

Использование эффективных параметров анизотропии и градиента сейсмических скоростей при описании сложнопостроенных геологических сред. Возможности и ограничения.

Силаенков О.А. (Яндекс.Терра, ООО «Сейсмотек»), Анисимов Р.Г. (Яндекс.Терра, ООО «Сейсмотек»), Лангман С.Л. (Яндекс.Терра, ООО «Сейсмотек»), Фиников Д.Б. (Яндекс.Терра, ООО «Сейсмотек»), Шалашиников А.В. (Яндекс.Терра, ООО «Сейсмотек»)*

Сложнопостроенные геологические среды – общеупотребительное, но весьма расплывчатое понятие в сейсморазведке. К ним относят и среды со сложными приповерхностными условиями, и разрезы, содержащие границы раздела пластов с сильным преломлением и сложной формы, и многие другие.

Можно, однако, утверждать, что в сейсморазведке просто построенных сред не бывает. Как писал В.М. Глоговский, «вид просто устроенных разрезов обманчив. Всегда интересуют не глобальное поведение отражающих границ, а их локальные особенности (структура, области выклинивания, наличие и положение разломов и т.п.). Чем ближе среда к горизонтально-слоистой ..., тем меньше размеры этих особенностей, а значит, тем точнее нужно выполнять структурные построения».

Приведем и придуманное им «лингвистическое равенство»:

(Сложность разреза)/(Размер локальных неоднородностей) = Сложность структурных построений,

на основе которого Владимир Маркович утверждал, что правую часть этого равенства можно считать универсальной постоянной для всех регионов. Эта цитата взята из работы В.М. Глоговского и С. Л. Лангмана [1], в которой они анализируют устойчивость обратной кинематической задачи для пластовой модели среды и приводят неутешительные контрпримеры различных моделей среды, отображающихся в одни и те же поля времен прихода отраженных волн. Нетрудно понять, что расширение класса моделей сред только усугубляет эту ситуацию.

Между тем реальные геологические среды в самом деле сложнее тех, которые мы можем описать моделью из набора локально-однородных слоёв. Не составит труда привести пример даже простой горизонтально-слоистой среды, включающей в себя слой с анизотропией сейсмических скоростей, которую невозможно без ошибок в глубинных построениях описать моделью, используя только изотропные горизонты. Аналогичная, хотя во многом другая ситуация возникает, когда в модель включают пласт с вертикальным градиентом скорости. Мы не будем рассматривать модели, содержащие слои с произвольным распределением каких-либо упругих свойств (пусть и с ограничениями на их вариации), ввиду того, что анализ корректности решения в таком случае принципиально невозможен. Данное утверждение является одним из главных наших тезисов, а также и главной претензией к моделям, использующим популярный на сегодняшний день в томографических задачах “сеточный” подход к описанию сред. Каким же образом можно преодолеть описываемую проблему неединственности решения в анизотропных и градиентных средах? В теории некорректных задач имеется только один возможный ответ. Необходимо привлекать априорную информацию. Но, несмотря на банальность такого ответа, вопрос о том, какую именно, в каком количестве и качестве информацию необходимо использовать для “корректного” решения остаётся довольно осмысленным.

Предположим, что у нас имеются времена прихода волн, отраженных от подошвы некоторого горизонта, зарегистрированные с большой точностью и в максимально доступном, с практической точки зрения, диапазоне удалений на кровле этого горизонта. Но даже в таком “идеальном” случае оказывается, что, на основании всё той же структурной неустойчивости, любой информации будет недостаточно, чтобы одновременно определить параметры пласта и положение его подошвы. В докладе приводятся примеры различных, так называемых «кинематически эквивалентных» моделей, которые имеют различные слои, но при этом с достаточной точностью отображаются в одни и те же времена прихода отраженных волн. На основании этого можно сделать вывод, что для “корректного” решения необходимо знать либо параметры пласта, либо его подошву и вид модели пласта (градиентный, анизотропный, слоистый).

Решение о выборе модели должен принимать геофизик, опираясь на имеющуюся геолого-геофизическую информацию и данные скважинных исследований. Достаточно ли этого? Важно понимать, что мы всегда строим эффективную модель, которая отражает некоторые интегральные характеристики среды; и физический смысл параметров модели, и их связь с реальными физическими свойствами пласта – важная задача интерпретатора, выходящая за рамки компетенции обработки.

Что же в таком случае даёт расширение класса модели пластовых сред на этапе обработки? Прежде всего, речь идёт о возможности выполнять глубинные построения ниже неоднородных или анизотропных пластов. Как мы уже отмечали, для получения единственного решения в расширенном классе моделей необходимо знать либо параметры слоя, либо положение его границы. Очевидно, что второй тип информации, по нашему разумению, является более жизнеспособным. Если опорная граница задана точно, чего никогда не возможно знать наверняка, тогда, при условии отображения решения в наблюдаемые данные, можно утверждать, что построения, выполненные ниже данного слоя, будут верными вне зависимости от того каким образом мы параметризовали данный пласт (градиент, включения). Следует иметь в виду, что вышесказанное утверждение опираются скорее на опыт обработки и многочисленные эксперименты, а не на строгие математические доказательства. Дело с анизотропным пластом обстоит совсем иначе. Здесь очень важным и чувствительным становится параметр наклона оси анизотропии, который, зачастую, игнорируется с целью упрощения обработки (точнее, он объявляется известным). При неправильно выбранной (определенной) оси анизотропии нижележащие построения могут включать существенный пространственный снос. В данном отношении более “безопасным” выбором является ось, ортогональная (или параллельная) подошве слоя, или так называемая STI анизотропия (хотя, если в реальной среде ось наклонена существенно иначе, вышеупомянутый снос не будет учтён, и это неправильно).

Здесь уместно напомнить о классификации трансверсально изотропных сред: VTI, HTI, TTI и STI. Если подошва пласта неплоская, то среда STI не может называться, строго говоря, анизотропной – направление оси переменное, чего не может быть в однородной среде. Это, впрочем, не очень существенно, когда параметры меняются плавно. Обычное противоречие локально однородных сред. Другое дело, что в последние годы все больше обсуждаются более сложные модели анизотропии с несколькими осями симметрии (например, орторомбические среды). Обычно об этом говорят в контексте задач многоволновой сейсморазведки, очевидно, осознавая, что при обычных измерениях информации для идентификации таких сред недостаточно. И даже в многоволновой сейсморазведке предполагается, что среда устроена просто (обычно квзигоризонтально).

Дело в том, что эффекты сложного строения среды, которые приводят к анизотропии параметров, описывающих временные поля, трудно отличить от анизотропии параметров среды. По сути, именно об этой задаче и идёт речь в докладе. При этом выделение класса квазигоризонтальных сред для изучения более общих моделей анизотропии представляется малоперспективным в силу упомянутого лингвистического равенства.

В работе мы обсуждаем возможности использования анизотропных и градиентных моделей пластов прежде всего с точки зрения обработки. В самом деле, расширяя класс пластовых моделей, геофизик получает удобный инструмент для удовлетворения всем имеющимся у него в распоряжении априорным данным. Обсуждая неединственность решений, мы обычно говорим, что получение качественного изображения, которое удовлетворительно согласуется со всеми имеющимися измерениями, недостаточно для утверждения о его достоверности. Между тем, это зачастую столь непростая задача, что, решив её, мы склонны полученному решению доверять. Так вот, решение этой задачи существенно упрощается, когда появляются новые инструменты в описании типа пластов. Так, введение в модель вертикального градиента скорости позволяет описывать среду меньшим количеством слоёв, что показывается в докладе. При этом любое расширение класса модели позволяет “аргументированно” учесть невязки между обработанными данными и результатами скважинных измерений.

Кроме необходимой априорной информации нельзя игнорировать вопрос об обеспеченности обработки необходимыми сейсмическими данными. Если нет наблюдений на больших удалениях источник/приемник, данные редкие и нерегулярные, нет достаточной азимутальности наблюдений, то количество кинематически эквивалентных сред, отображающихся в эти обедненные данные, естественно, возрастает. Получение качественных изображений в сложных сейсмогеологических условиях становится настолько затруднительным, что вопросы о корректности построений отходят на второй план. Обработка вынуждена «досочинять» отсутствующие наблюдения (способы интерполяции и экстраполяции данных или их «регуляризации»). На этом этапе также (зачастую неявно) используется информация о предполагаемом строении среды. В этих случаях определение параметров анизотропии, конечно, может быть полезно лишь в «косметических» целях, как, впрочем, и учёт градиента (хотя и такими возможностями пренебрегать не стоит).

В докладе будут представлены новые алгоритмы оценивания параметров градиента и анизотропии, специально разработанные для технологии послойного построения глубинно-скоростной модели среды. Исходные данные – времена прихода отражённых волн – оцениваются на основе кинематико-динамического преобразования в глубинной области. Алгоритмы рассчитаны на работу с данными плотных широкоазимутальных наблюдений, реализованы на кластерах и обеспечивают возможность многократного пересчета с подбором наилучших параметров. Будут показаны модельные примеры, иллюстрирующие идеи и методологические особенности подходов, и реальные материалы, демонстрирующие их эффективность.

Обсуждаются особенности алгоритмов при задании разного рода априорной информации. Надо сказать, что работа с параметрами вертикального градиента и анизотропии существенно различны, и эти особенности обсуждаются и иллюстрируются в докладе на конкретных примерах.

Возможность привлечения динамических параметров для преодоления неоднозначности решения остаётся под вопросом. Дело в том, что получение их достоверных оценок

возможно тогда, когда построена правильная глубинно-скоростная модель среды. При наличии такой модели появляется смысл решения прямых динамических задач, и на этом этапе интерпретации необходимо решать тензорное волновое уравнение для трёхмерной среды. В этом направлении сейсморазведка только начинает развиваться, поэтому можно надеяться, что решение прямой динамической задачи даст ту дополнительную информацию, которая позволит устранить неоднозначность в решении и различать модели сред, эквивалентные в кинематическом отношении. Тогда представленный в докладе инструментарий становится не только средством обработки, но и инструментом для верификации решений.

Список литературы

1. Глоговский В.М., Лангман С.Л. Свойства решения обратной кинематической задачи сейсморазведки. // Технологии сейсморазведки, 1/2009 – Москва, 2009 – 10 с.
2. Лангман С.Л., Анисимов Р.Г. Построение пластовой глубинно-скоростной модели в сложных средах // Тезисы конференции «Тюмень-2015»
3. 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.
4. Анисимов Р.Г., Лангман С. Л., Силаенков О.А., Фиников Д.Б., Шалашников А.В. Возможности расширения класса пластовых моделей при решении обратной кинематической задачи // 12-й семинар «Синтез современных геотехнологий – ключ к объективному познанию недр»
5. Анисимов Р.Г. Восстановление параметров анизотропии в локально однородной пластовой модели по кинематике отражённых волн // Тезисы конференции «Геомодель-2014»