

Многодисциплинарная геонаука

Роль автоматических методов в улучшении структурной интерпретации Role of automated techniques in improving volume-based structural interpretation

Tony Marsh, John Tyrrell и Laura Evins, Paradigm обсуждают преимущества автоматизированных процессов в структурной интерпретации сейсмических данных, выдвигающих новые стандарты по скорости и точности построения трехмерной модели для преобразования время/глубина и описания резервуара.

Структурная интерпретация сейсмических данных развивалась в течение многих лет, пройдя путь от чисто линейной интерпретации до приобретения статуса более автоматизированного метода, увеличивающего точность и уменьшающего время работы. В этой статье рассматривается развитие интерпретации, начиная с ручных методов, проходя затем полуавтоматические к более новым полностью автоматизированным методам интерпретации. В центре внимания будут стоять следующие вопросы: почему эти изменения произошли, какие методологии различных подходов использовались и какие существуют потенциальные опасности, связанные с ними. Особой акцент будет сделан на том, как новые автоматические технологии интерпретации, частично связанные с интерпретацией разломов, могут существенно улучшить точность и изученность геологической модели, минимизируя при этом дорогостоящее время интерпретации. В действительности в процесс полного цикла интерпретации вовлекается все три подхода, используя при этом достоинства каждого для ускорения работы для более достоверной интерпретации, что помогает принимать взвешенные решения о бурении скважин.

Практические примеры и последовательность выполняемых действий позволит читателю понять весь путь развития от неинтерпретируемых кубов амплитуд, далее через ряд автоматизированных методов и, наконец, к построению точной трехмерной модели, которая может использоваться для преобразования время/глубина или характеристики резервуара.

Традиционная/ручная интерпретация

При обсуждении традиционной или ручной интерпретации разломов и горизонтов упоминается стандартная интерпретация «профиль за профилем», в которой интерпретатор пикирует определенные инлайны, обычно с выбранным шагом (например, каждый 10 инлайн). Внутри 3D съемки могут также быть заданы произвольные сечения, позволяющие интерпретатору получить более качественное изображение какого-либо объекта или взглянуть на корреляцию сейсмического разреза и скважины. Пикировка временных слайсов также является частью процесса интерпретации и особенно важна при интерпретации разломов.

Каждый из этих методов: инлайнов/кросслайнов, произвольных линий и интерпретация временных слайсов - страдает от своих собственных недостатков. Основная проблема заключается в работе с шагом интерпретации. Во время начальной структурной интерпретации внутри 3D объема, интерпретатор как правило пикирует данные с некоторым интервалом. Обычно шаг интерпретации выбирается произвольно с единственным намерением получить достаточно информации для детального описания целевых объектов.

С размером 3D съемок и объединенных «мега-съемок», нуждающихся в настоящее время в интерпретации, объем данных ведет к грубой дискретизации при начальной интерпретации. В зависимости от масштаба картируемых структур выбранный шаг интерпретации может оказывать значительное влияние на точность интерпретации и понимания актуальной структурной картины.

Вдоль любого вертикального разреза разломы по существу более сложны для автотрекинга, чем горизонты и почти всегда требуют ручную поточечную пикировку. В связи с этим картирование разломов проводится исключительно с использованием традиционных методов интерпретации вертикальных сейсмических разрезов и горизонтальных временных слайсов.

Проблема не отвечающей требованиям дискретизации при ручной интерпретации является наиболее ярко выраженной при интерпретации разломов. При пикировке разломов по инлайнам или кросслайнам очень трудно точно проинтерпретировать разломы, которые пересекают профиль под острым углом. В зависимости от степени остроты угла становится не просто сложно его пикировать, но и даже точно определить геометрию разлома на данном профиле (Рисунок 1). Шаг интерпретации также влияет на возможность интерпретации пересечения разломов или получения полной картины сложного поведения разломов, встречающегося, к примеру, в зонах сильной трещиноватости.

Использование произвольных профилей помогает решить проблему острых углов в некоторых случаях, но может также и показать свою несостоятельность. К примеру, в случае криволинейных сбросов произвольные профили должны непрерывно подбираться таким образом, чтобы оптимизировать интерпретацию разломов.

Интерпретация разломов по временным слайсам используется при определении как их длины и ориентации, так и кривизны. Выделение разломов на временных слайсах может быть улучшено, если при этом использовать кубы атрибутов разломов, таких как когерентность. Возможность определять разломы с очень маленьким углом падения, не принимая во внимание менее значимую часть листрических разломов или взбросов в режиме сжатия, часто бывает ограничена. Вновь повторимся, что не отвечающий требованиям шаг интерпретации может привести к ошибочным выводам. Вполне возможно упустить важные детали разломов даже при совместном использовании временных слайсов и вертикальных разрезов.

Интерпретация горизонтов, использующая традиционную пикировку по инлайнам/кросслайнам, страдает от похожих потенциальных проблем, которые упоминались при обсуждении интерпретации разломов. Вдоль любого 2D профиля интерпретатор производит детальную пикировку и использованием инструментов автотрекинга.

Многодисциплинарная геонаука

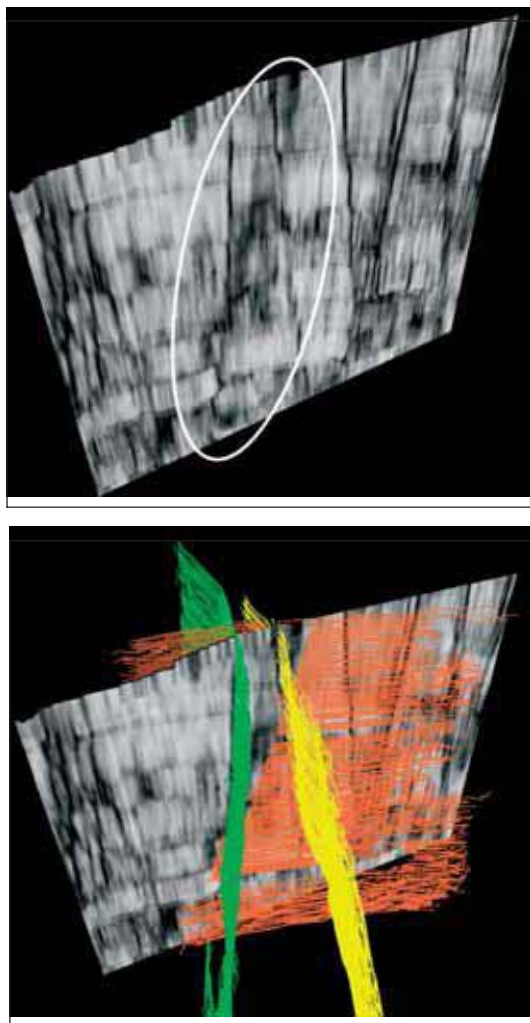


Рисунок 1 а) Разрез когерентности, демонстрирующий сложности, возникающие при интерпретации разломов, пересекающихся под острым углом. б) Автоматически пропикированные разломы улавливают сложность пикирования на пересечении без изменения дискретизации.

Хотя интерпретация выполняется не для каждого профиля, шаг интерпретации является ключевым условием удовлетворительного выделения горизонтов. Просчет всего лишь в одном профиле может повлечь за собой целый ряд ошибок для нескольких профилей.

Интерпретируемая сетка профилей для данного горизонта, обрывающаяся на пересечениях с разломами, обеспечивает изображение в виде карты, которое позволяет интерпретатору использовать пропуски в разломах для соединения полигонов разломов в целях картирования. При слишком редкой дискретизации, легко пропустить или неверно проинтерпретировать отдельные разломы, их реальную длину, и их пересечения с другими разломами.

Полуавтоматическая интерпретация

На больших объемах данных и лучших расчетных мощностях инструменты интерпретации показывают более качественные результаты, увеличивая скорость ручной интерпретации и приближая ее к реальности. Эти технологии включают в себя билинейный метод интерполяции, использование начальных линий в качестве исходных для различных автоматических процедур пикирования,

автоматическое разбиение на мозаику поверхностей разломов и горизонтов во время интерпретации. Хотя набор этих инструментов увеличивают скорость, существует несколько особенностей, связанных с ручной интерпретацией. Каждый из этих методов очень чувствителен к ошибкам дискретизации, острым углам, пересечениям. Билинейная интерполяция горизонтов лишь производит интерполяцию значений между пропикированными начальными линиями и может потерпеть неудачу при интерпретации структур, ограниченных разломами, или небольших геологических изменений, если дискретизация слишком грубая. Процедура интерпретации может быть улучшена, если интерпретатор способен зафиксировать ось синфазности (минимум, максимум, переход через ноль и т.д.) во время процесса интерполяции, однако поведение в области пересечения разломов все еще может представлять проблему (Рисунок 2а). То же самое справедливо для автоматической пикировки, использующей в качестве входных данных начальные линии. Невязки и просчеты в исходных начальных линиях приводят к построению ложных поверхностей, исправление которых занимает очень много времени (Рисунок 2б). Хотя использование автоматического мозаичного разбиения для построения сплошных поверхностей дает очень ценную информацию, перед ней стоят те же проблемы дискретизации и проблемы точности между пропикированными линиями. Автоматическое двумерное разбиение, использующееся в приложениях 3D визуализации, может уменьшить ошибки, связанные с шагом дискретизации. К примеру, при интерпретации разломов интерпретатор меняет шаг дискретизации в зависимости от изменения характера и ориентации разлома, вместо того, чтобы работать с постоянным шагом интерпретации (Рисунок 2с).

Автоматическая интерпретация

Интерпретация разломов

На сегодняшний день доступны методы интерпретации, которые используют в работе сейсмические кубы без необходимости вмешательства интерпретатора в начале работы. Кроме того, они имеют ряд преимуществ перед ручной или полуавтоматической интерпретацией. Первое очевидное преимущество заключается в сокращении времени полного цикла интерпретации. Второе, и возможно более важное, - увеличение точности и детальности интерпретации. Возможность быстро и точно строить структурные модели в сложных геологических условиях иногда позволяет уменьшить неопределенность и сделать более надежными принимаемые решения.

Автоматическое выделение точных поверхностей разлома достигается с помощью таких методов, как Automatic Fault Extraction (AFE). Эта технология первоначально была разработана Arco и позже подарена BP Центру Визуализации в Университете Колорадо в Болдере. Она состоит из нескольких этапов с возможностью контроля качества результата каждого шага перед дальнейшей работой. Главной целью является поиск плоскости смещения в объеме и выполнение детального пикирования и выделения содержащихся в ней разломов. Так как разделение разломов от другой информации (сигнала и шума) выполняется внутри куба амплитуд, интерпретатор должен отслеживать все нарушения неоднородности в объеме. Куб однородности получается из куба амплитуд с помощью Куба Когерентности, являющегося входным параметром для AFE.

Многодисциплинарная геонаука

Куб Когерентности является показателем похожести/непохожести куба сейсмических амплитуд. Локальная когерентность рассчитывается для каждого отсчета с помощью предварительно заданной 3D апертуры (окна анализа), т.е. в расчет берется одно и то же количество отсчетов на центральной и смежных трассах, количество которых задается пользователем. Высокая когерентность встречается в тех местах, где трассы похожи друг на друга; соответственно, низкая – в местах сильного различия между трассами. Низкие значения (или нарушения непрерывности) могут быть вызваны структурной неоднородностью и такой, к примеру, как область разлома, поднятия или опускания, стратиграфического несогласия (налегание, прилегание, каналы) и так далее. Рассчитанная неоднородность может так же являться артефактами сейсмических измерений и обработки или низкокачественного сейсмического изображения. Задача автоматической интерпретации разломов заключается в выделении разломов, вызывающих неоднородности.

Методы обработки, использующие куб сейсмических амплитуд, могут улучшить расчеты когерентности.

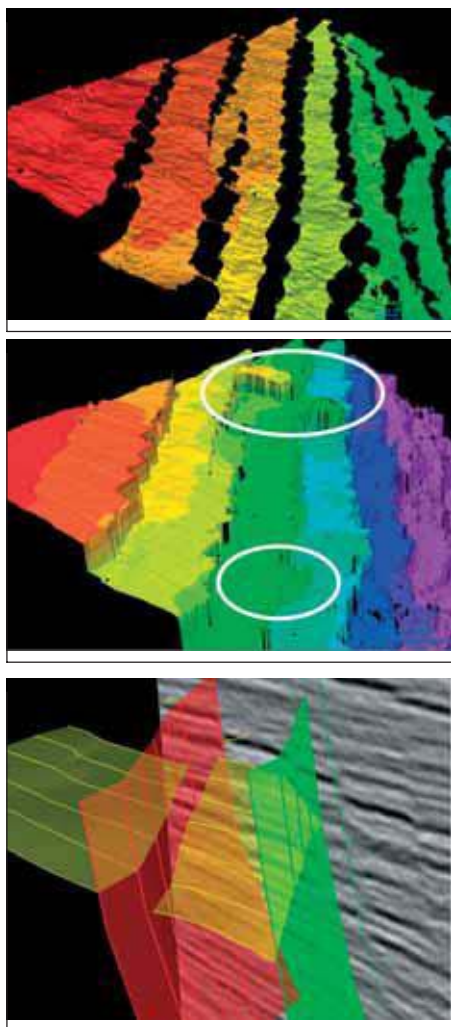


Рисунок 2 Примеры а) интерполяции разрывов, б) автоматическая пикировка на основе начальных линий (обратите внимание на ошибки интерпретации, вызванные неверной пикировкой), в) автоматическое двумерное разбиение горизонта и разлома.

Так одномерная частотная фильтрация и амплитудное масштабирование как правило не эффективны, хотя другие методы, такие как fхu-деконволюция, восстановление частот по скважинам и fхu фильтрация, уменьшающие артефакты линейных измерений, часто используются для улучшения результатов расчета когерентности.

Выбор оптимальных параметров для процедуры расчета когерентности является ключевым моментом для работы с объемами, где должно быть проведено автоматическое выделение разломов. Неоднородности, вызванные любым другим механизмом, нежели действием разломов, являются шумом, который должен быть устранен. Данные содержат шум простирания, стратиграфических шум, шум измерений/обработки. Шум простирания проявляется при расчете когерентности, сделанном поперек простирания объектов; к примеру, когерентность для наклонной оси синфазности рассчитывается при постоянном времени. Это дает низкие значения когерентности, которые очень трудно отделить от неоднородностей, вызванных разломами. Решением этой проблемы является поиск локального простирания по нескольким средним, и затем проведения расчета когерентности с учетом найденного простирания. В Кубе Когерентности используется набор пробных простираний, которые проходят через центральную 3D апертуру. Предполагается, что простирание, которое дает максимальное значение семблansa, наиболее соответствует истинному, и используется программой для дальнейших расчетов. Увеличение временного окна также используется для подавления эффекта шума простирания.

Выделение различных стратиграфических особенностей часто является задачей обработки Куба Когерентности, хотя для с точки зрения автоматического выделения разломов эта информация считается шумом. Основные стратиграфические особенности относительно малозаметны во временной последовательности. Самый общий метод уменьшения шума – увеличение ширины окна анализа. Кроме того, это позволяет понизить уровень случайного шума.

Шум измерений и обработки иногда можно подавить, правильно выбирая трассы внутри окна анализа. К примеру, сильный артефакт, повторяющийся от профиля к профилю, можно подавить, если при расчетах использовать больше трасс с инлайнов и меньше с прилегающих профилей. Увеличение числа трасс внутри пространственной апертуры также позволяет частично подавить случайный шум. Здесь, как и в любом методе сейсмической обработки, существуют свои подводные камни. Множество способов отображения когерентности показывают сегментированные разломы на вертикальном разрезе. На это есть несколько причин: плохое сейсмическое изображение, донные кратные волны, которые не могут быть корректно обработаны миграцией, сильные неоднородности, измеренные в местах с сильной отражающей способностью, но слабые или несуществующие неоднородности в местах с низкой отражательной способностью. Временное окно, которое является слишком длинным, может усугубить проблему. Другой особенностью является тот факт, что когерентность подчеркивает артефакты измерений, и, редко удастся полностью подавить эти артефакты, применяя любые метод обработки, включая Куб Когерентности. Эти подводные камни будут подробно рассмотрены при описании процедуры AFE, изложенном ниже.

Многодисциплинарная геонаука

Процедура AFE позволяет увеличить отношение сигнал/шум внутри куба когерентности и других способах представления неоднородности. На каждом временном (или глубинном) слайсе выделяются контуры векторов разломов. Затем они автоматически привязываются и коррелируются в отдельные разломы. Интерпретатор по желанию может задать минимальный размер разлома и диапазон изменения азимута для выделения различных режимов деформации в сложных областях. Как и любой другой метод интерпретации, AFE не обделен проблемами. При работе с ним очень важным является качество входных данных. Если разломы не могут быть обнаружены или само сейсмическое изображение невысокого качества, то результат, возможно, также будет неудовлетворительным. Другая особенность заключается в том, что выходные разломы, полученные после привязки и корреляции отдельных векторов, могут потребовать дополнительной редакции перед построением по ним финальной поверхности разломов.

Интерпретация горизонтов

Использование 3D «протягивания» горизонта несет огромное преимущество по сравнению с традиционными методами интерпретации. Повторяясь, напомним, что наиболее существенное преимущество – скорость работы. Поверхность, интерпретация которой, включающая пикирование сетки инлайнов и кросслайнов и отдельных профилей, затыгивалась на часы или дни, может быть отработана за считанные минуты с помощью 3D «протягивания» горизонта. Другим достоинством этого метода является более высокая точность интерпретации. И третьим очень важным

преимущество, которое проявляется при картировании или построении модели, – более ломанные границы разлома (Рисунок 3).

Объединение результатов автоматической интерпретации горизонтов и разломов позволяет быстро создать точную структурную модель и карту качества для каждого горизонта. Последовательность действий, описанная ниже, объясняет шаги, необходимые для осуществления процесса интерпретации куба амплитуд с помощью автоматические выделенных разломов и горизонтов, контроля его качества, редакции фаз и, наконец, создание точной модели среды.

Пример последовательности действий

Массив данных, используемый в этом примере, представляет собой объемную геологическую модель среды, содержащую большое число разломов. Первым шагом для интерпретации этого объема с помощью 3D визуализации будет поиск и просмотр инлайнов, кросслайнов, выборочных профилей, временных слайсов и т.д. Инструменты 3D визуализации позволяют проводить реконструкцию данных с большой скоростью, что дает интерпретатору возможность составить полное представление о геологической модели и геометрии разломов.

Следующим шагом будет формирование куба когерентности. Как было упомянуто выше, возможно перед этим придется выполнить ряд процедур обработки таких, как fхu деконволюция или фильтрация, что позволит подготовить данные для создания куба когерентности. После этого он будет использоваться как входной параметр процедуры AFE. Однако необходимо помнить, что наиболее важная задача – поиск оптимальных параметров для создания куба когерентности, которое позволит отделить сейсмический сигнал, полученный от разломов, от всего остального, считающегося шумом. Когерентность может быть рассчитана между горизонтами для максимизации разрешения в целевом интервале.

Куб когерентности используется как исходная информация для автоматического выделения разломов. Этот процесс включает в себя ряд шагов для увеличения отношения сигнал/шум и повышения разрешающей способности в интервале, содержащем разломы. Наконец, финальные контуры разломов на каждом временном слайсе используются для создания векторов разломов на нем. Эти вектора со всех временных слайсов автоматически связываются и коррелируются, после чего происходит разделение на отдельные разломы. В данном наборе данных две различные системы ориентации разломов были разделены на основании фильтрации по азимутам.

Вновь созданные разломы проходят контроль качества с помощью 3D визуализации и редактирования, после чего отображаются в 3D пространстве до того, как на их основе будут созданы поверхности разломов. Интерпретация и редактирование в 3D позволяет отображать все относящиеся к делу типы данных: в нашем случае, сейсмика и интерпретация с возможностью вращать и регулировать разломы, упрощая процесс редактирования.

Опорные горизонты быстро создаются с помощью автоматической процедуры «протягивания» начальных точек с ограничивающей опцией автоматически пропикированных разломов. Параметры могут быть установлены для контроля окна в целевом интервале и во время процедуры «протягивания». Сильные отражатели будут легко откартированы по всему объему по нескольким или даже одной точке. Более слабые отражающие горизонты или сильно изменяющие вдоль профиля нуждаются в дополнительной работе, тем не менее, могут быть обнаружены за меньшее время по сравнению с ручной или полуавтоматической интерпретацией. Ручная интерпретация вдоль 2D профилей может быть использована

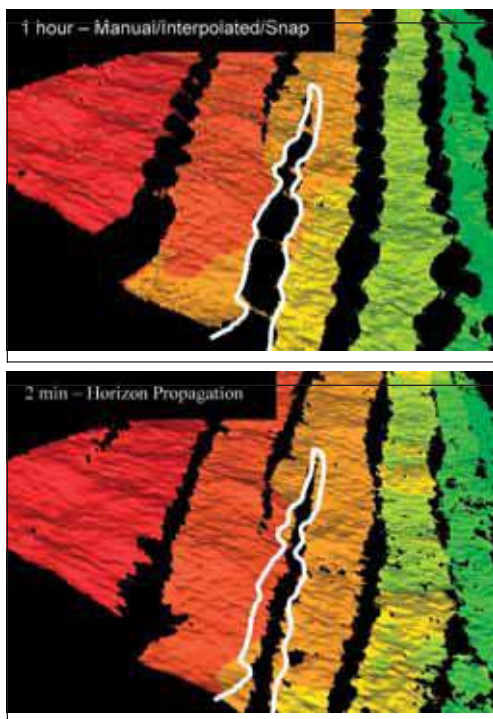


Рисунок 3 а) Ручная интерпретация с начальными линиями, интерполированными с помощью snap. Время интерпретации = приблизительно 1 час. б) «Протянутый» горизонт. Время интерпретации = приблизительно 2 минуты. Обратите внимание, на более ломанные границы разлома.

Многодисциплинарная геонаука

для «протягивания» горизонтов в областях с неудовлетворительным качеством данных. Существующие разломы или горизонты могут использоваться как ограничители при «протягивании».

Используя автоматически пропикированные разломы и горизонты, для каждого горизонта выделяется система разломов. Если создание сетки разломов выполнено автоматически, то набор линейных разломов или полигоны сдвига создаются для каждого горизонта. Интерпретатор может использовать все разломы, которые пересекают данный горизонт или только выбранные, которое удовлетворяют определенным условиям (к примеру, только основные разломы, смещение по которым превышает наперед заданное значение). Системы разломов могут быть использованы для создания точной структурной карты для каждой поверхности.

На данном этапе требования к построению точной структурной модели близки к выполнению. Разломы должны быть отделены друг от друга, а каждый горизонт не должен содержать смещений, вызванных разломами. Эта процедура может быть успешно выполнена при ручной интерпретации и в зависимости от сложности и расчлененности может занимать значительное время. К счастью доступны инструменты, которые автоматизируют большинство процессов, сокращая общая время работы, увеличивая точность и качество окончательной модели.

Построенная модель разломов и горизонтов используется для создания трехмерной модели. В дальнейшем она может быть разбита на части для более детального просмотра или сравнения различных частей. Каждая составляющая этой модели может быть дополнена различной информацией, включающей куб скоростей для преобразования время/глубина или петрофизическими свойствами для описания резервуара. Использование трехмерная модель очень широко. Сюда относится структурная реставрация и регулирование, преобразование время/глубина и детальные расчеты свойств.

В среде 3D визуализации заключительным шагом является подтверждение истинности модели контрольными данными. Так как интерпретатор может просматривать модель или любую ее часть в виде кубов амплитуды или

когерентности и одновременно проводить интерпретацию разломов и горизонтов, очень быстро устанавливается правильность модели.

Заключение

Данная статья описывает методы автоматической интерпретации. Уже в течение некоторого времени автоматическое пикирование горизонта является частью основного потока процесса интерпретации, однако методы автоматической интерпретации разломов до сих пор в нем не представлены. Новые методы, такие как AFE вполне могут изменить представление интерпретаторов об уменьшении неопределенности, связанной с шагом дискретизации и ориентацией. Тем же способом, что и автоматическая пикировка горизонта дает труднополучаемую информацию об осадочных процессах, детальная геометрия автоматически пропикированных поверхностей разломов дает информацию о развитии разломов и местах их пересечений. Говоря общими словами, сейсмической интерпретации необходим комплексный подход, включающий автоматические, полуавтоматические и ручные методы.

Процесс построения трехмерной модели во время интерпретации дает геофизикам возможность проверять правильность структурной модели на ранних этапах интерпретации. Найденные во время построения модели ошибки легко устраняются, и вновь скорректированная модель используется для процедур автоматической пикировки и интерактивной редакции поверхностей. Кроме того, автоматически пропикированные горизонты и разломы, используемые для создания трехмерной модели, обеспечивают максимально возможную степень точности при выделении ячеек модели за кратчайшее время.

Автоматика – это не просто сокращение времени работы. Автоматизированные процессы также способствуют улучшению точности интерпретации, устраняя ее предвзятость. Результатом является более точная интерпретация и финальная трехмерная модель, обладающая меньшей неопределенностью и риском, связанным с разведкой и разработкой.

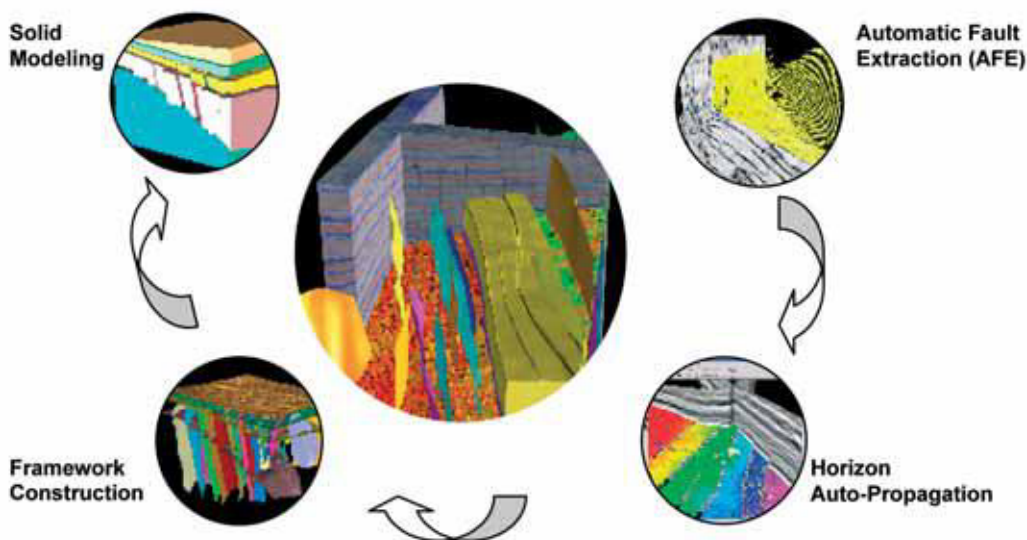


Рисунок 4 Автоматическая структурная интерпретация и план построения модели.