

Тема 7. *Обработка сейсморазведочных данных*

10 часов, лекции № 20 - № 24

Лекция № 20

Основы обработки сейсморазведочных данных

Обработка и интерпретация сейсмических данных (введение).

Общая схема решения обратных задач сейсморазведки.

Цели и стадии цифровой обработки сейсмических записей.

Понятие о последовательности выполнения процедур обработки.

Основные начальные процедуры обработки сейсмической информации

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.

Обработка сейсморазведочных данных

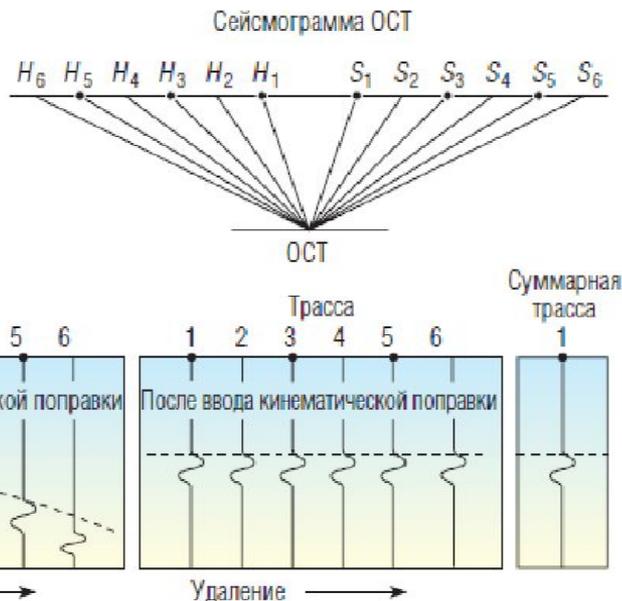
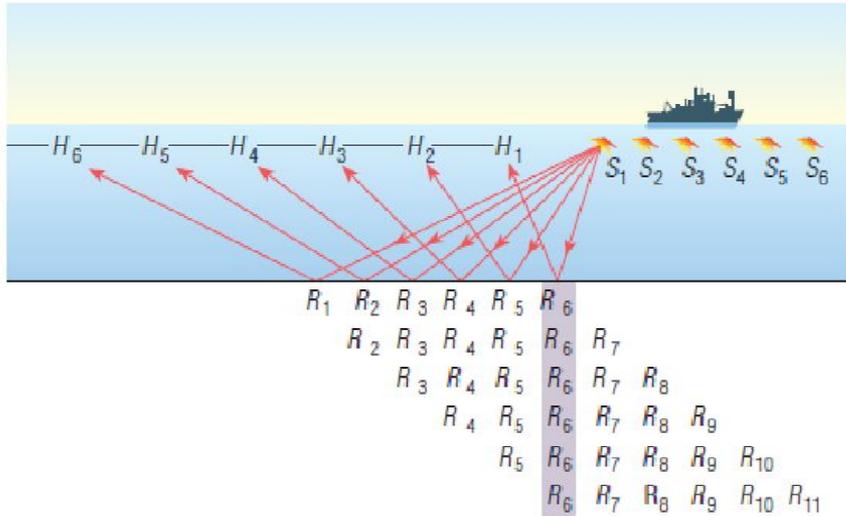
Первым этапом извлечения нужной нам информации является *процесс обработки сейсмической информации*.

В процессе *обработки сейсмической информации*, полученные полевые данные подвергается целому ряду преобразований, основная цель которых направлена на повышение надежности выделения тех полезных сейсмических волн, которые несут информацию о строении интересующих нас особенностей геологической среды.

При этом одновременно всегда стараются максимально сильно ослабить влияние волн-помех различного типа. С точки зрения теории информации это означает, что в процессе обработки добиваются существенного повышения соотношения "*сигнал/помеха*".

Этот процесс в значительной мере может быть формализован и выполнен, как правило, в поточном режиме обработки с помощью набора специальных программ для ЭВМ.

Основы суммирования по ОГТ (ОСТ)



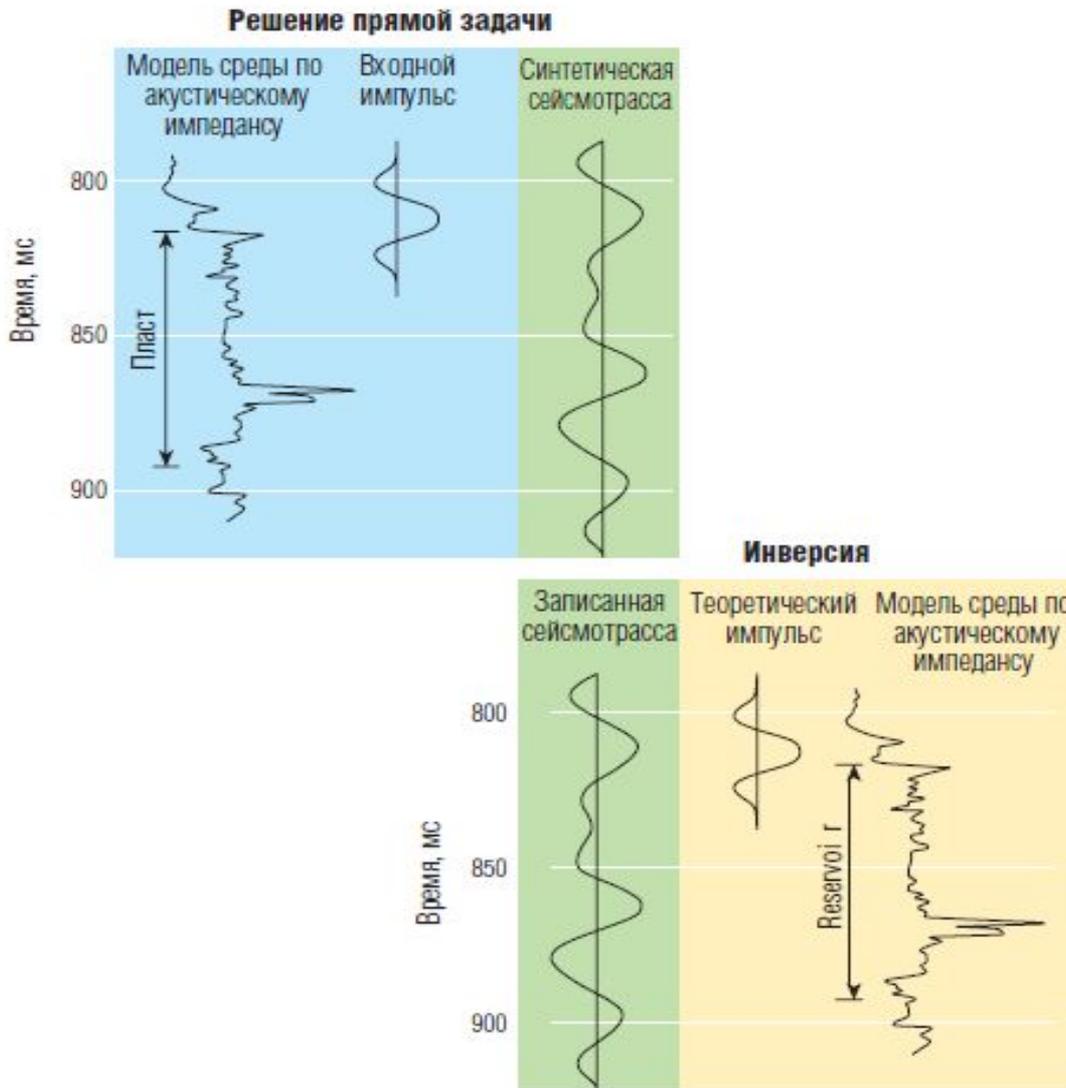
Основной технологией применяемой в настоящее время в нефтяной и газовой сейсморазведке является **МОГТ**.

Суммирование по ОГТ (ОСТ) позволяет повысить соотношение сигнал/помеха, так как синфазно суммируются только полезные сигналы.

На рисунке показано, что перед суммированием необходимо произвести выборку (сортировку) трасс по ОСТ из сейсмограмм ОТВ и

вести в сейсмические трассы временные поправки, учитывающие удаления источник-приемник (кинематические поправки).

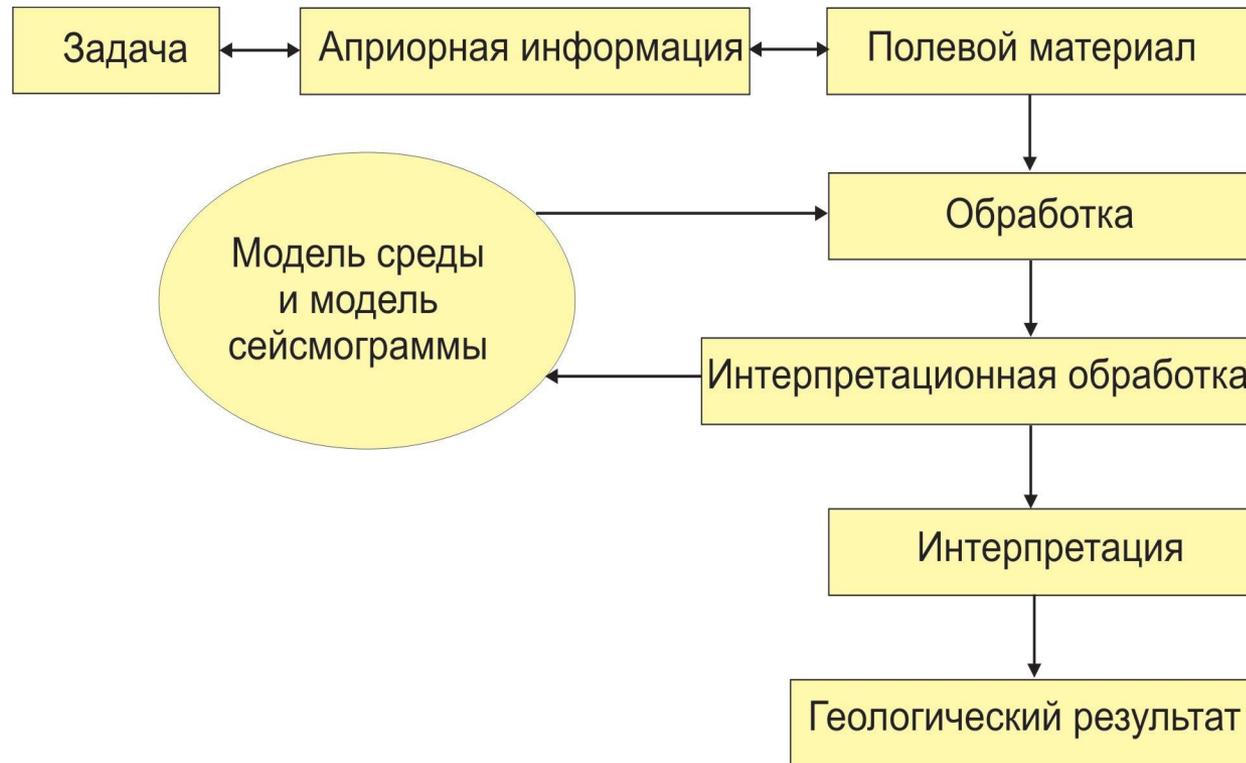
Решение прямой и обратной задачи сейсморазведки



Для решения *прямой задачи* берется модель пластовых свойств (на рис. акустический импеданс, $\gamma = V \cdot \rho$) который объединяется (сворачивается) с сейсмическим импульсом.

Преобразование полученной полевой сейсморазведочной информации в геолого-геофизическую информацию принято называть **решением обратной задачи сейсморазведки (инверсией)**. Для извлечения этой информации в максимально возможном объеме и необходимо совершать преобразования полученных полевых сейсмических записей.

Общая схема решения обратных задач сейсморазведки



При решении обратной задачи сейсмической разведки исходными базовыми компонентами для анализа являются: *постановка задачи, априорная информация о сейсмической модели среды и экспериментальный материал.*

Общая схема решения обратных задач сейсморазведки

Постановка обратной задачи определяется целями сейсморазведочных работ и техническими возможностями их выполнения, а также составом, структурой и качеством полученного экспериментального полевого материала.

Априорная информация содержит собранные заранее сведения общего и частного характера, необходимые для решения поставленной задачи. Эта информация касается геологического строения, глубинных и поверхностных сейсмогеологических условий, опыта решения подобных задач в сходных условиях, данных о системе наблюдений, сведений о зоне малых скоростей и т.п.

Модель среды и модель сейсмограммы выбирается исходя из поставленной задачи, на основе априорных данных. Обе эти модели всегда взаимосвязаны и должны правильно описывать количественные зависимости между характеристиками регистрируемых волн и параметрами сейсмогеологического разреза.

Эффективная сейсмогеологическая модель

Эффективная сейсмогеологическая модель среды - это такое геологически оправданное упрощенное представление реального разреза, для которого ***расчетное поле*** упругих волн наилучшим образом согласуется с ***наблюденным полем***.

Используемые при обработке модели среды и волнового поля конструируют из ограниченного числа простых элементов.

Важнейшим элементом модели среды является ***сейсмический пласт (слой)***. Как следствие этого в модели появляется понятие ***сейсмической границы*** – границы раздела между соседними пластами. При этом чаще всего считают, что сейсмический слой имеет плоские границы, а его пластовая скорость всюду постоянна.

Основным элементом модели регистрируемого волнового поля является устойчивая по форме и интенсивности ***полезная волна определенного предполагаемого типа***, которая имеет годограф известного вида, соответствующий кровле или подошве этого сейсмического пласта.

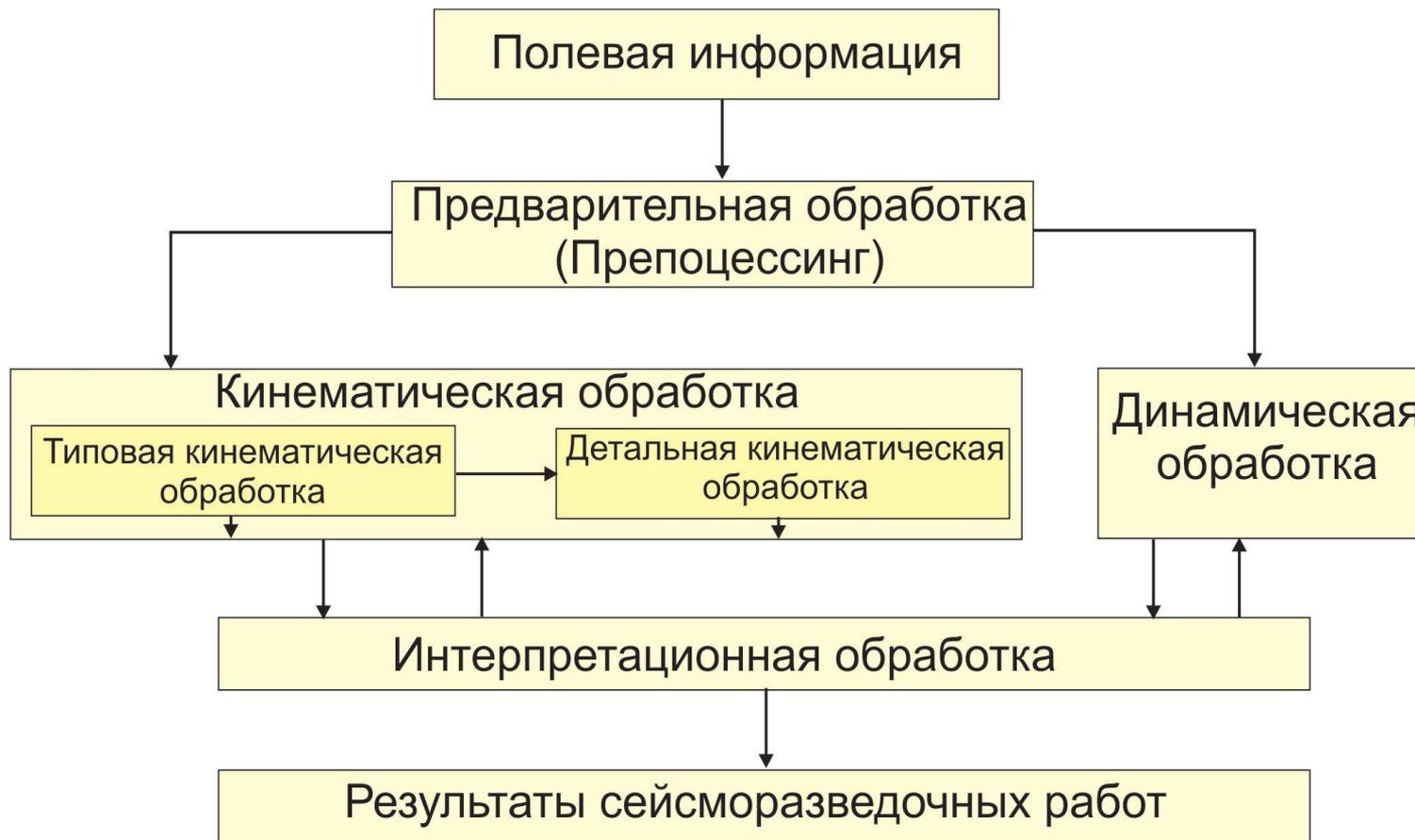
Цели и стадии цифровой обработки сейсмических записей

Два различных подхода к обработке и интерпретации данных сейсморазведки.

Первый подход - кинематический - позволяет по наблюдаемым временам прихода импульсов полезных (целевых) волн восстановить положение отдельных сейсмических границ и изучить в первом приближении распределение скоростей в среде. В настоящее время ***кинематическая интерпретация*** является на практике преобладающей и служит основой для решения большинства традиционных задач ***структурной сейсморазведки***.

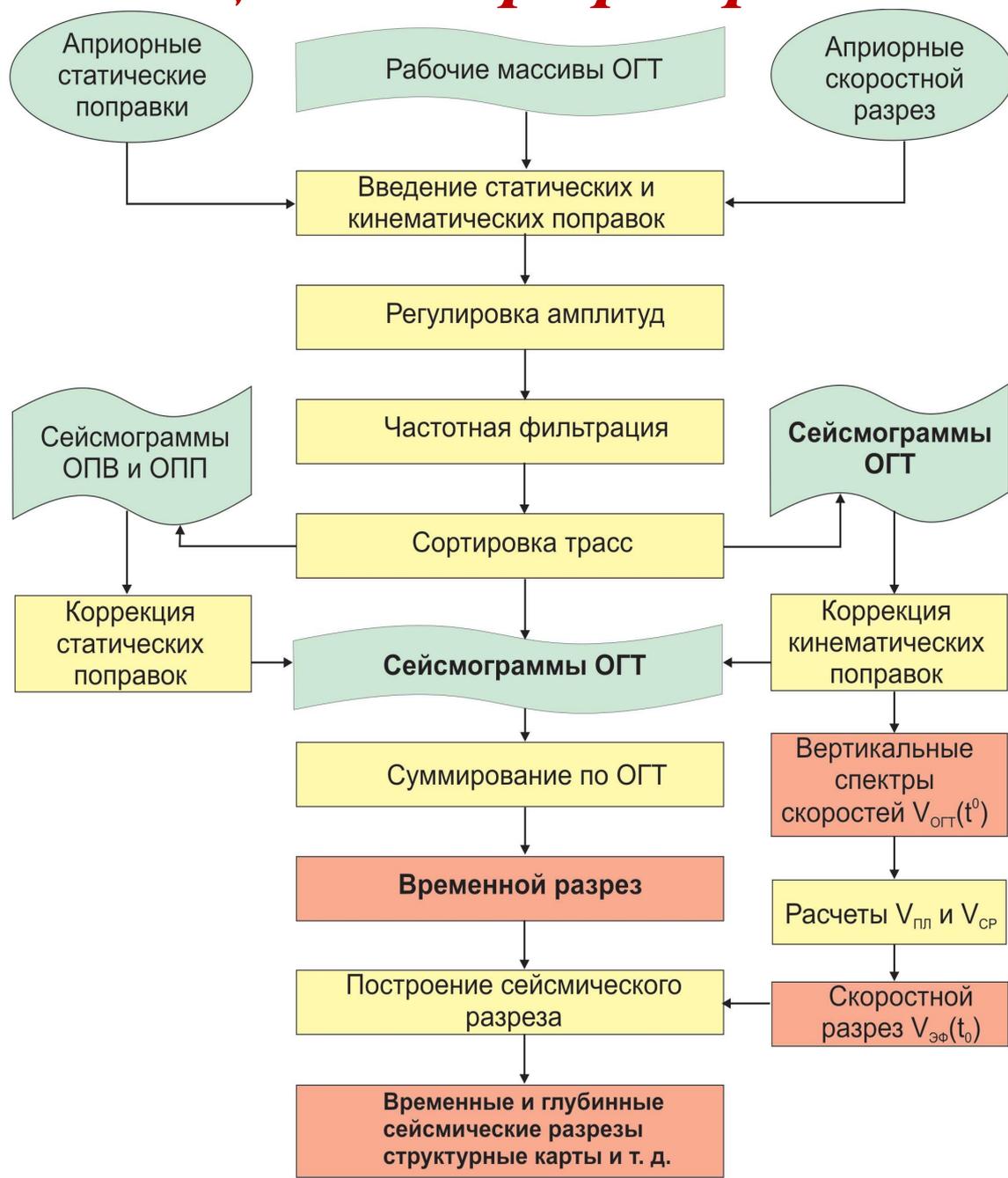
Второй подход - динамический - основан на одновременном количественном использовании, как времени прихода сейсмических колебаний, так и их интенсивности и формы записи. В этом направлении достигнуты пока относительно скромные результаты. Однако этот подход быстро и эффективно совершенствуется. Можно ожидать, что в недалеком будущем на его основе станет возможным надежное получение важных и достоверных сведений не только о форме сейсмических границ, но и о характере распределения во всем разрезе акустической жесткости и коэффициентов поглощения упругих волн.

Обобщенная схема взаимодействия этапов обработки сейсмических данных



Формальной задачей *кинематической обработки* сейсмических записей является такое их преобразование, которое позволило бы максимально просто и с высокой достоверностью *выделять целевые сейсмические волны* и эффективно *подавлять* все ненужные, *мешающие волны-помехи*

Обобщенный граф обработки данных МОГТ



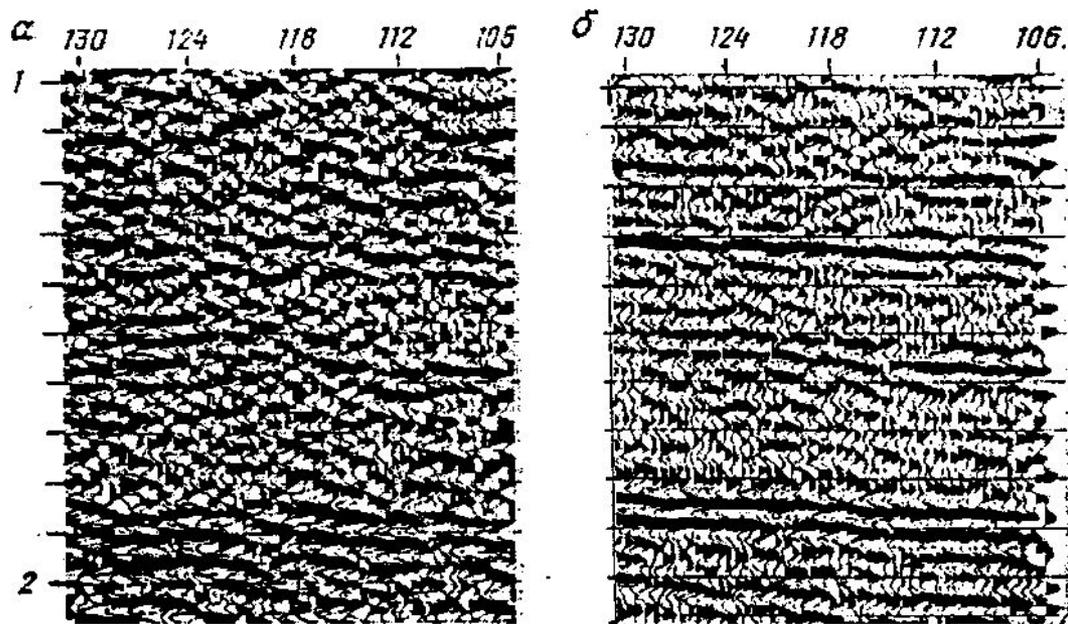
Последовательность и взаимодействие различных алгоритмов обработки принято называть *графом обработки*.

В зависимости от методики работ, а также от характера решаемых геологических задач граф обработки может быть различным. Однако во всех случаях обработки применяемый граф всегда содержит некоторые *общие и обязательные процедуры*.

Расчет и коррекция статических поправок

Резкие изменения рельефа поверхности наблюдений, мощностей и скоростей распространения упругих волн в самой *верхней части разреза (ВЧР)* приводят к тому, что времена прихода отраженных волн на сейсмической записи резко изменяются. В этом случае оси синфазности отраженных волн на сейсмограммах *ОТВ* и *ОГТ* и, как следствие, на временных разрезах будут сильно искажены.

Повысить качество таких сейсмических записей возможно только путем, введения специально рассчитанных компенсирующих временных сдвигов - *статических поправок*.



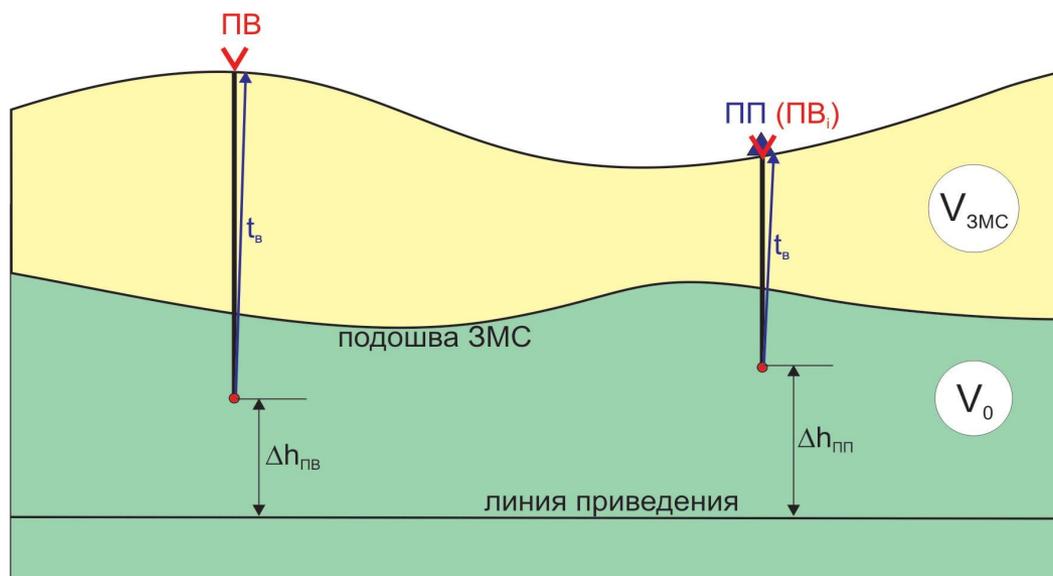
Влияние статических поправок на качество временного разреза:

а - исходный временной разрез без учета статических поправок;

б - разрез с откорректированными статическими поправками

Расчет статических поправок

Статические поправки для каждого канала обычно вводят в два приема. На первом этапе определяют и вводят так называемые *расчетные* (предварительные) статические поправки. В последующем проводят *коррекцию (уточнение) статических поправок* и затем ввод окончательных статических поправок.



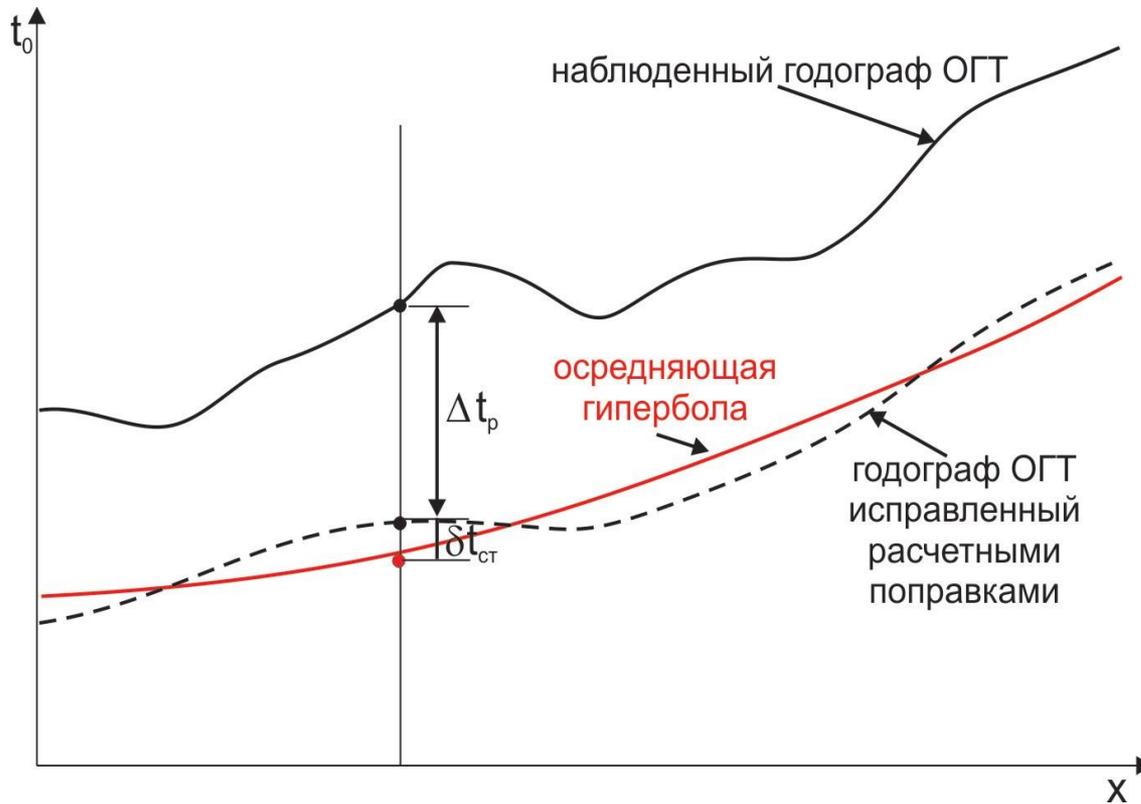
Расчетные статические поправки всегда являются лишь оценкой истинного значения поправки и отличаются от них присутствием погрешностей в используемых данных (высот, вертикального времени, скоростей и мощностей слоев ВЧР). Поэтому после ввода предварительных статических поправок сохраняется некоторый остаточный сдвиг δt

Поправки за пункт возбуждения и пункт приема приводят ПВ и ПП к линии приведения и равны:

$$\Delta t_{ПВ} = \frac{\Delta h_{ПВ}}{V_0}, \quad \Delta t_{ПП} = t_0 + \frac{\Delta h_{ПП}}{V_0}$$

Расчетная (априорная) статическая поправка равна $\Delta t_p = \Delta t_{ПВ} + \Delta t_{ПП}$.

Коррекция статических поправок



Остаточный сдвиг δt обычно принято представлять суммой **низкочастотной $\delta t'$** **высокочастотной $\delta t''$** компонент: $\delta t = \delta t' + \delta t''$

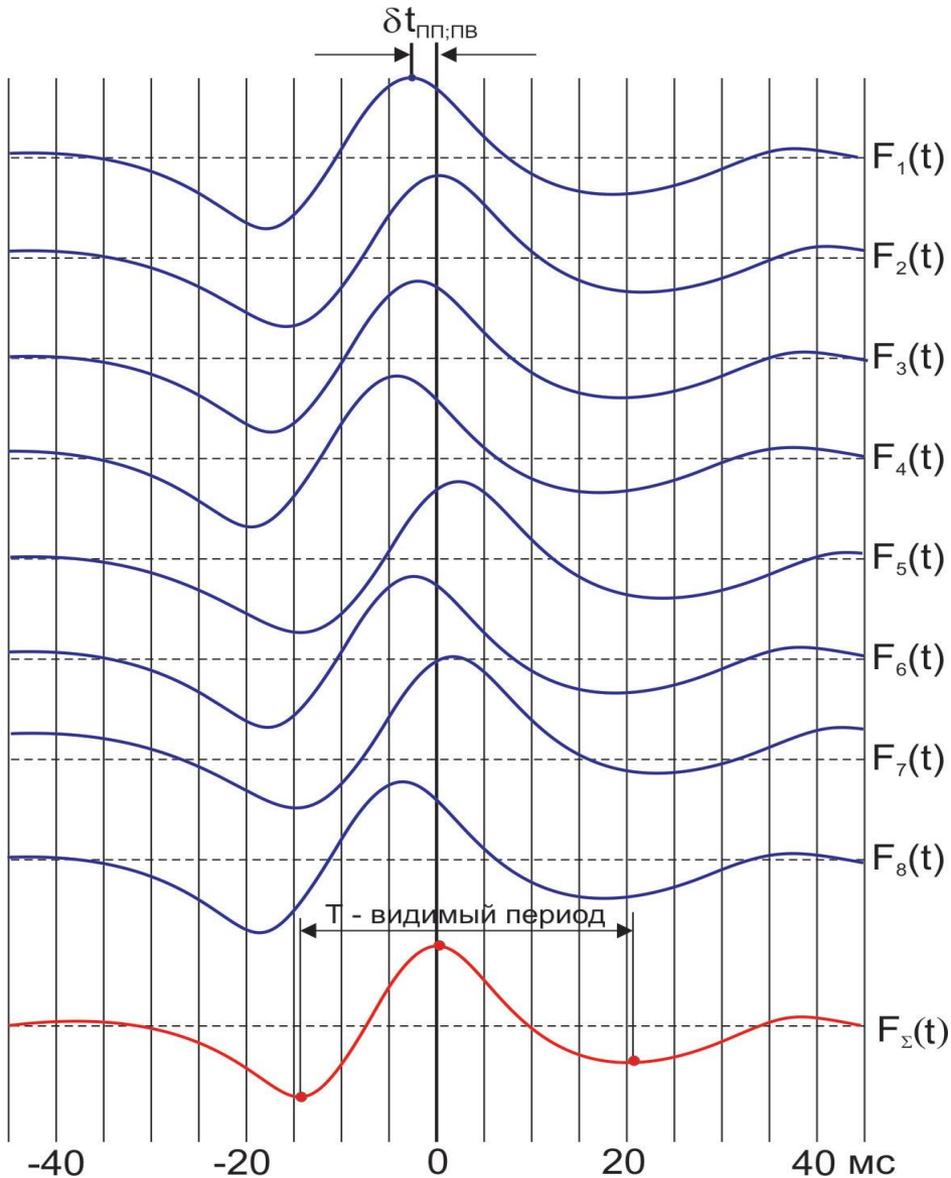
Высокочастотная (случайная) составляющая погрешности имеет знакопеременный характер и может рассматриваться как результат влияния случайных погрешностей в исходных данных.

Низкочастотная компонента является результатом недостаточно полных сведений о строении **ВЧР** вблизи плоскости приведения.

Разработано и применяется довольно много способов коррекции статических поправок. Они отличаются друг от друга степенью помехоустойчивости, трудоемкости, затратами машинного времени, областью применимости и др.

На рисунке для понимания принципиальной сущности всех методов коррекции статических поправок рассмотрен пример использования для этих целей годографов **ОГТ**.

Коррекция статических поправок

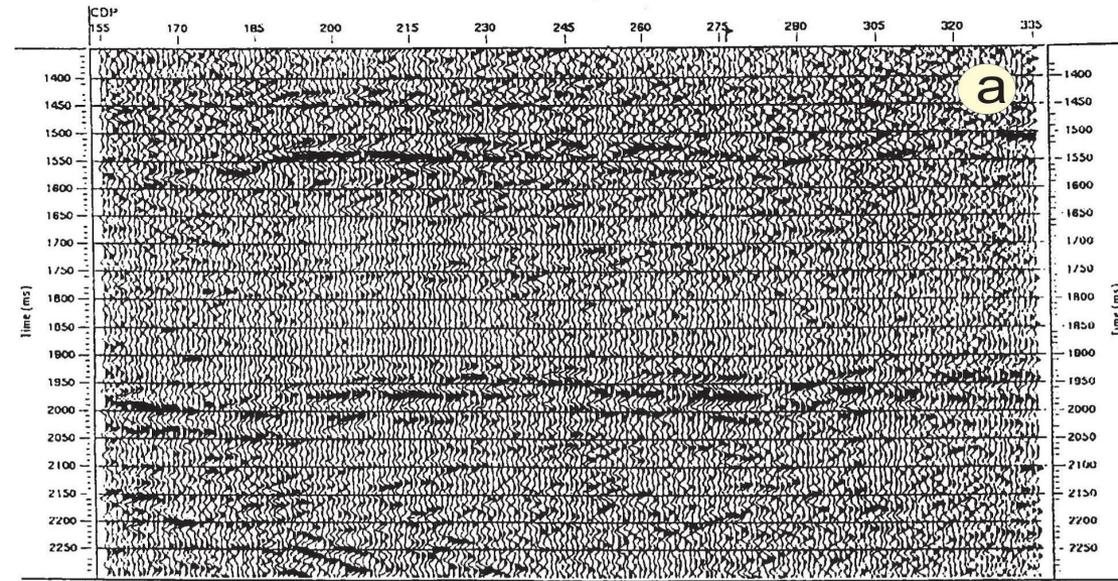


Для коррекции статических поправок во многих способах используют свойство фазовой устойчивости суммарных сигналов к разбросу фаз исходных каналов, если значение отдельных разбросов фаз не превышает 0,3 видимого периода колебаний.

На рисунке изображена ось синфазности регулярной волны с предварительно введенными в нее расчетными **статическими** и **кинематическими** поправками.

Отклонения экстремумов суммируемых трасс от экстремума суммарной трассы являются **корректирующими статическими поправками**. Если суммируются сигналы по сейсмограмме **ОПВ**, то корректирующая поправка является поправкой за пункт приема $\delta t_{пп}$. Если суммируются колебания по сейсмограмме **ОПП**, то корректируемая поправка является поправкой за пункт взрыва $\delta t_{пв}$.

Коррекция статических поправок

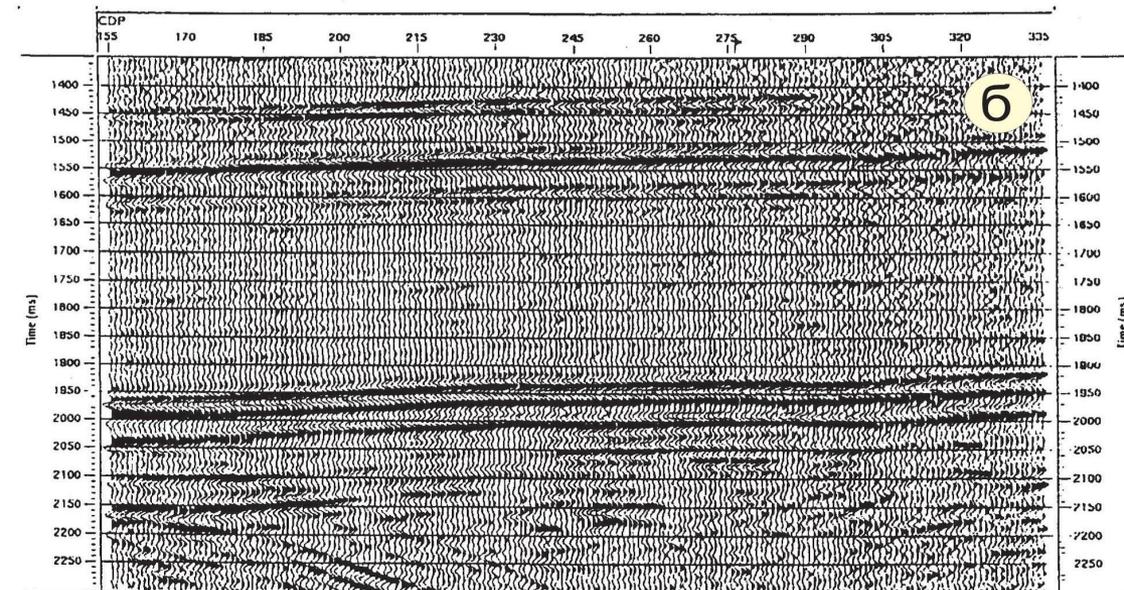


В результате тщательной коррекции статических поправок прослеживаемость отраженных волн на временных разрезах принципиально улучшается.

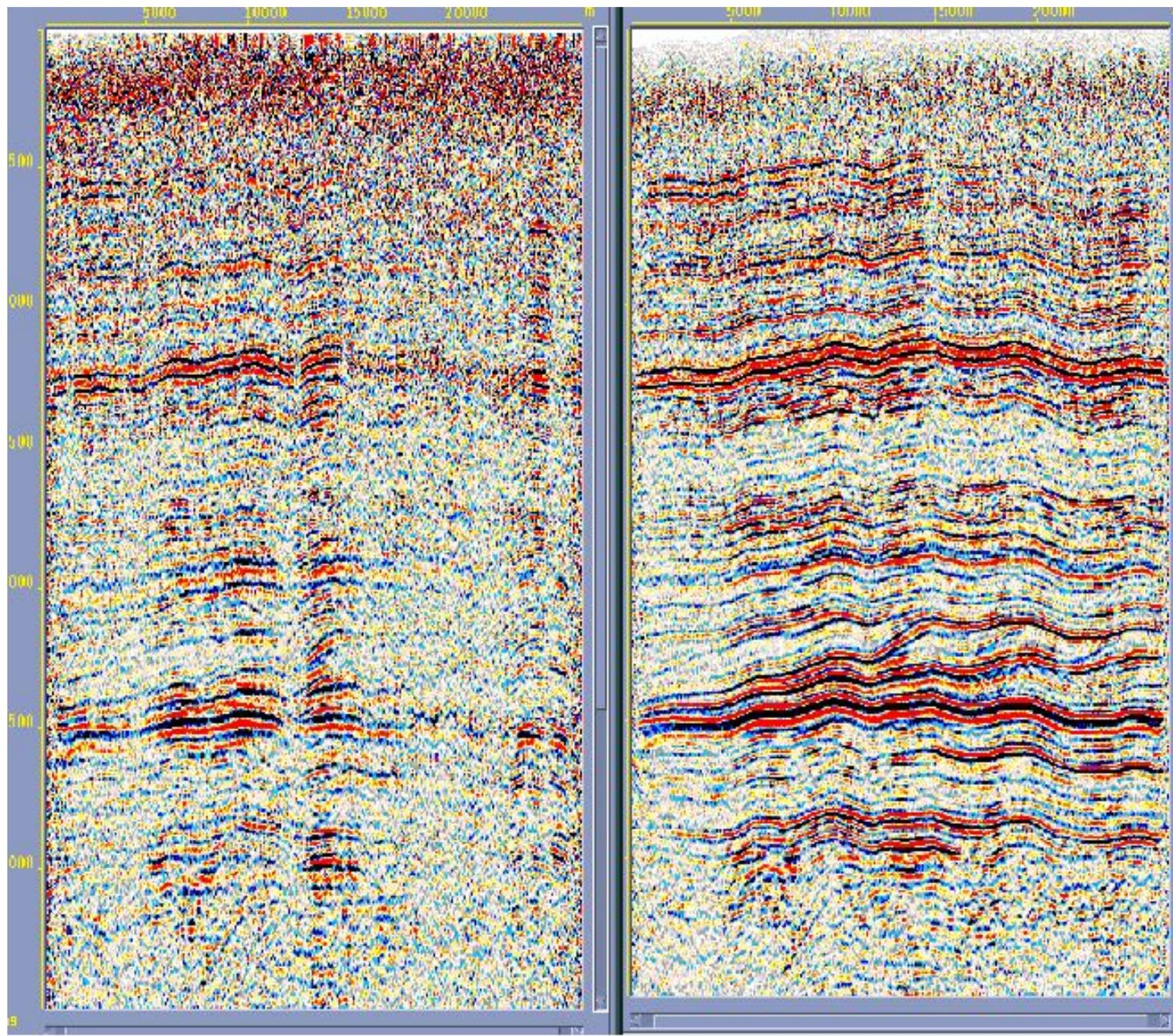
В качестве иллюстрации на рисунках приведены фрагменты временных разрезов:

вверху (а) из которых получен после введения расчетных поправок;

внизу (б) после коррекции статических поправок.

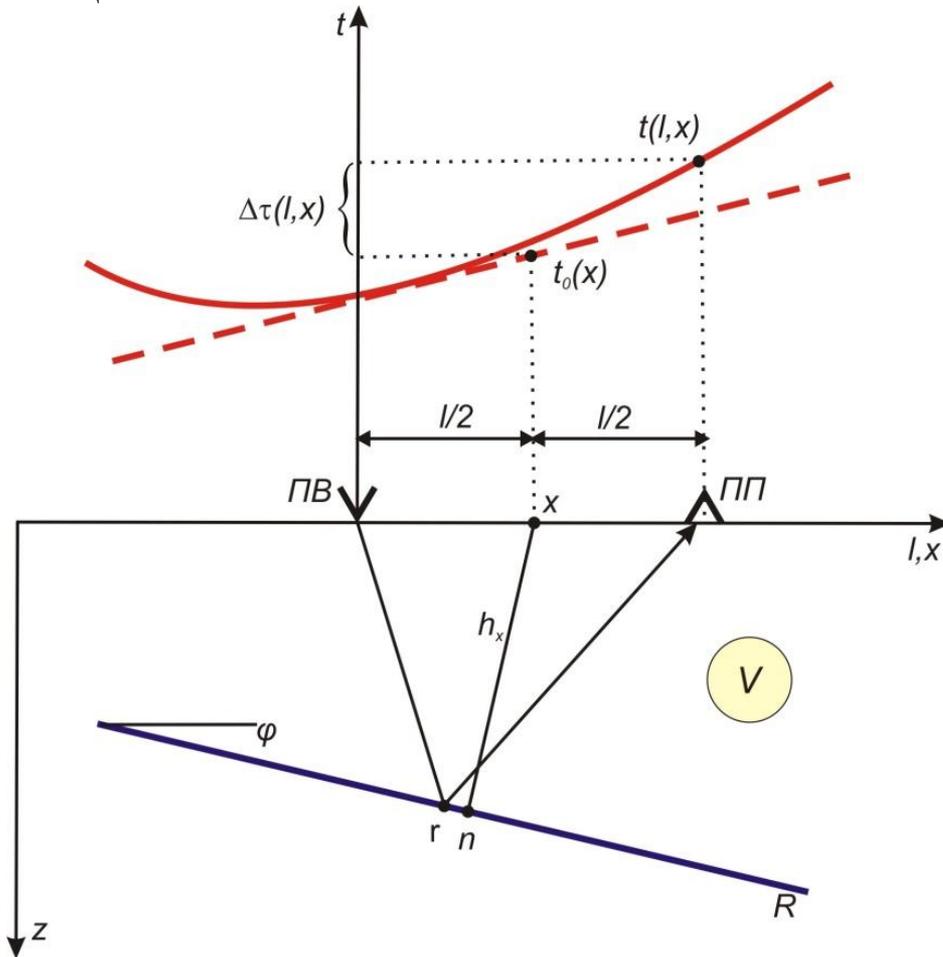


Коррекция статических поправок



Расчет кинематических поправок

Кинематическая поправка – это разность времен прихода волны, отраженной от границы по косому и нормальному лучам, когда нормальный луч соответствует центру дистанции косого луча. Название поправки отражает её переменный характер: для фиксированной трассы поправка уменьшается со временем, что соответствует уменьшению крутизны годографа отраженной волны с увеличением глубины сейсмической границы.



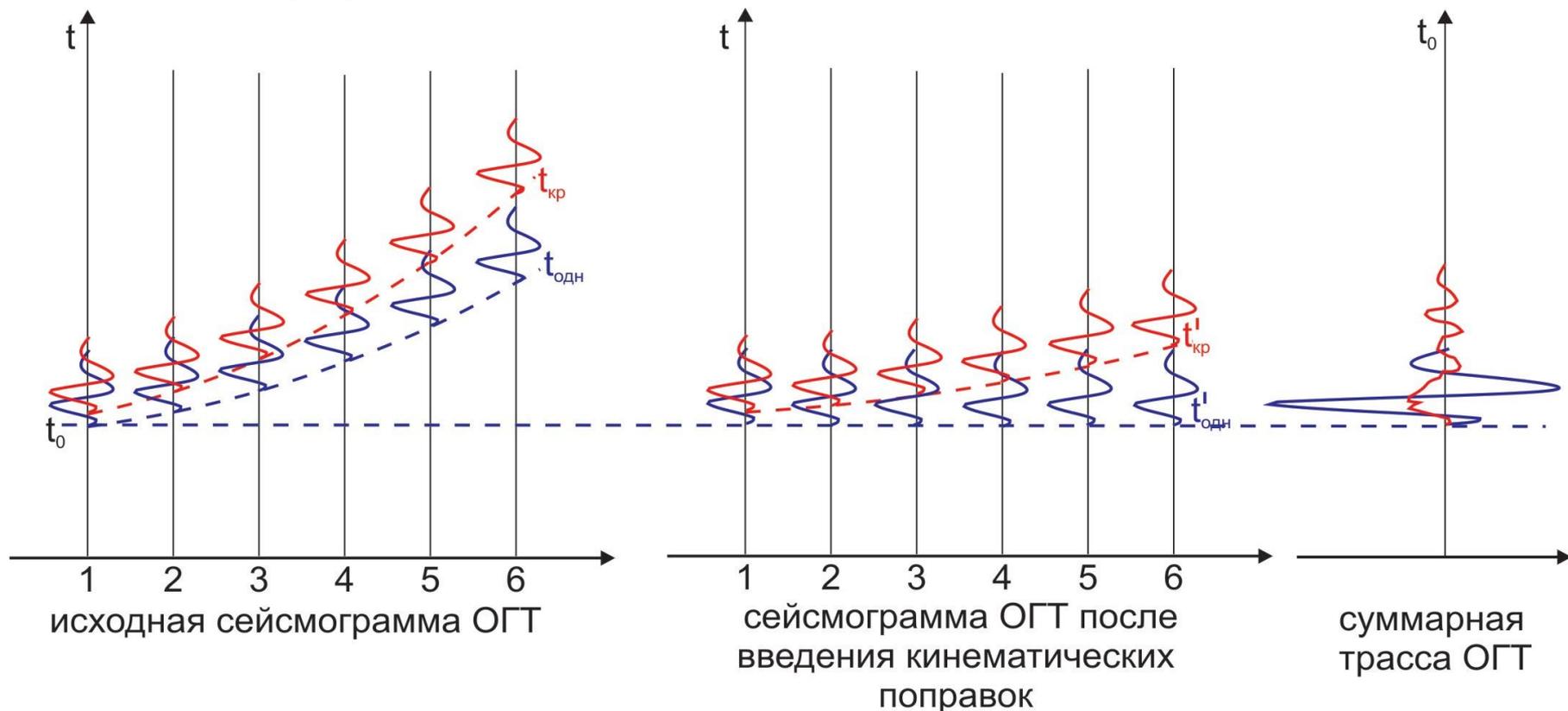
Для модели плоской отражающей границы в однородной среде схема определения поправки показана на рисунке.

Кинематическая поправка $\Delta\tau(l, x)$ для волны, наблюдаемой на дистанции $l = \text{ПП} - \text{ПВ}$ с центром в точке x , представляет собой разницу между временем ее прихода $t(l, x)$ в пункт приема и временем нормального отражения $t_0(x) = t(0, x)$ в средней точке дистанции:

$$\Delta\tau(l, x) = t(l, x) - t_0(x)$$

Цели введения кинематических поправок

1. Наблюдаемые оси синфазности или годографы отраженных волн преобразуются на плоскости координат (x, t_0) в изображения сейсмических границ, совокупность которых формирует динамический или кинематический временной разрез, наглядно отображающий геологическое строение объекта;
2. Спрямление осей синфазности полезных волн упрощает их синхронное суммирование, выполняемое для увеличения отношения сигнал/помеха на динамических разрезах.



Пример ослабления многократного отражения при суммировании трасс по ОГТ

Точный расчет кинематических поправок возможен при условии, что хорошо известны скоростные и геометрические параметры геологической среды, необходимые для вычисления годографов отраженных волн.

На практике при недостатке априорных данных для расчета кинематических поправок используют самые простые модели среды. Чаще всего это — *однородная среда*.

Пусть *плоская отражающая граница* с углом наклона φ залегает в *однородной среде*, характеризующейся средней скоростью V_{cp} , и имеет эхо-глубину $h_{OГТ}(x)$ в средней точке x дистанции l . Тогда кинематическая поправка, согласно определению, находится из уравнения линейного годографа ОГТ:

$$\Delta\tau(l, x) = \sqrt{t_0(x) + \frac{l^2}{t_0^2(x)V_{OГТ}^2}} - t_0(x)$$

$$t_0(x) = \frac{2h_{OГТ}(x)}{V_{cp}}, \quad V_{OГТ} = \frac{V_{cp}}{\cos\varphi}$$

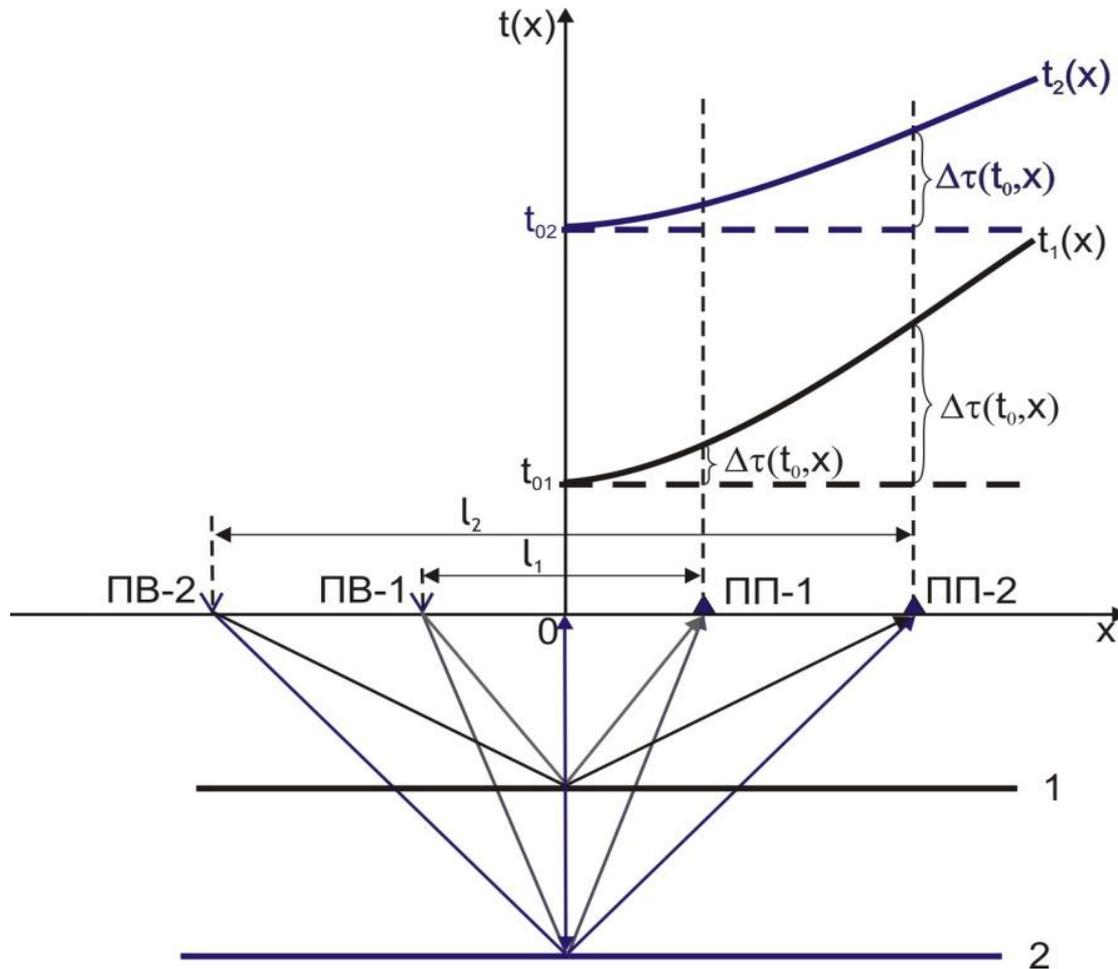
Расчет кинематических поправок требует знания не только средней скорости до отражающей границы, но и угла ее наклона. К началу обработки полевых материалов обычно имеются некоторые данные о скоростном строении изучаемого разреза, но предварительная информация об углах наклона сейсмических границ, как правило, отсутствует.

Поэтому кинематические поправки рассчитывают исходя из горизонтальности отражающих границ, когда $V_{OГТ} = V_{ср}$, называя их нормальными кинематическими поправками (НКП).

Эти поправки $\Delta\tau_H(l, t_\rho)$ вычисляют с использованием известной зависимости средней скорости в покрывающей толще от времени нормального отражения $V_{ср}(t_\rho)$.

Так как в реальности $V_{OГТ}$ всегда больше $V_{ср}$, то вычисленные кинематические оказываются завышенными, однако при углах наклона границ меньше 5° относительные погрешности не превышают 1%.

Изменение кинематической поправки во времени и пространстве



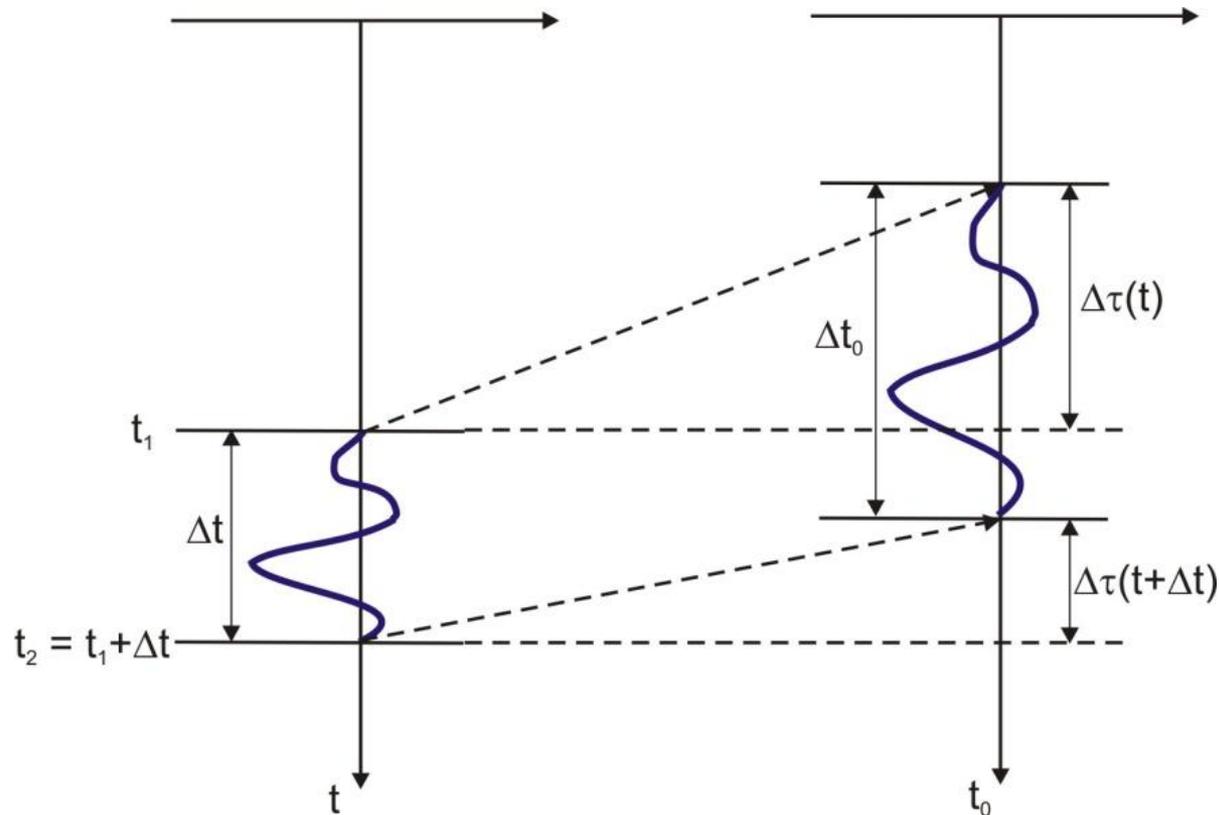
Кинематические поправки рассчитанной по формулам увеличивается с ростом дистанции l , и уменьшается с ростом временем $t_0(x)$.

На рисунке показан пример, для горизонтально – слоистой трехслойной модели среды.

Годографы отраженных волн от границ 1 и 2, - $t_1(x)$ и $t_2(x)$, и кинематические поправки для дистанций l_1 и l_2 , которые демонстрируют поведение этих поправок в зависимости от дистанции l и t .

Введение в волновой импульс **уменьшающихся со временем кинематических поправок** вызывает искажение его формы, а именно - **растяжение импульса**.

Растяжение импульса волны при вводе кинематических поправок

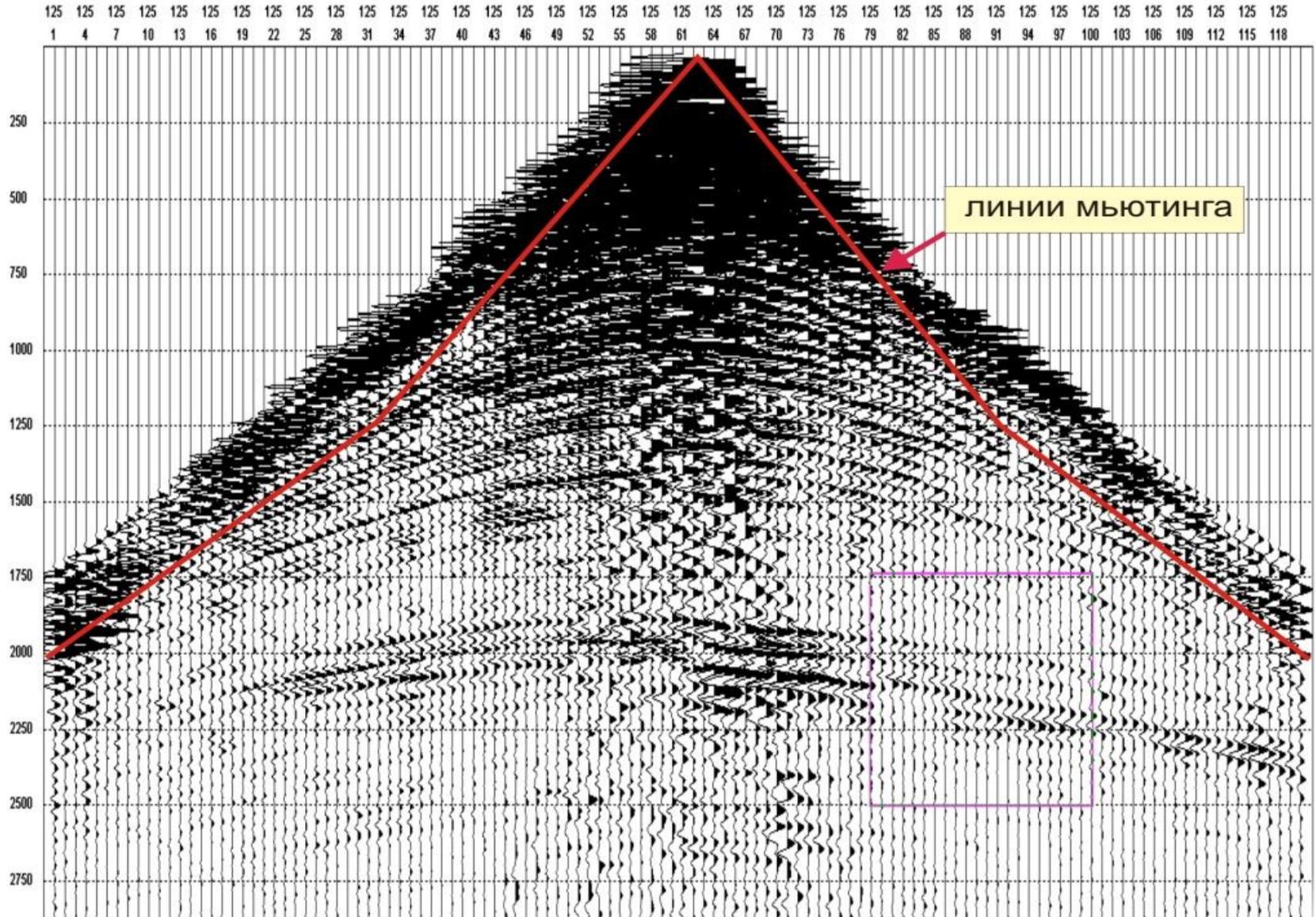


Искажение формы колебаний характеризуется *коэффициентом растяжения* $k_t(t) = \Delta t_0 / \Delta t$.

Из обработки исключаются начальные участки сейсмических трасс, где коэффициент растяжения импульсов отраженных волн при введении кинематических поправок *превышает заданный предел* k_{max} .

Такая операция называется *мьютингом растяжения*.

Проведение линии мьютинга.



Коррекция кинематических поправок.

Априорные *кинематические поправки* не обладают достаточной точностью из-за *изменчивости сейсмических скоростей*.

При введении заниженных поправок годографы однократных отражений остаются *недоспрямленными*. При завышенных поправках они становятся *переспрямленными*, т. е. приобретают кривизну противоположного знака.

В обоих случаях неверные кинематические поправки снижают эффект суммирования полезных волн, что проявляется ухудшением качества отражающих горизонтов на сейсмических разрезах.

Коррекция кинематических поправок сводится к подбору оптимальных значений $V_{ОГТ}(t_{\theta})$ по некоторому статистическому критерию синфазности колебаний отраженных волн.

Найденную таким путем величину $V_{ОГТ}$ иногда называют среднеквадратической скоростью ($V_{МНК}$), имея в виду, что оптимальные оценки искомых параметров по экспериментальным данным аналитически находятся по методу наименьших квадратов (МНК).

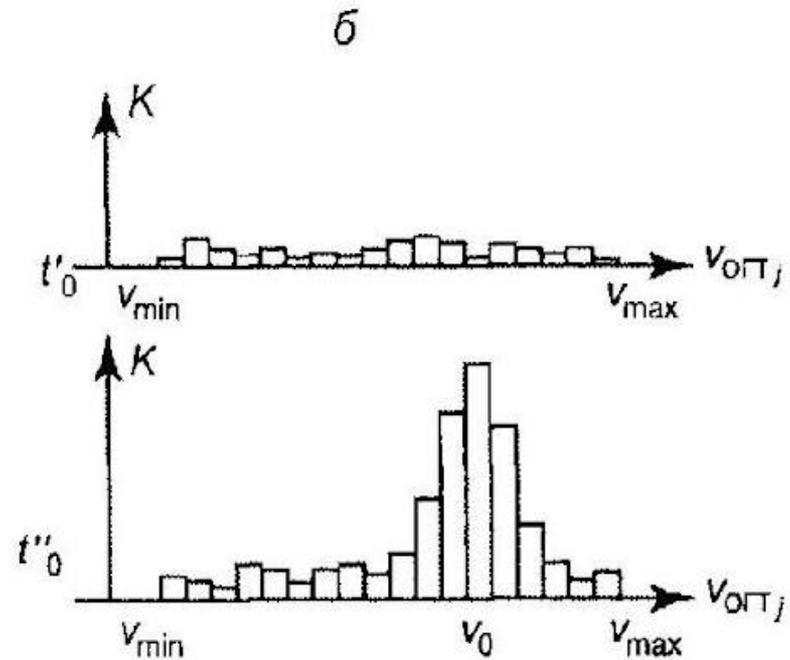
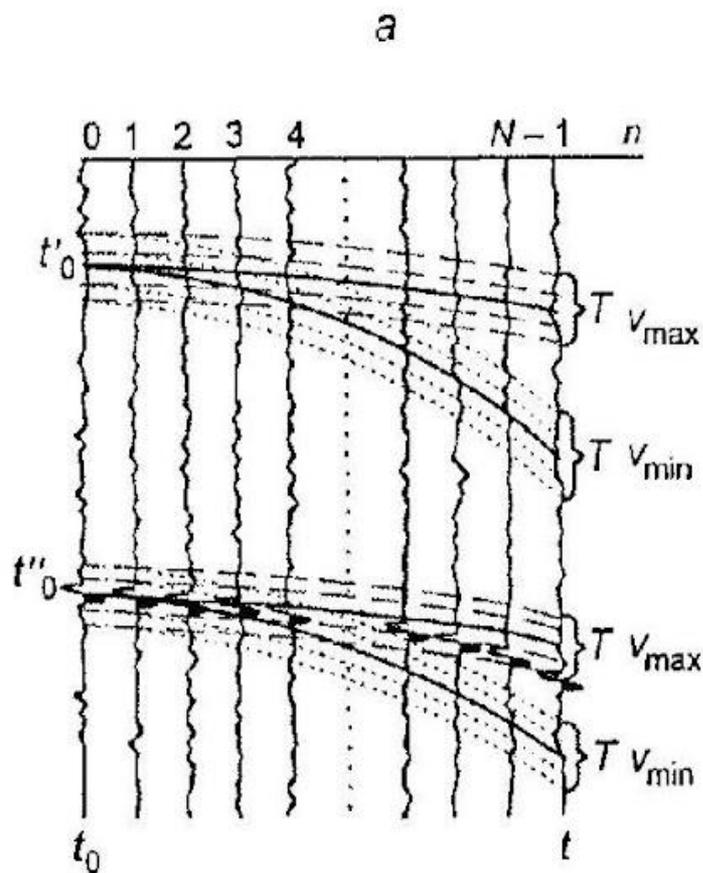
Процедура определения скоростей по сейсмограммам ОСТ (ОГТ) называется *скоростным анализом* и выполняется интерпретатором в интерактивном режиме с помощью специальной программы, имеющейся в пакете обрабатывающих процедур.

Скоростной анализ

Принцип построения спектров скоростей $V_{OГТ}$:

а – сейсмограмма ОГТ с двумя интервалами скоростного анализа;

б – спектры скоростей для обоих интервалов анализа



Критерии синфазности.

Критерии, различаясь расчетными формулами, имеют общее свойство: их значения максимальны, когда пробный годограф совпадает с осью синфазности регулярной отраженной волны на сейсмограмме; значения критериев уменьшаются по мере увеличения расхождения между этим годографом и реальной волной.

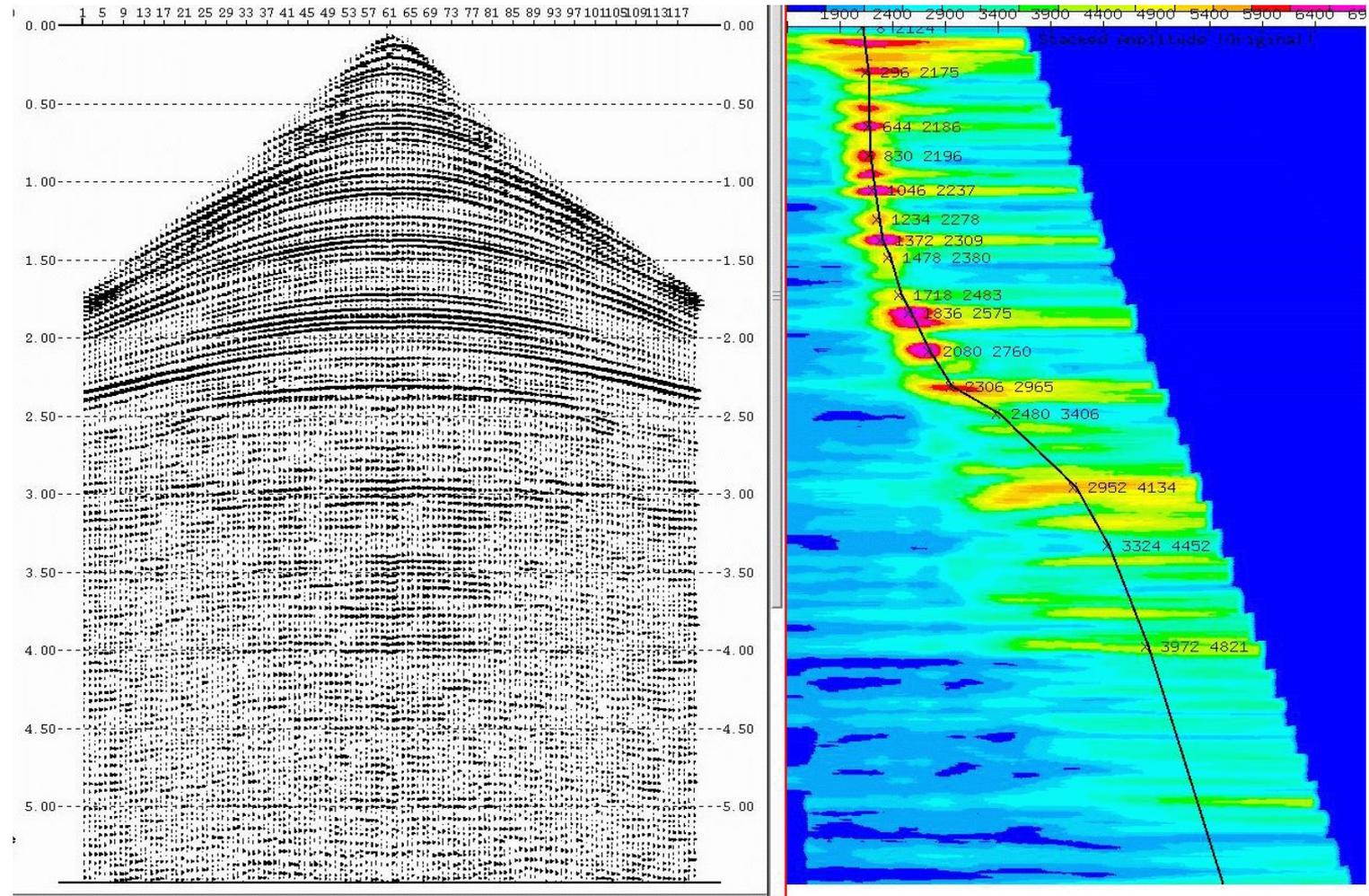
Количество амплитудных отсчетов, соответствующих расчетному годографу, равно числу N трасс сейсмограммы. Этого количества из-за малого объема выборки недостаточно для получения устойчивой статистической оценки. Поэтому критерий синфазности вычисляют не по одному годографу, а по множеству из $M+1$ соседних годографов, для которых при фиксированном значении параметра $V_{огт}$ величина нормального времени отражения t_{0m} изменяется в заданном интервале T , расположенном симметрично относительно исходного значения t_0 .

Наиболее часто используется *критерий* определяющий *энергию когерентной части колебаний* (когерентность от лат *cohaerens* – находящийся в связи, коррелированный во времени и пространстве колебательный процесс)

$$E(t_0, V_{огт}) = \frac{1}{M+1} \sum_{m=-\frac{M}{2}}^{m=\frac{M}{2}} V_m$$

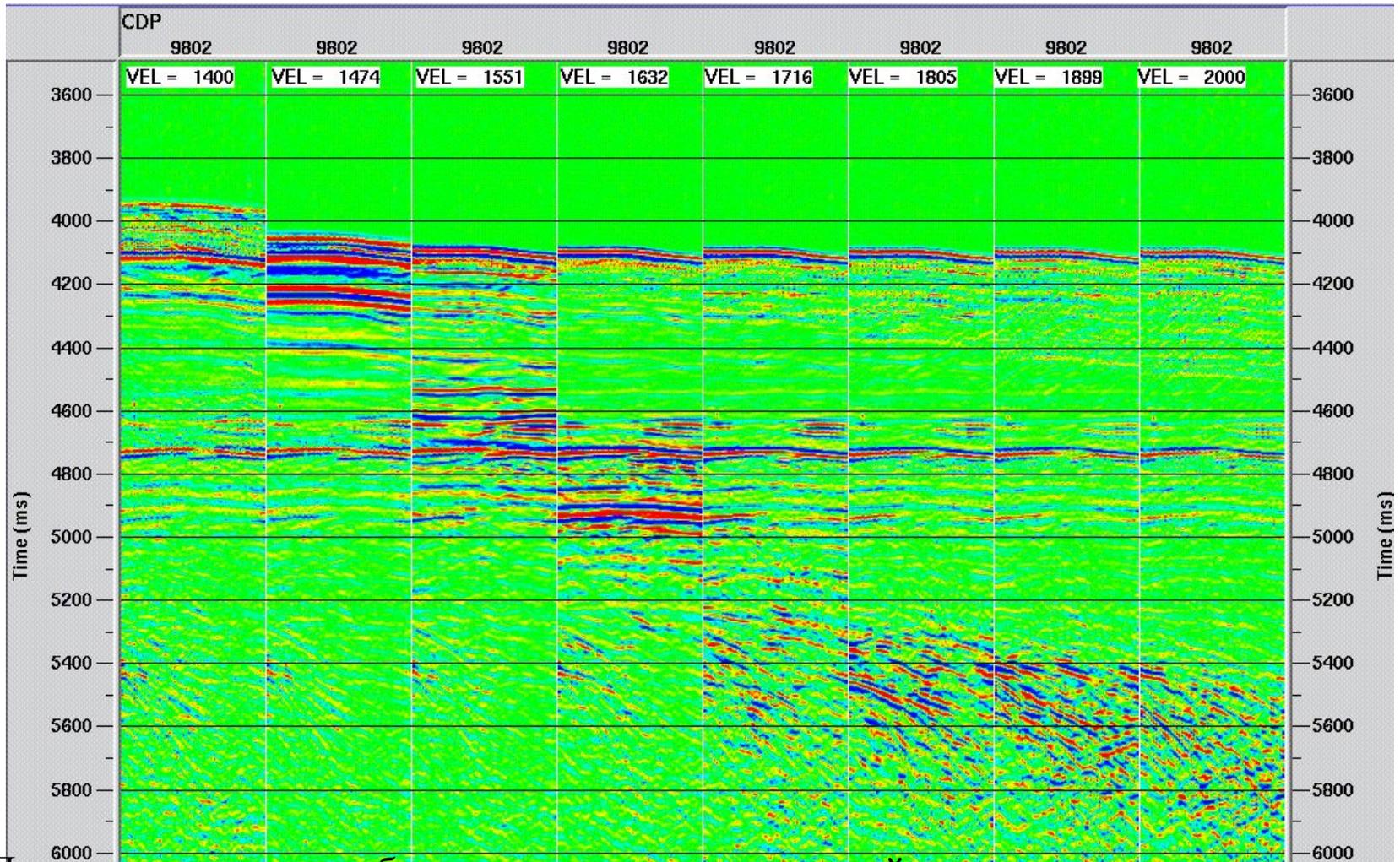
$V_m = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{n-1} y_{mn}(t_{mn}) \right]^2$ - *квадрат среднего значения амплитуд* на линии годографа t_{mn} ,

Вертикальный спектр скоростей



Анализ и обобщение множества вертикальных спектров скоростей, построенных на площади работ, позволяет уточнить для нее скоростной закон $V(x, y, t_\rho)$ и выполнить коррекцию нормальных кинематических поправок (*НКП*).

Сканирование (перебор) скоростей



Достоинством способа сканирования скоростей является то, что критерием правильности введенных кинематических поправок непосредственно служит результат обработки - временной разрез.

Недостатком этого способа является субъективный характер визуальной оценки качества отражений на временном разрезе.