

Тема 8. *Интерпретация
сейсморазведочных данных*

6 часов, лекции № 25 - № 27

Лекция № 25

Кинематическая интерпретация

Геологические задачи ставящиеся перед сейсморазведкой

Все существующее многообразие ставящихся перед сейсморазведкой задач условно можно свести к *двум группам*.

К *первой группе* можно отнести совокупность задач, связанных с изучением формы и местоположения в пространстве различных геологических и физических образований в *изучаемой части геологической среды*. Эту группу задач сейчас принято называть *структурными задачами сейсморазведки, или задачами по получению волновых сейсмических изображений геологической среды*.

Ко *второй группе* принято относить задачи, связанные с изучением характера распределения различных *физических* и *фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС)* в некоторой области среды (резервуара), где предполагается наличие залежей углеводородов.

Кинематическая интерпретация

Кинематическая интерпретация решает первую группу задач, связанных с изучением формы и местоположения в пространстве различных геологических и физических образований в *изучаемой части геологической среды*. Эту группу задач сейчас принято называть *структурными задачами сейсморазведки, или задачами по получению волновых сейсмических изображений геологической среды*.

Кинематическая интерпретация это традиционная задача сейсморазведки и выполняется она всегда. Материалам для неё, при *съёмках по технологии 3D*, служат результаты обработки наблюдений площадных съёмок - сейсмические изображения в виде волновых кубов, вертикальных разрезов, горизонтальных срезов.

При *съёмках по технологии 2D* исходными материалами, которые должны быть истолкованы, являются временные и глубинные разрезы.

На волновых картинах интерпретатор с помощью специальных компьютерных программ, снабженных разнообразными средствами визуализации, обнаруживает и прослеживает полезные волны. В результате он создает *толстослоистую структурно-скоростную модель исследуемой среды*, т. е. объемную или плоскую картину геологических объектов в сейсмическом представлении - осадочных напластований, складчатых образований, разрывных нарушений, локальных неоднородностей и т. п.

Прослеживание и стратификация сейсмических границ

Ключевая операция при интерпретации сейсмической волновой картины это *корреляция полезных волн*.

Корреляций волн называют их *выявление, отождествление и прослеживание* на сейсмической волновой картине. Обычно корреляцию проводят по *двумерным волновым картинам* - сейсмограммам или динамическим разрезам. Корреляцию в объеме сейсмического куба выполняют по его последовательным вертикальным сечениям - продольным и поперечным, поскольку непосредственный визуальный анализ трехмерного волнового поля затруднителен.

Надежную корреляцию волн можно обеспечить только при достаточно высоком отношении *сигнал/помеха*, когда амплитуды полезных сигналов превышают помеху в **2 – 3 раза**.

Наблюдать момент прихода волны (вступление) обычно не удастся из-за помех, поэтому обычно выполняют *фазовую корреляцию* волн по их наиболее четким экстремумам.

На сейсмической записи выделяется линия времен данной фазы называемая *осью синфазности*, по существу такая линия изображает *годограф фазы* волны.

Принципы корреляции

Корреляция волны начинается с выделения относящийся к ней *группы колебаний* по следующим признакам:

синфазность колебаний – волна имеет плавные, достаточно протяженные и подобные по форме оси синфазности с одинаковыми кажущимися скоростями;

стабильность формы – на близких трассах сохраняется основные особенности формы волнового импульса;

амплитудная выраженность – волна отделена от предыдущих и последующих колебаний некоторым сравнительно малоамплитудным промежутком.

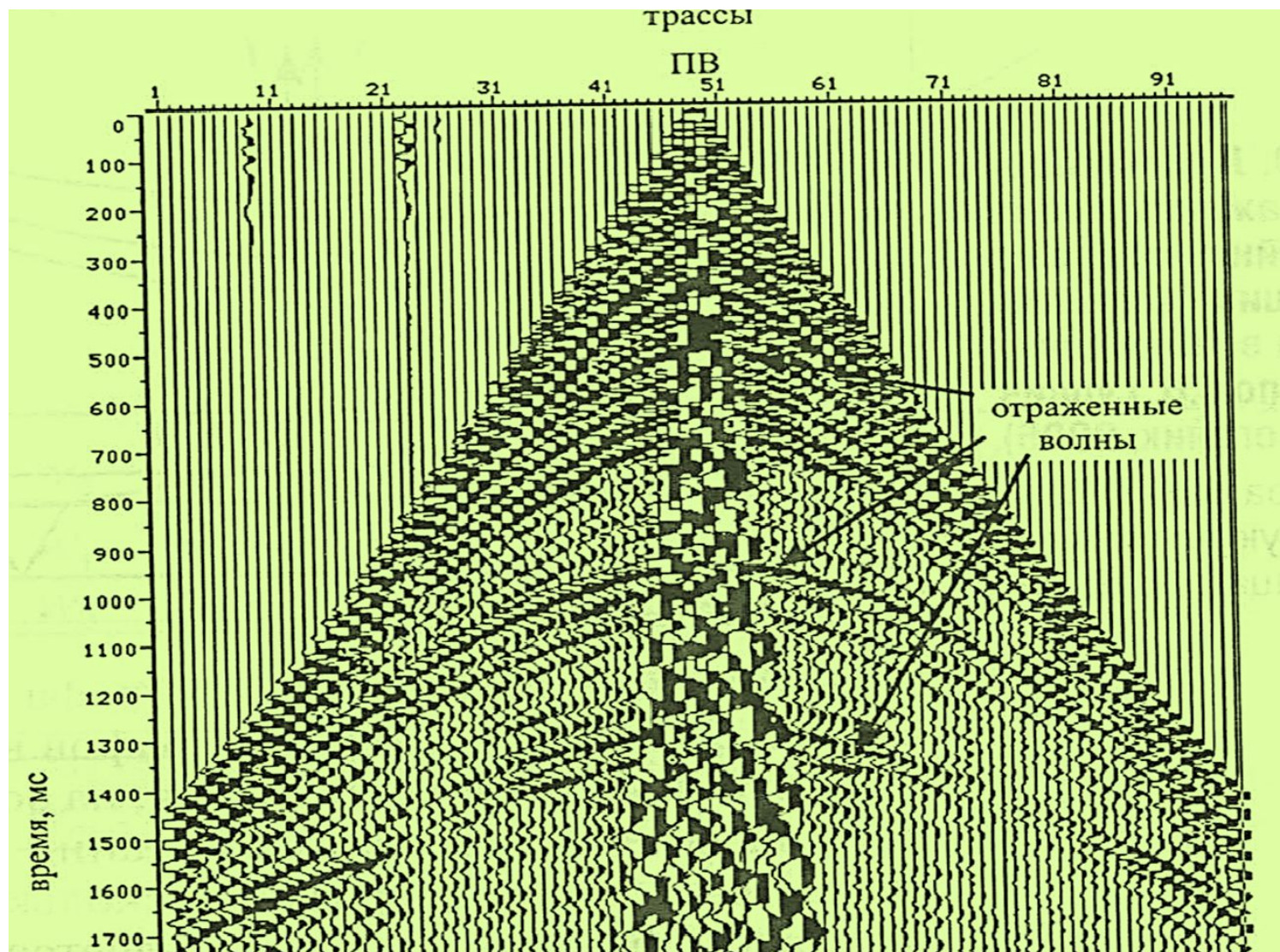
Эти признаки имеют качественный характер и в определенной мере зависят от субъективных оценок интерпретатора, но их совокупность обычно позволяет выделить группы колебаний различных волн.

Корреляция волн в пределах одной сейсмограммы ОТВ называется *позиционной*.

Прослеживание волны от одной сейсмограммы ОТВ к другой называется *транспозиционной* корреляцией.

Наибольшие трудности при корреляции связаны с *интерференцией волн* - наложением колебаний различного происхождения.

Отраженные волны в многослойной среде на сейсмограмме ОПВ



Корреляция отраженных волн

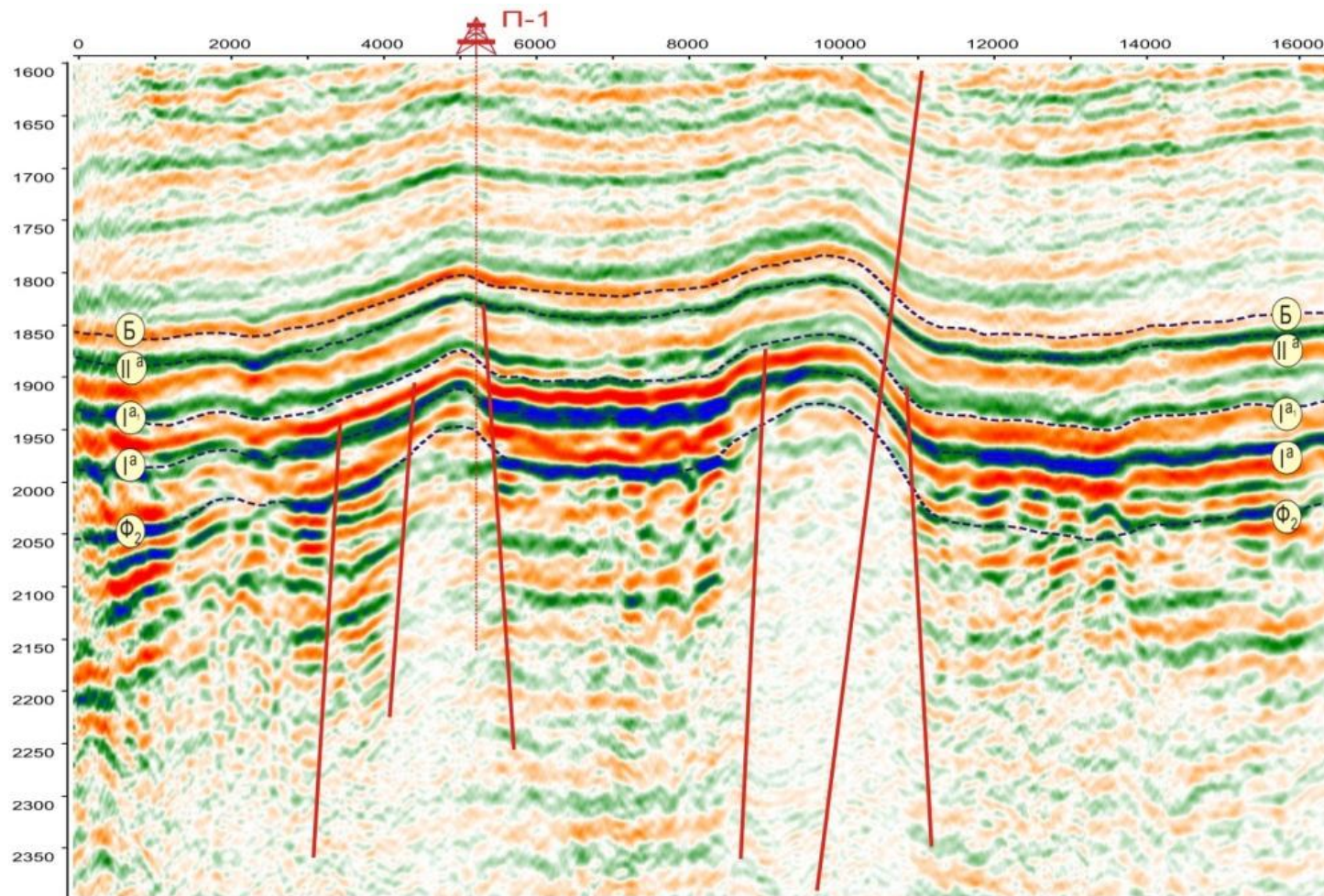
Отраженные волны приходят к дневной поверхности после ***прямых*** и ***преломленных*** в ВЧР волн, поэтому реально проследить только фазы волны т. е. провести ***фазовую корреляцию***. ***Корреляция волн является интерпретационной процедурой***, выполнение и результаты которой зависят от задач, решаемых сейсморазведкой.

Отражения которые устойчиво прослеживаются на всей или большей площади разведки и имеют надежную геологическую привязку называются ***опорными (маркирующими)***. Корреляцию обычно начинают с них, и их правильная корреляция служит основой интерпретации полевых наблюдений.

Многие импульсы, прослеживаемые в ***качестве отдельных волн*** представляют собой устойчивые наложения ряда элементарных отражений от близких границ тонких слоев, образующих пачку. Изменение структуры такой пачки – количества и мощностей составляющих слоев, их фациального состава – изменяется форма сложного отражения, что осложняет корреляцию.

В осадочном разрезе сейсмические границы ***в основном согласны*** с поверхностями ***фациально-литологических напластований***, хотя далеко не всегда. Нередко отражения, формируются на поверхности эрозионных срезов и стратиграфических несогласий: здесь могут контактировать породы, сильно различающиеся по упругим свойствам. Такие хроностратиграфические поверхности иногда пересекают литологические границы, что следует учитывать при корреляции сейсмических горизонтов.

Корреляция сейсмических горизонтов на временном разрезе



Устойчивые отражающие горизонты (например отражающий горизонт II^a - подошва баженовской свиты) прослежены в автоматическом режиме. Горизонт Φ_2 , соответствующий сложной поверхности палеозойского фундамента при прослеживании потребовал вмешательства интерпретатора.

Стратификация сейсмического горизонта

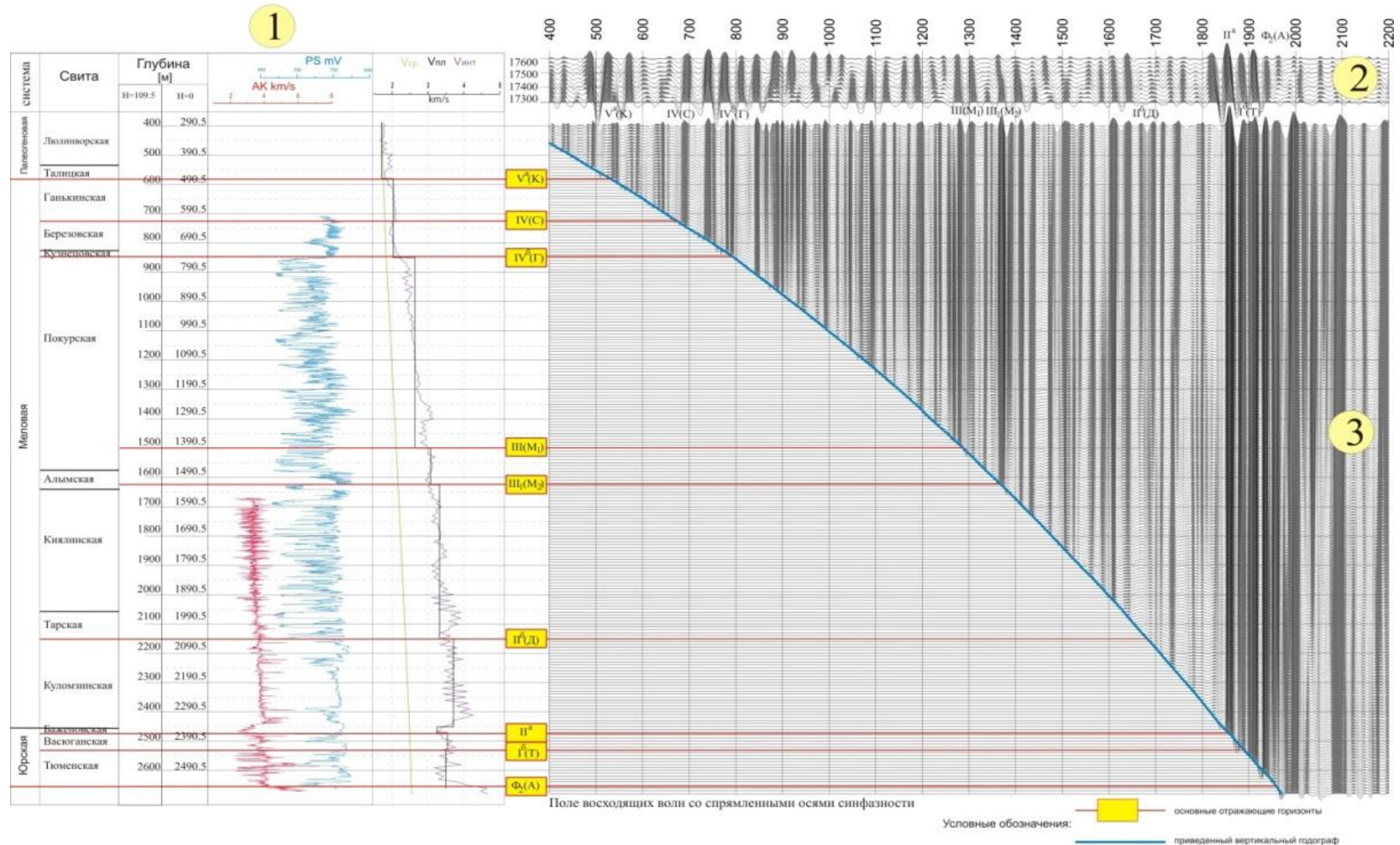
Стратификация сейсмического горизонта означает его привязку к геологической границе известного возраста и определенного литологического состава контактирующих пород.

Стратификацию выполняют на основе сейсмических наблюдений в скважине, расположенной на линии интерпретируемого разреза или в непосредственной близости от нее. *Наиболее полную информацию для стратификации дают материалы ВСП, дополненные данными АК.*

На следующем слайде показано как производится стратиграфическая привязка отражающих границ по монтажу **ВСП** для одной из скважин пробуренной в Томской области,

Для обозначения *опорных отражающих границ* приняты специальные буквенно-цифровые индексы. Следует отметить что, буквенно-цифровые индексы отражающих горизонтов, принятые в различных регионах для одних и тех же отражающих границ, к сожалению, часто различаются, поэтому на слайде в скобках приведены индексы принятые в **ХМАО** и **ЯМАО**.

Стратиграфическая привязка сейсмических отражений по данным ВСП и ГИС



1 - Стратиграфическая разбивка по скважине и данные ГИС,

2 – Фрагмент временного разреза ОГТ проходящего через скважину, данные ВСП

Выявление разрывных нарушений

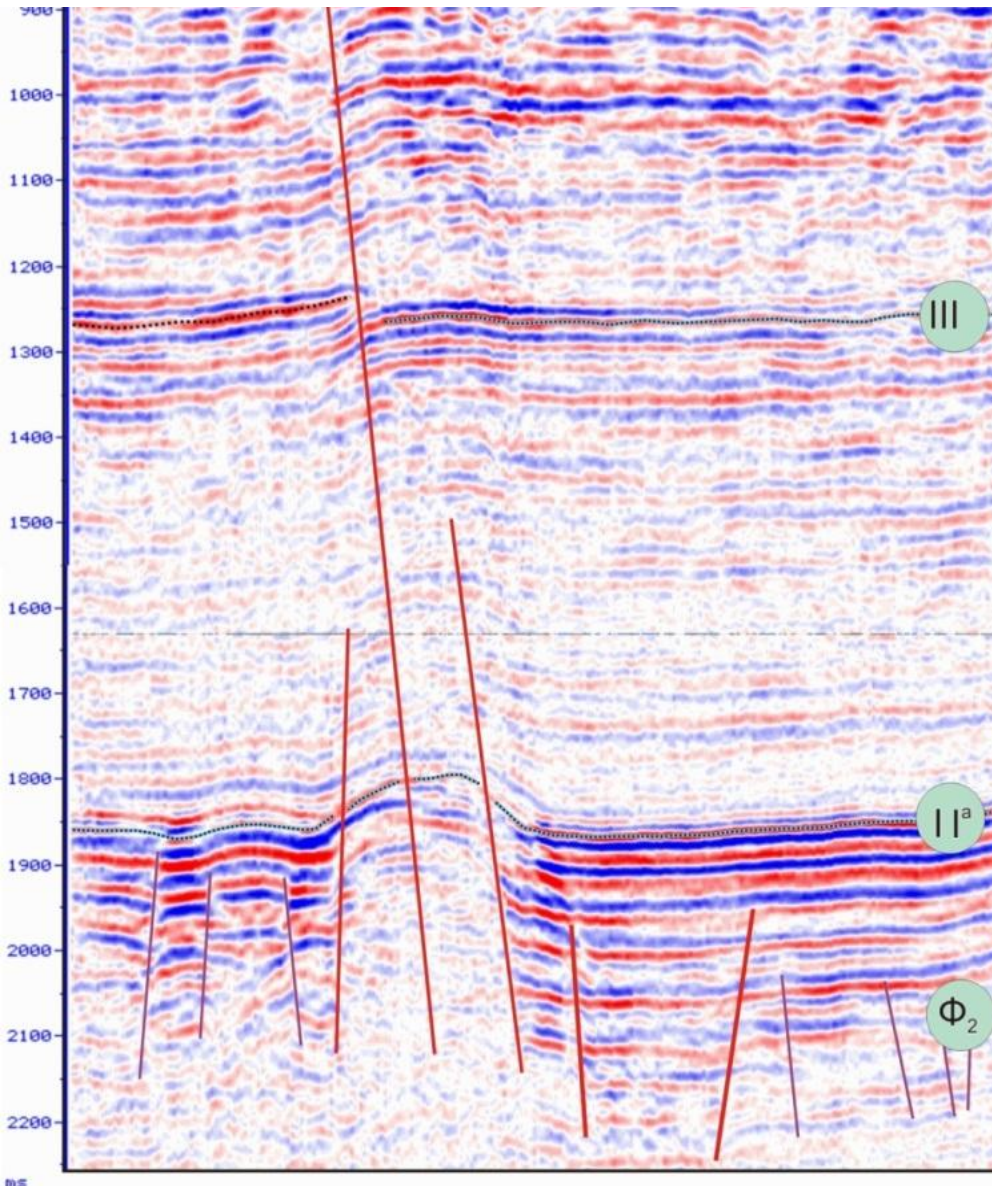
Обнаружение и прослеживание разрывных нарушений в геологической среде - очень важный элемент интерпретации сейсмических данных. С одной стороны, дизъюнктивная тектоника определяет основные черты строения разреза и условия формирования месторождений полезных ископаемых. С другой стороны, эту тектонику трудно исследовать только по скважинным данным, которые обычно немногочисленны и не всегда надежно фиксируют нарушенные зоны.

На сейсмических разрезах разрывные нарушения в большинстве случаев проявляются характерными изменениями кинематических и динамических параметров волновой картины, которые рассматриваются как прямые и косвенные признаки дизъюнктивной тектоники.

Резкие вертикальные сдвиги сейсмических горизонтов, надежно опознаваемых по обе стороны от мест разрыва сплошности горных пород, являются прямыми отображениями дизъюнктивной тектоники.

Разрывные нарушения могут не сопровождаться заметными относительными сдвигами образующихся блоков пород. В таких случаях тектонические зоны проявляются ***потерей прослеживаемости*** пачки сейсмических горизонтов в локальной области крутопадающего характера, которую нельзя объяснить никакими другими причинами,

Отображение на временном разрезе тектонических нарушений



Косвенными признаками дизъюнктивной тектоники служат локальные изменения структуры волнового поля - исчезновение устойчивых горизонтов и появление новых, концентрация дифрагированных волн, вариации амплитудного уровня и спектрального состава колебаний, когда эти изменения не связаны с условиями возбуждения и приема волн.

Далеко не всегда разрывная тектоника, особенно мало амплитудная уверенно устанавливается по сейсмическим данным. Поэтому нарушения следует наносить на разрез с осторожностью, учитывая материалы геологической съемки, бурения и данные других геофизических методов.

Составление и анализ сейсмических карт и схем

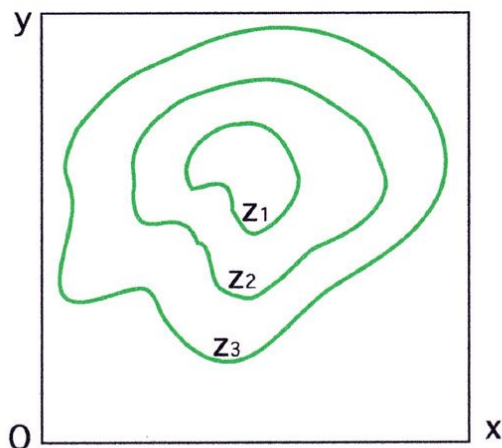
Основным результатом площадных съемок являются структурные карты сейсмических горизонтов, которые изображают пространственные формы исследуемых элементов геологической среды - поверхностей напластования, эрозионных срезов, стратиграфических несогласий и др.

Построение структурных карт, как и других карт, выполняют с помощью специальных программ компьютерного обеспечения интерпретации сейсморазведочных данных.

Исходной информацией служат пространственные ***координаты сейсмических горизонтов, установленные при их корреляции*** в объеме мигрированного куба 3D сейсморазведки или в плоскости мигрированных разрезов по сети профилей 2D сейсморазведки.

Эти данные подвергаются двумерному сглаживанию, в результате которого в ***узлах равномерной площадной сети определяется достаточно гладкая аппроксимирующая поверхность***.

Принцип построения структурной карты

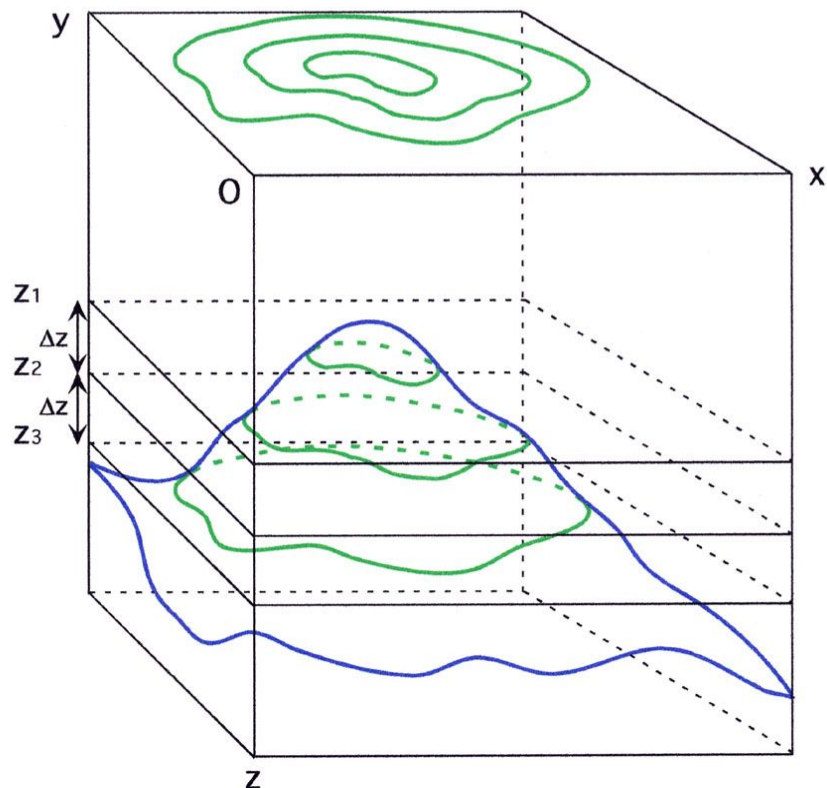


Структурная карта изображает на плане рельеф $Z(x,y)$ сейсмического горизонта в изолиниях и (или) цветовой шкале равных глубин.

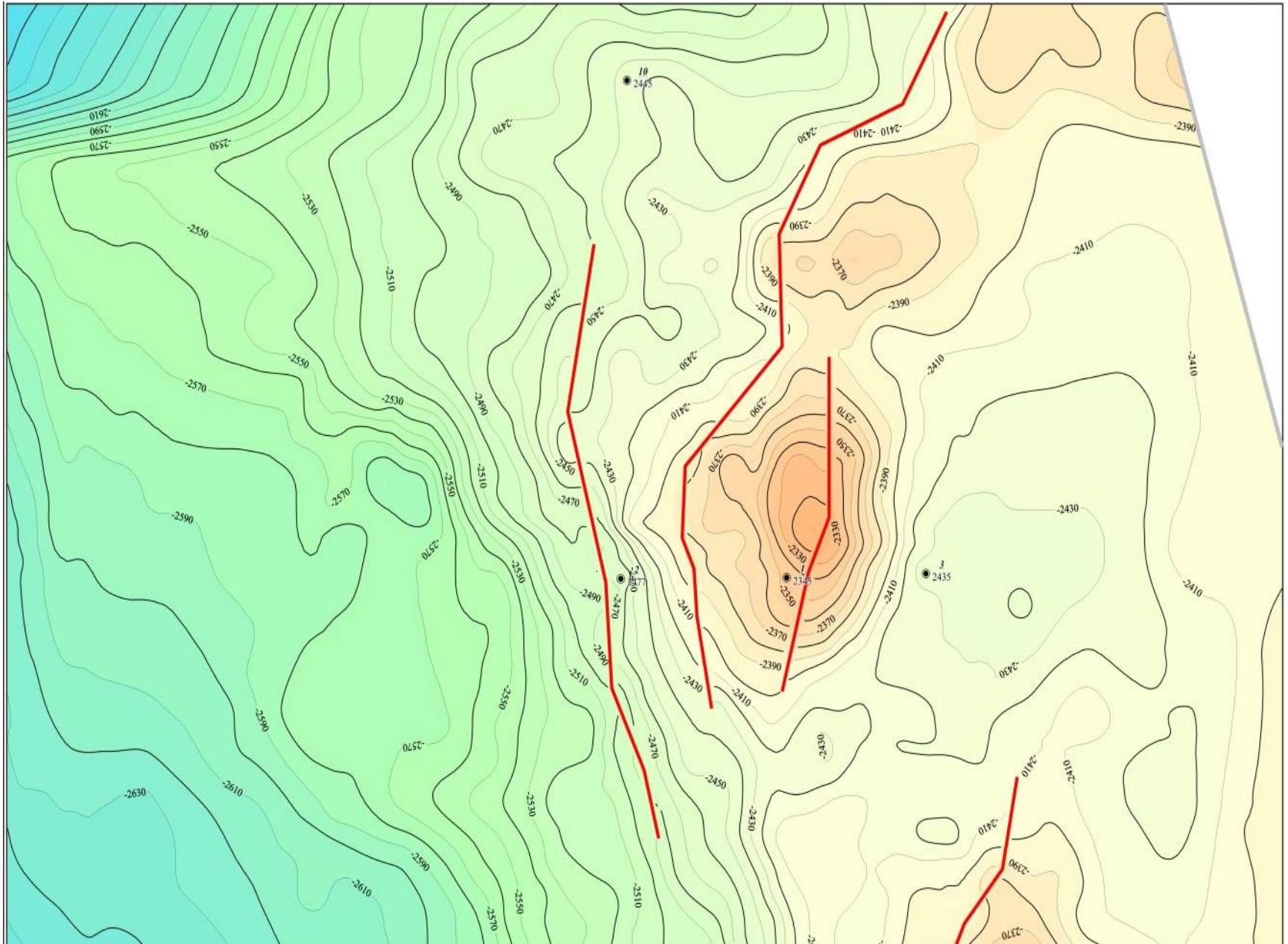
Сечение изолиний или шаг смены цветов Δz выбирают исходя из реально обеспеченной точности карты. Хотя точность структурных построений не может быть одинаковой на всей исследуемой площади, сечение изолиний делают постоянным для удобства чтения карты.

В сейсморазведке средних и больших глубин величина Δz варьирует в пределах от 10 до 100 м.

При выборе Δz исходят из того, что **сечение карты должно примерно вдвое превышать случайную погрешности ее построения.**



Пример структурной карты



Структурные карты и схемы

При выборе сечения любой карты (в том числе и структурной) руководствуются ***случайными погрешностями её построения***. Для структурных карт построенных по данным сейсморазведки принято что, ***сечение карты должно примерно вдвое превышать случайную погрешности ее построения***.

Если исходные данные по надежности прослеживания полезных волн или плотности наблюдений не обеспечивают детальности изображения, отвечающей масштабу съемки, то площадные построения сейсмических границ называют ***структурными схемами***.

Структурные схемы строят по условным сейсмическим горизонтам для характеристики структурных планов осадочных комплексов, в пределах которых отсутствуют устойчивые отражающие границы.

На структурную карту (схему) горизонта наносят линии его разрывных нарушений, выявленные и прослеженные при корреляции по сейсмическому кубу или сети профилей. Смещения тектонических блоков в области нарушений проявляются на карте горизонта разрывами и сдвигами изолиний его глубин.

Для более наглядного изображения локальных элементов сейсмической поверхности на структурную карту пунктиром могут наноситься промежуточные изолинии через интервал ***0,5 ΔH*** .

Другие карты и схемы

Помимо *структурных карт*, объект исследований характеризуют также другими картографическими материалами. Из них принципиально важными являются *карты изохрон нормальных времен* - $t_0(x, y)$.

Карты изохрон строят в результате корреляции полезных волн по временным кубам и разрезам. Особое значение этих материалов объясняется тем, что последующие структурные построения являются производными от карт изохрон, наследуя все их ошибки и искажения. Это обстоятельство предопределяет высокие требования к достоверности первичных карт изохрон.

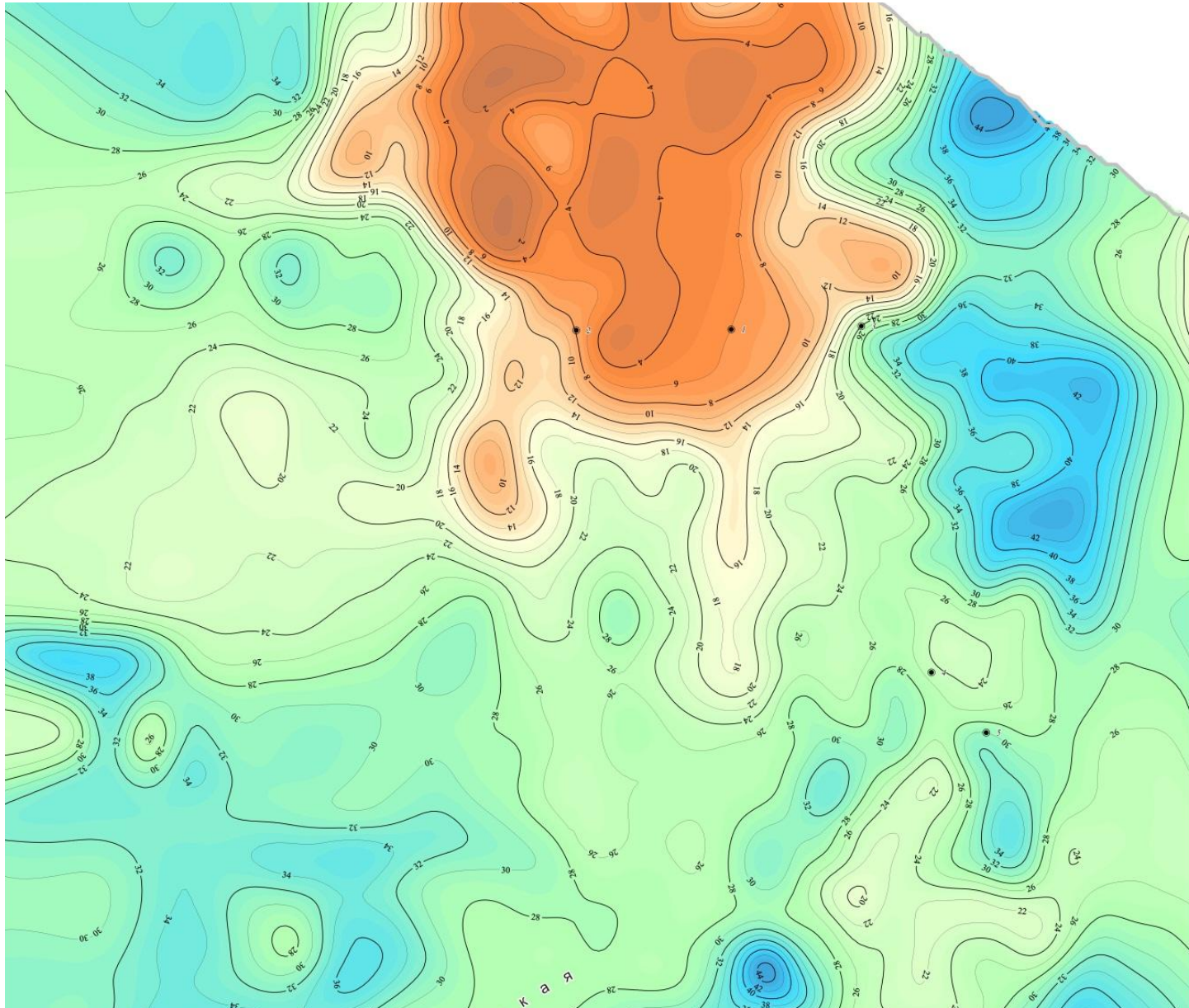
После временной миграции корреляция отражающих горизонтов позволяет строить *карты изохрон вертикальных времен*, на которых устранены эффекты сейсмического сноса.

Для преобразования *карты изохрон* в *структурные карты* используют, в зависимости от способа расчета глубин, *карты средних скоростей* $V_{cp}(x, y)$ или *карты пластовых скоростей* $V_{пл}(x, y)$. Они являются производными от карт скоростей суммирования $V_{огт}(x, y)$, получаемых в результате обобщения материалов скоростного анализа по множеству сейсмограмм ОГТ на исследуемой площади.

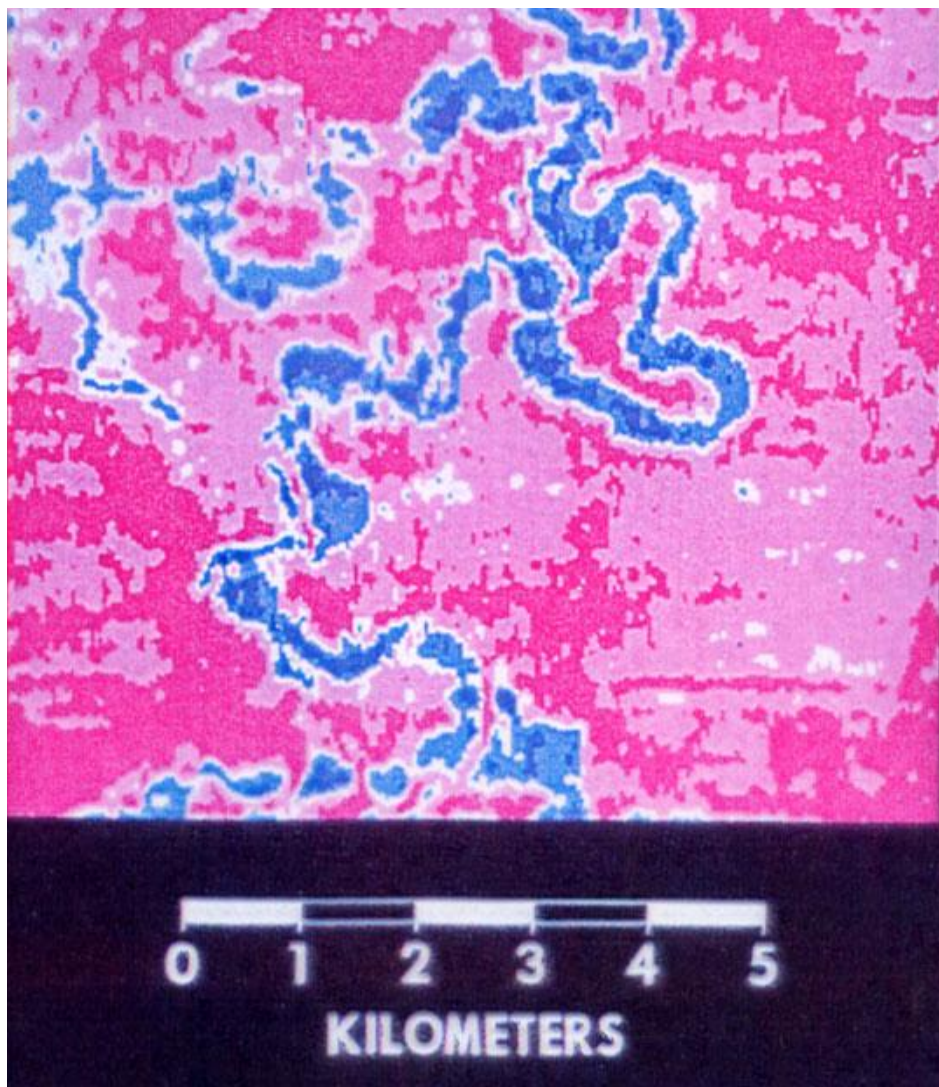
По структурным картам соседних горизонтов можно построить *карту изонахит* - мощностей интервалов разреза между ними.

Совокупность карт *изохрон*, *скоростей* и *глубин*, построенных для целевых горизонтов, подлежит совместному анализу с целью выявления перспективных объектов на исследуемой площади и оценки их пространственных параметров - структурных планов, амплитуд, тектонических нарушений и т. п.

Пример карты изопахит



Временной срез сейсмического куба



По результатам 3D – съемок могут быть построены принципиально новые сейсмические изображения в форме волновой картины, такие изображения, называемые *временными срезами (слайсами)*, представляют собой горизонтальные сечения объемной волновой картины на заданных уровнях времени.

Показанный на рисунке *временной срез*, несет много информации, которая может быть интерпретирована (геологически истолкована).

Точность и разрешающая способность сейсморазведки

Обоснованная интерпретация сейсмических построений невозможна без достоверной оценки их точности: чтобы судить о геологической значимости структурных форм, изображаемых на разрезах и картах, необходимо знать уровень вероятных погрешностей этих изображений.

Реальная оценка точности сейсмических построений является непростой задачей. Их неизбежные погрешности зависят от множества факторов объективного и субъективного характера. Главные среди этих факторов:

- надежность корреляции горизонтов;
- приуроченность к стабильным геологическим границам;
- степень изменчивости сейсмических скоростей;
- учет преломления лучей при вычислении глубин;
- плотность и равномерность точек наблюдения на исследуемой площади;
- сложности картируемых структурных форм и др.

Реальные оценки точности сейсмических построений вырабатываются в процессе исследований конкретных площадей на основе множественных сопоставлений сейсморазведочных результатов с опорными ***данными бурения и ГИС***.

Сопоставление сейсмических построений с результатами бурения дает ***внешние оценки точности*** применяемого метода.

Внутренние оценки точности

Важную роль при определении ***внутренней сходимости метода*** играет определение средней невязки сейсмических горизонтов на пересечениях профилей. О надежности корреляции сейсмического горизонта судят по его увязке внутри замкнутых контуров, образуемых сетью профилей или вертикальных сечений.

Другой характер имеют погрешности сейсмических построений за счет недостаточного учета сложности исследуемой среды, когда она не соответствует используемой модели сейсмических границ и покрывающей толщи. Погрешности конечных результатов, обусловленные такими причинами, невозможно определить только по сейсморазведочным данным. Для этого необходимо использовать внешнюю геолого-геофизическую информацию, в которой основная роль принадлежит скважинным данным.

Для оценки ***внутренней сходимости метода*** необходимо принять статистическую модель экспериментального материала. Строгие оценки выражаются весьма сложными формулами даже для простейшей модели исходных сейсмограмм, поскольку обработка содержит множество взаимосвязанных разнородных операций.

Схематизируя процесс построения сейсмической границы, можно считать, независимо от конкретных способов, что глубина границы h определяется произведением времени пробега волны t на ее скорость V , поэтому будем определять ***относительную среднеквадратическую погрешность определения глубины*** - $\delta h/h = \delta t/t + \delta V/V$.

Разрешающая способность сейсморазведки

Разрешающая способность сейсморазведочного метода определяется его возможностями в раздельном обнаружении и оценивании параметров целевых объектов, минимальных по размерам и контрастности упругих свойств.

Основные факторы, ограничивающие полноту и точность решения обратной задачи сейсмики, частично рассмотрены ранее. Среди этих факторов принципиальное значение имеет ***волновая природа*** сейсмического поля: ***естественный предел разрешающей способности метода определяется минимальной длиной упругих волн от целевых объектов.***

Рассматривая разведочные возможности ***основного сейсмического метода - МОВ***, различают его ***разрешающие способности по вертикали и горизонтали.***

Разрешающая способность по вертикали определяет возможность раздельного наблюдения с поверхности двух близких отражающих границ в горизонтально-слоистом разрезе. В реальных условиях, даже весьма благоприятных, можно рассчитывать на раздельное обнаружение отраженных волн, которые приходят с разницей нормальных времен не менее $\Delta t_0 = 0.5T_g$, где T_g - видимый период колебаний.

Поскольку величина Δt_0 соответствует двойному времени пробега, то мощность пласта, выделяемого по отражениям от его кровли и подошвы, составляет не менее $0,25\lambda_g$, где λ_g - видимая (преобладающая) длина волны наблюдаемых колебаний.

Примеры вертикальной разрешенности

Скорости Частоты	2000 м/сек	3000 м/сек	4000 м/сек
30 Гц	17 м <i>7 м</i>	25 м <i>10 м</i>	33 м <i>13 м</i>
60 Гц	8 м <i>3 м</i>	12 м <i>5 м</i>	17 м <i>7 м</i>
100 Гц	5 м <i>2 м</i>	8 м <i>3 м</i>	10 м <i>4 м</i>

Вертикальная Разрешенность

Вертикальная Чувствительность

Разрешающая способность по горизонтали

Разрешающая способность по горизонтали определяет возможность наблюдения с поверхности двух близких сейсмических неоднородностей, расположенных на одной глубине.

Таковыми неоднородностями (объектами) могут быть дизъюнктивные или пликативные нарушения горизонтальной слоистости, локальные изменения отражающих свойств сейсмической границы, резкое выклинивание пласта и др. В общем случае трудно предложить однозначные оценки горизонтальной разрешающей способности МОВ из-за многообразия возможных ситуаций, сложности волновых полей в неоднородных средах и отсутствия объективных критериев различимости соседних объектов.

Ориентировочные оценки здесь основаны на *зонах Френеля*, дающих теоретическое представление о пространственной области, существенной для распространения упругих колебаний. Согласно этим дифракционным представлениям, наблюдаемая в некоторой точке поверхности *сферическая гармоническая волна длиной λ* нормально отраженная от горизонтальной границы на глубине *h*, практически формируется эффективной отражающей площадкой радиуса $r_{эф}$, центр которой совпадает с точкой отражения нормального луча.

Отраженные колебания наблюдаются в двух точках поверхности без наложения, если соответствующие эффективные площадки не перекрываются, т. е. расстояние между их центрами $\Delta x \geq 2 r_{эф}$.