу отыскания параметров такого пласта. Однако наличие второй альтернативной модели является тем самым контрпримером, показывающим безнадёжность подобной задачи. При этом не будем забывать, что подобная постановка задачи сильно ограничивает поле возможных решений, в сравнении с классической задачей томографии, но при этом все равно может приводить к континууму возможных решений. Данное обстоятельство говорит о том, что даже простая модель неоднородности может приводить к различным решениям, хорошо отображающимся в данные.

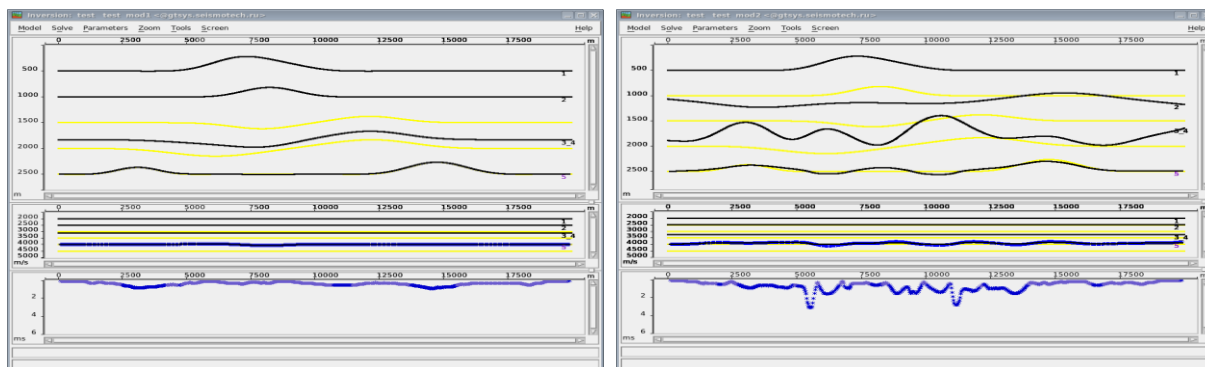


Рисунок 2 Модели кинематически эквивалентные исходной модели относительно пятого горизонта. Слева – положение пятого горизонта совпадает с его положением в исходной модели, справа – сильно отличается. Жёлтым цветом с целью сопоставления изображена исходная модель.

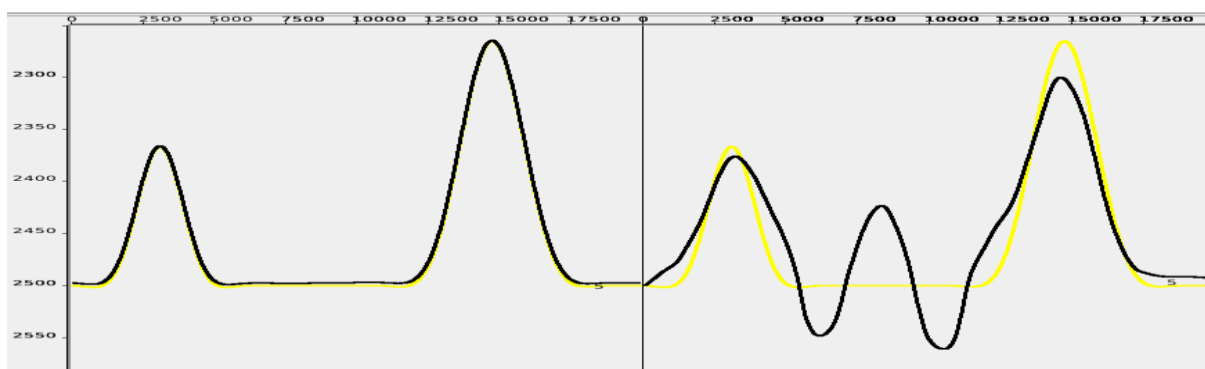


Рисунок 3 Сопоставление пятого горизонта в исходной модели и двух приведенных моделях. Жёлтым цветом отображено положение пятого горизонта в исходной модели.

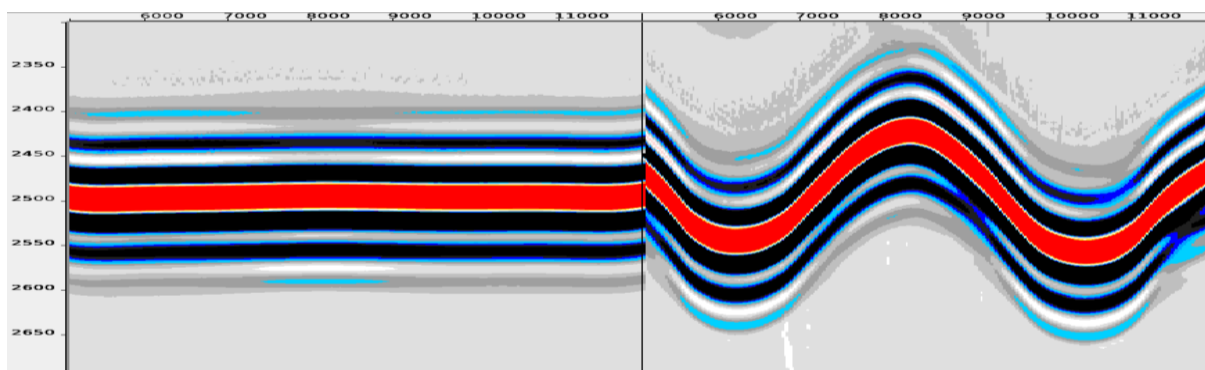


Рисунок 4 Изображение мигрированного пятого горизонта в двух представленных моделях. Качество изображения идентично при совершенно различной конфигурации.

Для осмысленного сужения множества решений необходима априорная информация, о которой всегда говорится в рамках обратных задач, но конкретно не указывается, какие именно данные требуются. Мы считаем такой информацией знание о положении отражающего горизонта. Одним из способов учёта априорной информации является вставка горизонта. Предположим, что у нас имеется априорная информация о положении некоторого отражающего горизонта. При этом времена прихода отраженных от него волн нам также известны. Предлагается учесть «сложности» слоя введением в него фиктивного преломляющего горизонта. При этом необходимо понимать, что данный горизонт носит чисто инструментальный характер и может вовсе не нести в себе геологически осмысленной информации. Рассмотренные выше примеры двух альтернативных моделей были получены данным методом.

В современной геофизике промышленным стандартом описания анизотропии сейсмических скоростей является модель Томсена. Несмотря на то, что она описывает самый простой трансверсально-изотропный случай анизотропии, для её параметризации требуется знание четырёх параметров в двухмерном и пяти параметров в трёхмерном случаях в каждой точке. Этими параметрами являются скорость распространения упругих колебаний вдоль оси анизотропии, ε , δ и непосредственно ось симметрии. Вполне очевидно, что при отсутствии дополнительных данных большое число степеней свободы приведёт к множеству равноправных решений. В связи с этим обратная задача должна приобрести иную постановку, в рамках которой анизотропия становится не столько физическим феноменом, сколько гибким инструментом попадания в данные при заданной глубинной границе. Следует понимать, что речь идёт об анизотропии с произвольной ориентацией оси симметрии, а вопрос об использовании вырожденных случаев VTI и HTI сред должен приниматься в отдельности в каждом конкретном случае. Для демонстрации возможных результатов в рамках объявленной постановки задачи приведём пример расширения класса модели включением в неё анизотропии. На рис.5 приведена изотропная локально-однородная пластовая модель, построенная по реальным данным. В результате миграции произошла отличная фокусировка изображения представляющего интерес последнего горизонта, с распрямленными синфазностями на сейсмограммах общей точки изображения (SIG). По качеству миграции можно было бы судить только о непротиворечивости, но никак о корректности реконструированной глубинно-скоростной модели среды.

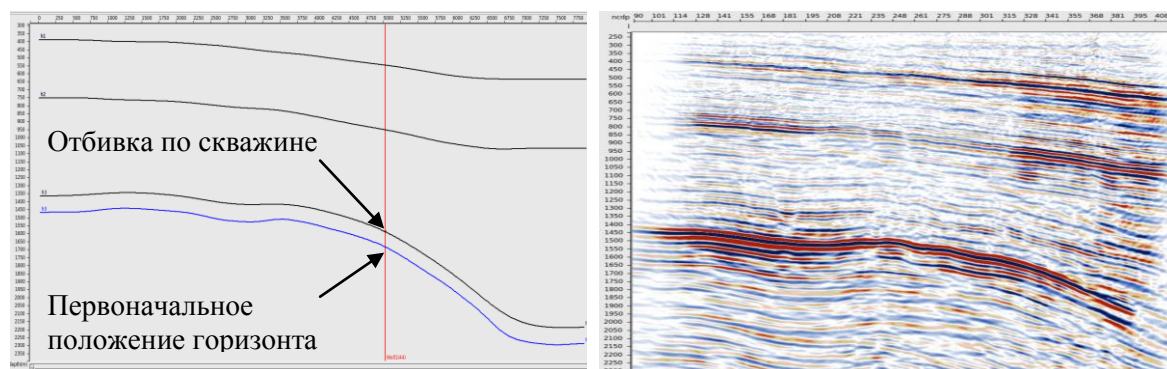


Рисунок 5 Слева - построенная пластовая модель. По скважинным данным известно, что последняя граница в действительности расположена выше почти на 100 метров. Справа результат миграции в первоначальной модели.

По данным имеющейся скважины в середине профиля было известно, что граница в действительности располагается почти на 100 метров выше. Предположительно данная невязка со скважинными данными может быть вызвана учётом анизотропии, поэтому граница была приведена в соответствие с априорной информацией и затем восстановлены оптимальные параметры анизотропии. Качество полученных изображений среды в первоначальной изотропной модели и модели с анизотропией идентично (рис. 6).

Приведённый пример ещё раз доказывает, что простое расширение класса модели без наложения на неё дополнительных требований не приведёт ни к чему хорошему. Априорная информация является тем ключом, который позволяет выполнить глубинные построения корректно. В дополнение к сказанному продемонстрируем ещё одну альтернативную модель той, с которой начинались тезисы. Но на этот раз целую пачку слоёв от второго до пятого горизонта мы заменили одним анизотропным слоем, используя критерий попадания в исходные данные при заданной границе (рис.7). Наличие такой альтернативной модели говорит нам о том, что при случае анизотропия и неоднородность могут быть эквивалентными.

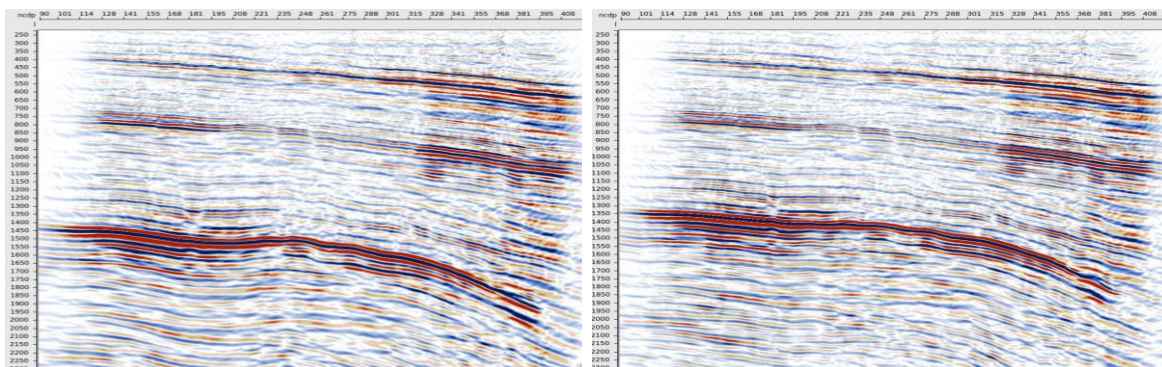


Рисунок 6 Слева - результат миграции в первоначальной модели с изотропными слоями. Справа – в анизотропной модели с исправленным положением границы.

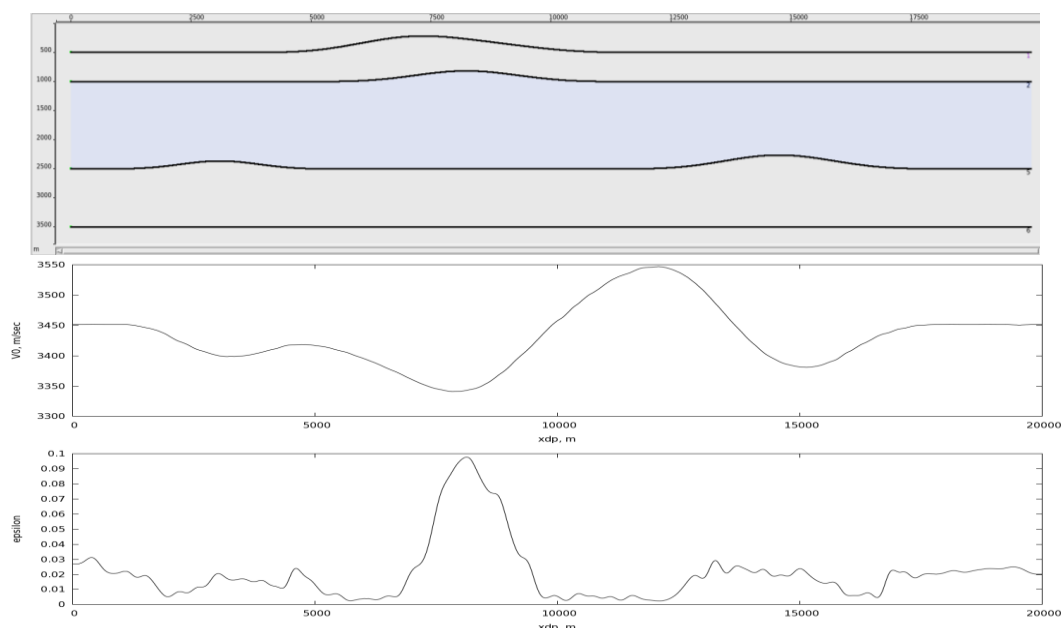


Рисунок 7 Ещё одна альтернативная модель, в которой неоднородный слой компенсирован однородным анизотропным.

Выводы

Зачастую в сложных геологических средах требование о локальной однородности пласта оказывается слишком сильным и невыполнимым. Простое расширение класса моделей приведёт к структурной неустойчивости, когда одним и тем же данным соответствуют существенно разные модели. Для разрешения данной проблемы необходимо привлечение априорной информации об изучаемой среде. Предлагается использовать знание о положении отражающей границы для описания слоя. Восстановленный таким образом слой полностью соответствует входным данным и позволяет строить нижележащие горизонты.

Библиография

1. Глоговский В.М., Лангман С.Л. Свойства решения обратной кинематической задачи сейсморазведки. // Технологии сейсморазведки, 1/2009 – Москва, 2009 – 10 с.
2. Глоговский В.М., Мешбей В.И., Цейтлин М.И., Лангман С.Л. Кинематико-динамическое преобразование сейсмической записи для определения скоростного и глубинного строения среды. // Сборник докладов второго научного семинара стран-членов СЭВ по нефтяной геофизике. Том 1. Сейсморазведка. – Москва, 1982.