

Сеймостратиграфия: учеб.-метод. / Б.А.Спасский, И.Ю.Герасимова; Перм. ун-т. – Пермь, 2007

Сейсмическая стратиграфия / под ред. Ч. Пейтона: в 2 ч. М.: Мир, 1982

Нежданов А.А. Геологическая интерпретация сейсмических данных. Тюмень, 2000

Общие сведения

Термин - "сейсмостратиграфия" появился в 1975 г. во время конгресса Американской ассоциации геологов-нефтяников (AAPG), когда состоялся первый симпозиум, посвященный геологической интерпретации данных сейсморазведки (сейсмостратиграфии). Основы метода были изложены в книге "Seismic Stratigraphy - application to hydrocarbon exploration", edited by Charles E. Payton.

Рождение этого метода и широкое его внедрение в практику поисково-разведочных работ на нефть и газ вызвало эйфорию у геологов и геофизиков-нефтяников, но, тем не менее, количество ловушек УВ, подготавливаемых к бурению по сейсморазведочным данным с использованием сейсмостратиграфического подхода, не обеспечивает высокой эффективности поисковых работ. Почему?

1) используются слишком упрощенные интерпретационные подходы

2) методологические подходы и теоретические представления о расшифровке геологического строения осадочных бассейнов по сейсморазведочным данным требуют уточнения и переосмысливания на материалах по конкретным бассейнам и регионам.

3) изучаемые объекты имеют сложное строение, а интерпретация эффектов, регистрируемых на сейсмических разрезах, неоднозначна и в большей или меньшей степени вероятностна. Эти эффекты могут отражать как наличие ловушки или залежи, так и не быть связанными с существованием нефтегазоперспективного объекта

4) разрешающая способность даже современной сейсморазведки МОВ ОГТ в большинстве случаев недостаточна для уверенного картирования Л УВ

В любом случае, с момента появления сейсмического метода отраженных волн (МОВ) в комплексе поисково-разведочных работ на нефть и газ его основная роль заключалась в картировании структурных планов отложений и обнаружении потенциальных ловушек углеводородов (прежде всего, структур антиклинального типа).

Однако даже в начальный период развития было ясно, что возможности сейсморазведки позволяют изучать не только характер залегания отражающих границ, но и решать более широкий круг задач, в том числе и определять характеристики коллекторов.

Как известно, залежи нефти или газа – это конечный продукт ряда предыдущих геологических и химических процессов, которые до сих пор недостаточно изучены.

Для возникновения залежей УВ в самом общем виде необходимы определенные геологические условия:

- 1) развитие осадочного бассейна, в пределах которого происходит образование осадочных пород значительной мощности;
- 2) наличие органического вещества, которое в рассеянном состоянии откладывается вместе с осадками, преобразуясь в глинистые сланцы и другие породы-неколлекторы (нефтематеринские свиты);

- 3) отложение пористых и проницаемых пород-коллекторов (песчаников, карбонатов) и их переслаивание с плотными породами-покрышками;
- 4) достаточно быстрое захоронение нефтематеринских пород с органикой на сравнительно большие глубины, где возникают условия, необходимые для преобразования органики в углеводороды (высокое давление и температура свыше 100°);
- 5) большие давления, при которых созревшие УВ вместе с водой выжимаются из глин (нефтематеринских пород) в прилегающие к ним пласты-коллекторы, становящиеся продуктивными пластами - первичная миграция;
- 6) тектоническая перестройка района с образованием ловушек УВ (например, структур антиклинального или более сложного типа строения);
- 7) вторичная миграция нефти и газа, происходящая в пластах-коллекторах благодаря плавучести нефти и газа и движению воды сквозь проницаемые породы под воздействием гидродинамических факторов;

С учетом фаз формирования залежей УВ геолого-разведочные работы на нефть и газ обычно проводятся в несколько этапов

В процессе **региональных** исследований изучаются общее геологическое строение региона, местоположение возможных нефтегазоносных бассейнов, зон нефтегазонакопления, а также крупных ловушек УВ.

По результатам исследований проводится регионально-зональный прогноз углеводородов, даются рекомендации по параметрическому бурению глубоких скважин.

Поисковый этап направлен на поиски ловушек углеводородов (новых месторождений или новых залежей на ранее открытых месторождениях).

По результатам исследований даются рекомендации по постановке поисково-разведочных скважин на выявленных ловушках с целью подтверждения их нефтегазоносности.

Объектом **разведочного** этапа является детализация строения уже открытых месторождений (ловушек, где нефтегазоносность продуктивных горизонтов уже подтверждена скважинами).

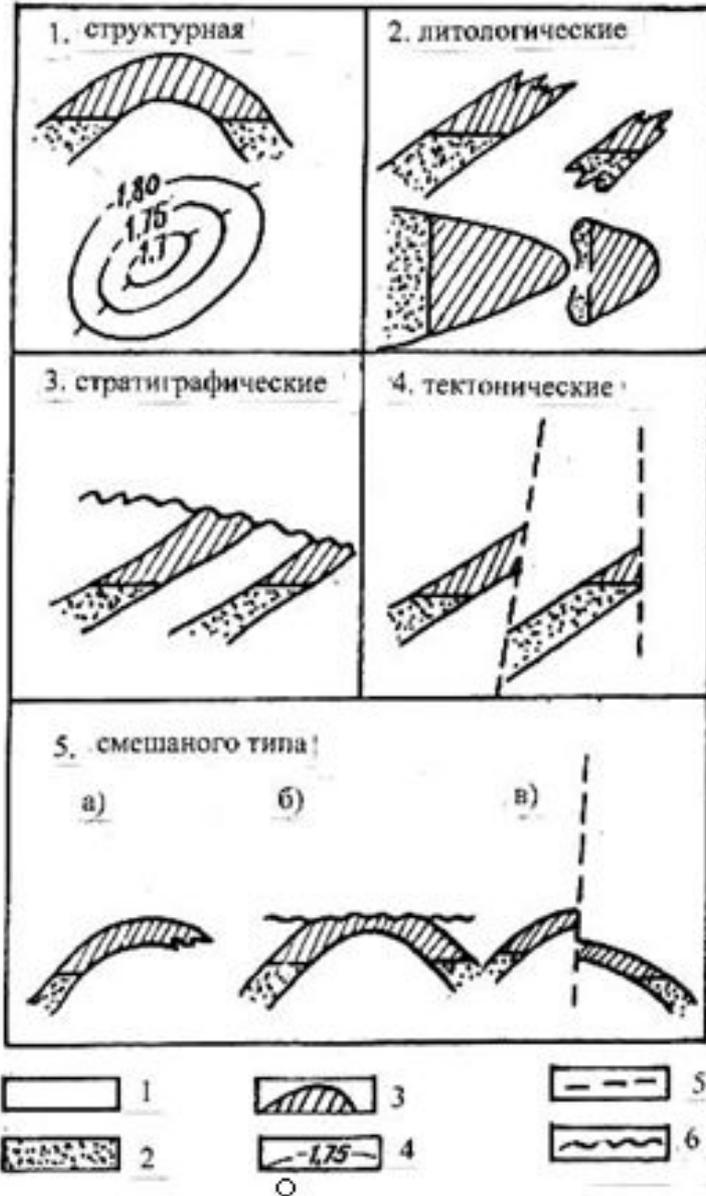
устанавливается тип залежи (пластовый, массивный, литологический или стратиграфически ограниченный, тектонически экранированный и т.д.), проводятся геометризация и определение ее границ, эффективной мощности коллектора, значений пористости, нефтенасыщенности и других параметров залежи в межскважинном пространстве.

Результирующим этапом работ является подсчет запасов, который утверждается специальной государственной комиссией по запасам (ГКЗ), после чего разрабатывается проект эксплуатации месторождения.

Около 80% залежей в мире связано с ловушками структурного типа

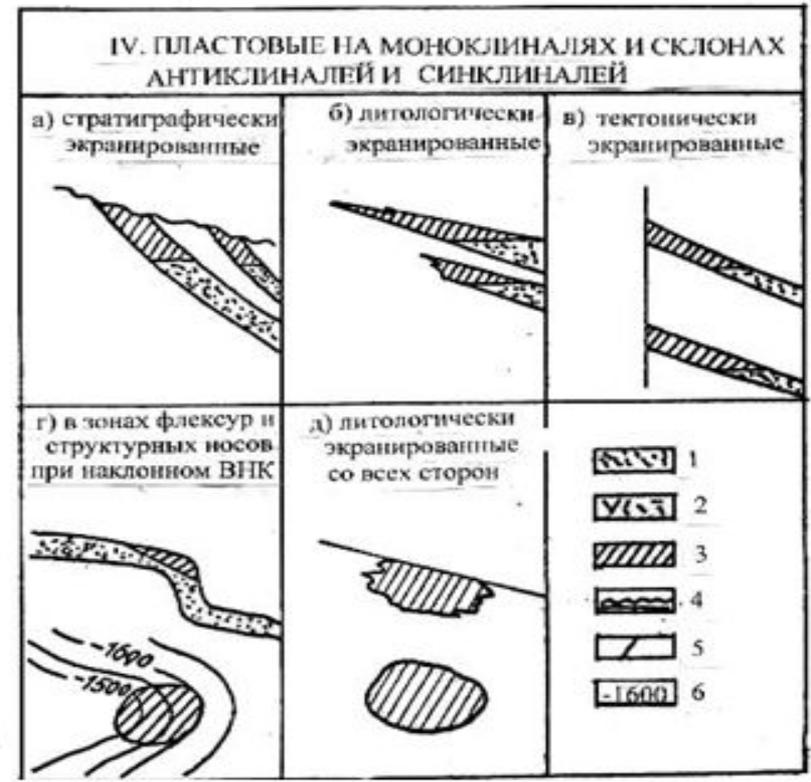
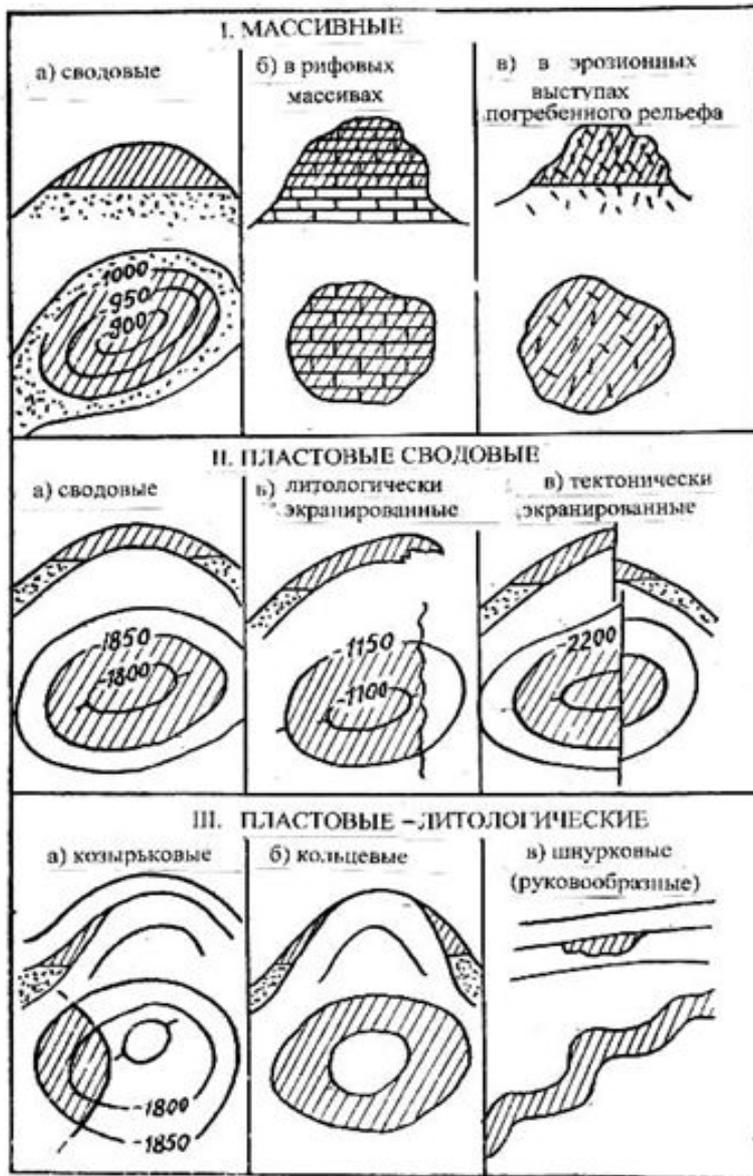
В процессе **эксплуатационного** этапа проводятся добыча УВ на уже разведанных месторождениях и мониторинговые работы по его разработке.

Типы ловушек и залежей нефти и газа. Составил Е.М. Максимов.



1 – структурного (антиклинального) типа (*сводовая*), образованная в результате изгиба слоев;
 2 – литологического типа, образованная в результате литологического замещения пористых проницаемых пород непроницаемыми;
 3 – стратиграфического типа, сформированная в результате эрозии пластов — коллекторов и перекрытия их затем непроницаемыми породами;
 4 – тектонического типа, образованная в результате вертикального перемещения мест обрыва относительно друг друга, пласт-коллектор в месте тектонического нарушения может соприкаться с непроницаемой горной породой;
 5 – комбинированного типа
 а) структурно-литологический; б) структурно-стратиграфический; в) структурно-тектонический.

Условные обозначения: 1 – глины; 2 – пески водоносные; 3 – часть ловушки, где может образоваться скопление нефти и газа; 4 – изолинии глубины залегания кровли пласта в километрах; 5 – линии тектонических нарушений; 6 – линии стратиграфических перерывов, размывов, несогласного залегания



Классификация залежей нефти и газа по типам резервуаров и ловушек. Составил Е.М.Максимов.

1 – пласты-коллекторы; 2 – зоны трещиноватости; 3 – залежь нефти; 4 – границы стратиграфические и литологические; 5 – линии тектонических нарушений; 6 – изолинии глубины залегания по кровле пласта в метрах

Сейсморазведка методом отраженных волн оказалась наиболее развитым геологическим инструментом как для проведения региональных работ, так и для поиска, разведки и даже мониторинговых исследований месторождений нефти и газа.

Ключевой подход сейсмической стратиграфии, предложенный американскими геологами, занимавшимися обобщением сейсмических материалов (П.Р.Вейл, Р.М.Митчел мл., Д.Б.Сангри и др.), состоит в том, что сейсмические разрезы рассматриваются как природные обнажения геологического разреза.

Таким образом, сейсмическая стратиграфия основывается на изучении сейсмогеологических поверхностей раздела (внешних и внутренних).

Цель анализа - расчленение сейсмического разреза на некоторые аналоги осадочных комплексов – сейсмические комплексы, генетически увязанные с тектоно-седиментационными особенностями развития и строения бассейна.

(Р.Е. Шериф).

«Чем является стратиграфическая интерпретация сейсмических данных – искусством или наукой? Сегодня это скорее искусство-выделение на разрезах характерных комбинаций отражений и их интерпретация с помощью изрядной доли воображения. Однако это искусство, не терпящее вольностей, не выходящее за рамки, определяемые фундаментальными положениями. Успешное решение стратиграфических задач путём интерпретации данных сейсморазведки зависит от правильного сочетания трёх элементов: знания физических законов, опыта и воображения.»

При сейсмических исследованиях изучаются отражающие горизонты, которые чаще всего совпадают с положением в геологическом разрезе пород различного литологического состава, т. е. с геологическими границами.

При этом качество интерпретации материалов в значительной мере зависит от того, насколько низок уровень помех, т.е. насколько сейсмический сигнал действительно является отражением от реальной границы. Отсюда следует важность высокого качества как первичной информации, так и ее обработки.

Основная цель сейсмических исследований - получение максимального количества полезной информации, позволяющей наилучшим образом и с наименьшими затратами решать поставленные геологические задачи, например, детализацию геологического строения какого-либо объекта.

Общей задачей обработки данных является подавление помех и извлечение из полученных сейсмограмм полезного сигнала (однократно отраженных волн) с наименьшими искажениями, иначе, обеспечение максимального отношения сигнал/помеха и качественное соответствие временного или глубинного разреза с исследуемым строением.

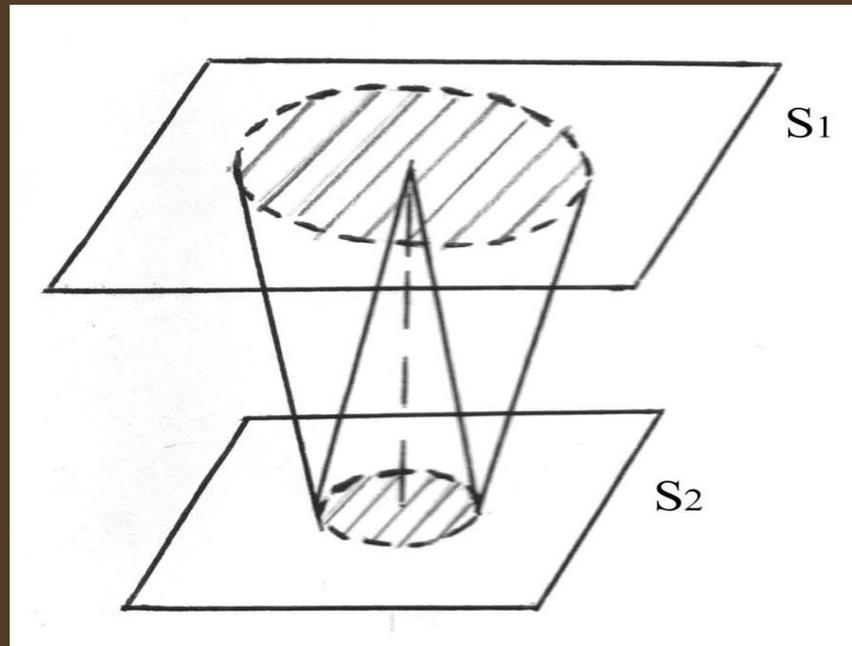
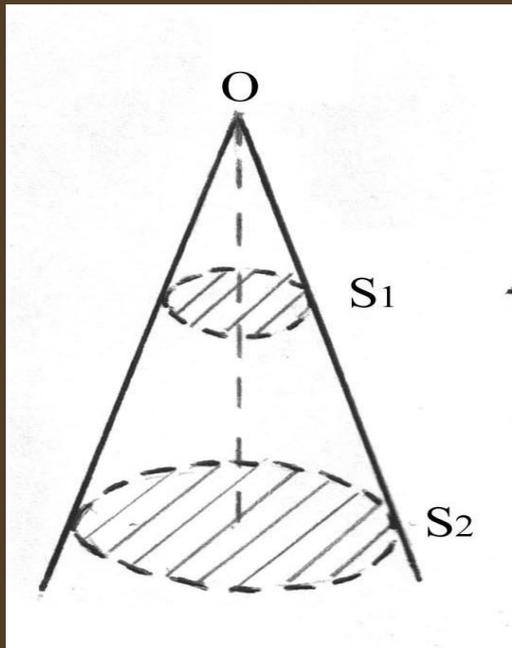
**Факторы, влияющие на
характеристики
отраженных волн
(основные)**

1) Геометрическое расхождение фронтов волн

Если в среде выделить сферический луч (лучевую трубку), то можно утверждать, что внутри луча распространяется некоторая постоянная доля энергии источника

Очевидно, что количество энергии, отнесенное к единице площади сечения данного луча плоскостью, нормальной лучу, на разных расстояниях от ПВ будет уменьшаться

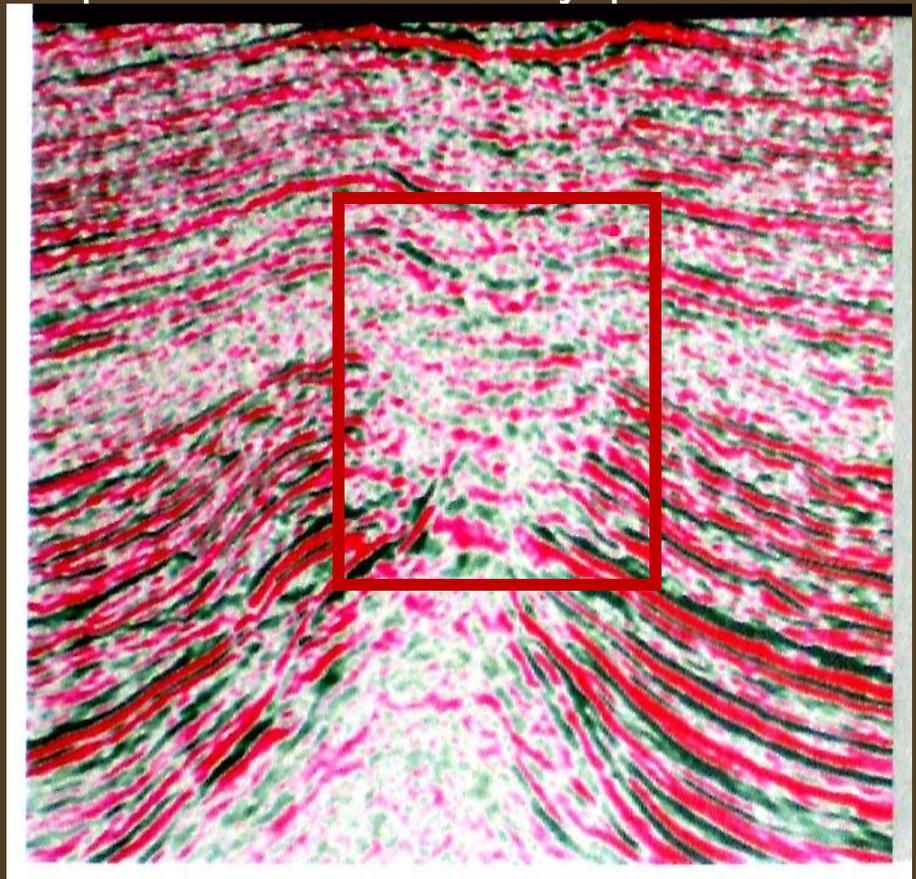
В соответствии с этим уменьшается и амплитуда прямых падающих и отраженных волн



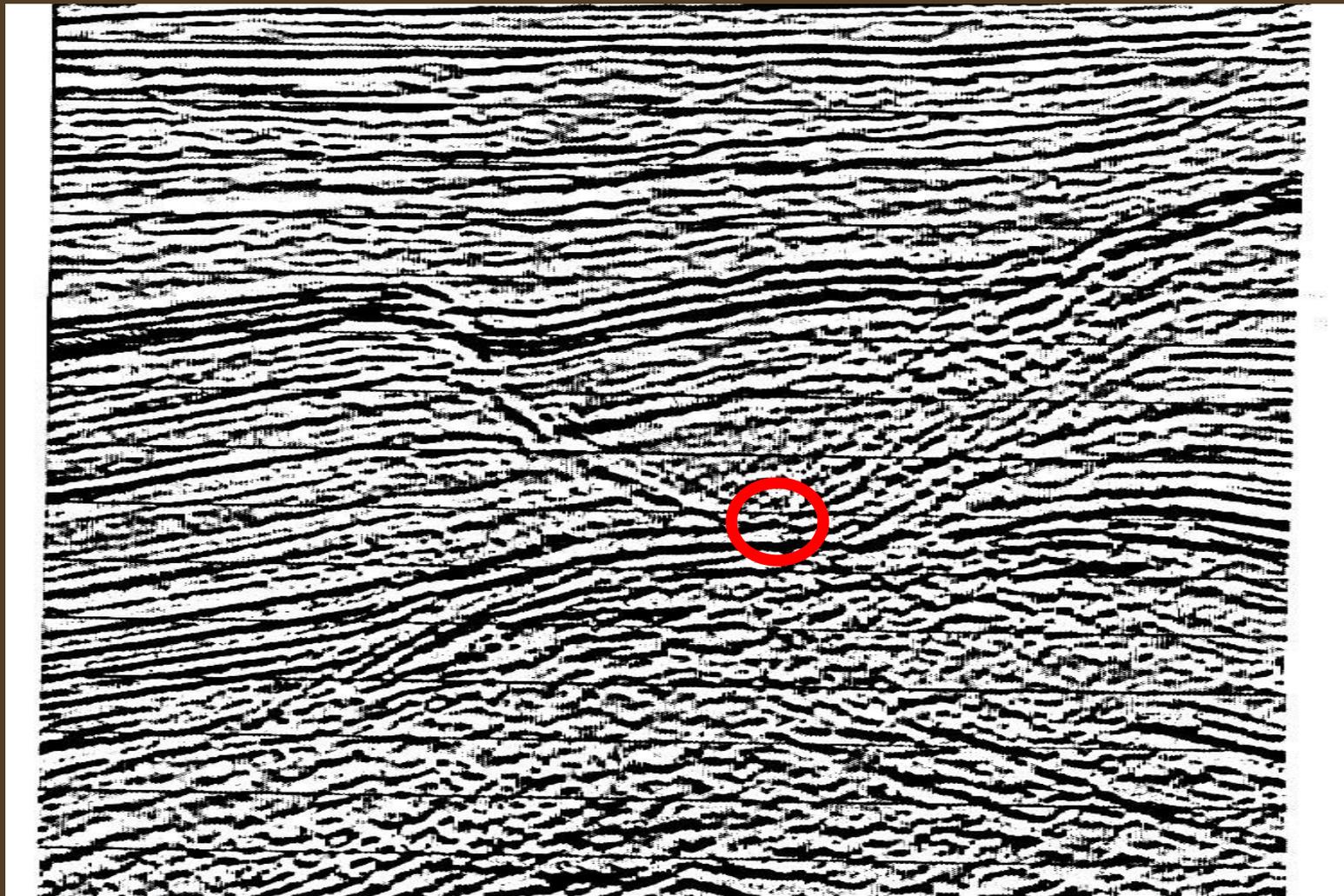
2) Поглощение и рассеяние энергии

В неидеально упругих средах амплитуда колебаний при их распространении уменьшается с расстоянием в связи с явлением поглощения

Это происходит за счет преобразования упругой энергии волны в другие виды - тепловую и энергию изменения внутренней структуры сред



Помимо поглощения наблюдается эффект ее рассеяния на неоднородностях, размер которых меньше длины распространяющихся волн.



3) Перераспределение энергии на отражающих границах

Величина коэффициента отражения, который определяет амплитуду отраженной волны при нормальном ее падении на границу двух сред со скоростями V_k и V_{k-1} и плотностями ρ_k и ρ_{k-1} , определяется выражением

$$A_{pp} = \frac{\rho_1 V_{p1} - \rho_2 V_{p2}}{\rho_1 V_{p1} + \rho_2 V_{p2}}$$

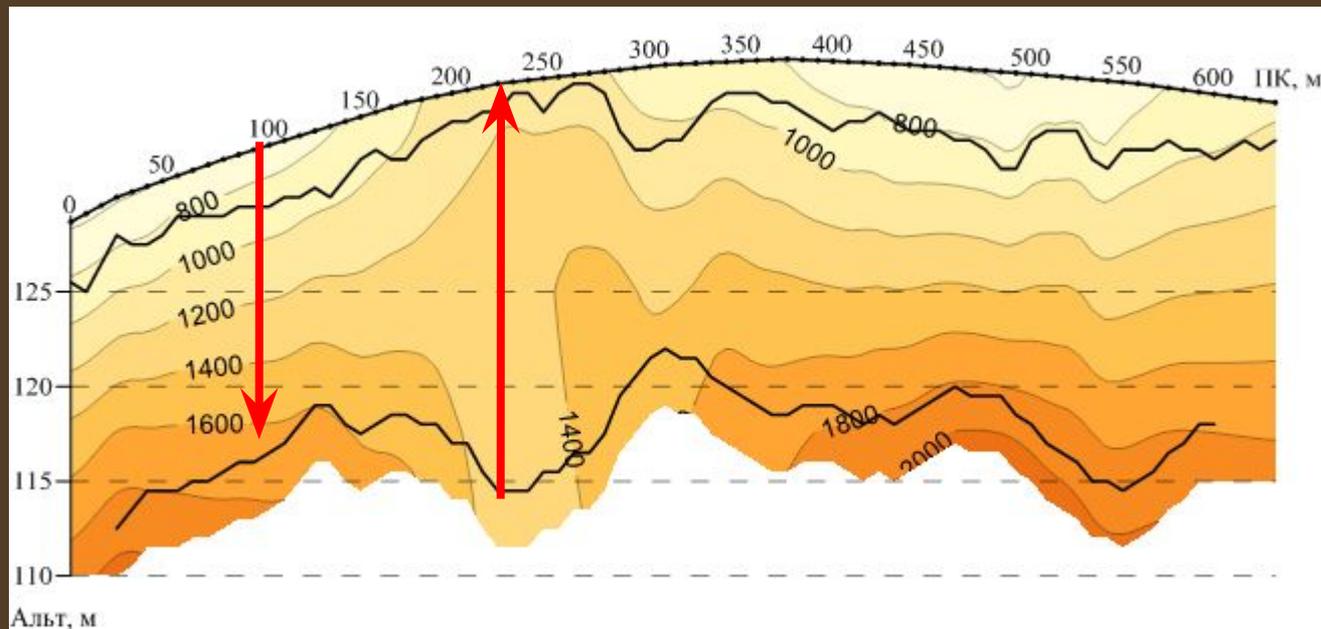
Отсюда следует, что чем больше различие акустических жесткостей на границе, тем больше амплитуда волны отраженной от этой границы.

Коэффициент прохождения B , т.е. доля энергии колебаний, проходящих в нижнюю среду, будет равен соответственно

$$B_{pp} = \frac{2\rho_1 V_{p1}}{\rho_1 V_{p1} + \rho_2 V_{p2}}$$

4) Влияние неидентичности условий возбуждения и приема колебаний

Поскольку возбуждение и регистрация упругих колебаний проводятся вблизи или на поверхности Земли, то из-за различия литологического состава, степени уплотнения и обводненности пород спектр возбуждаемых и регистрируемых сигналов (а соответственно и форма колебаний на сейсмограммах) в значительной степени может изменяться на разных участках профиля



5) Тонкая слоистость геологического разреза

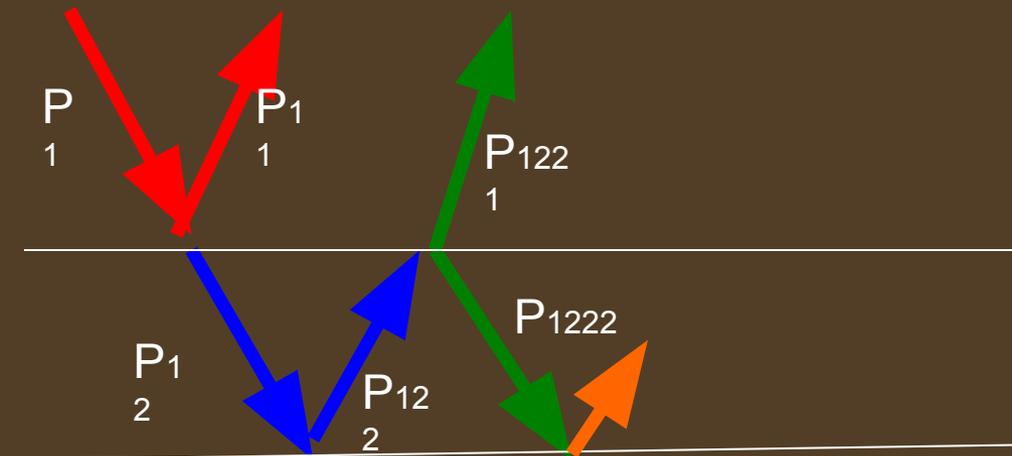
На практике обычно считается, что к тонким относятся пласты, мощность которых меньше длины волны

Пусть на верхнюю границу тонкого слоя падает плоская гармоническая продольная волна P_1 .

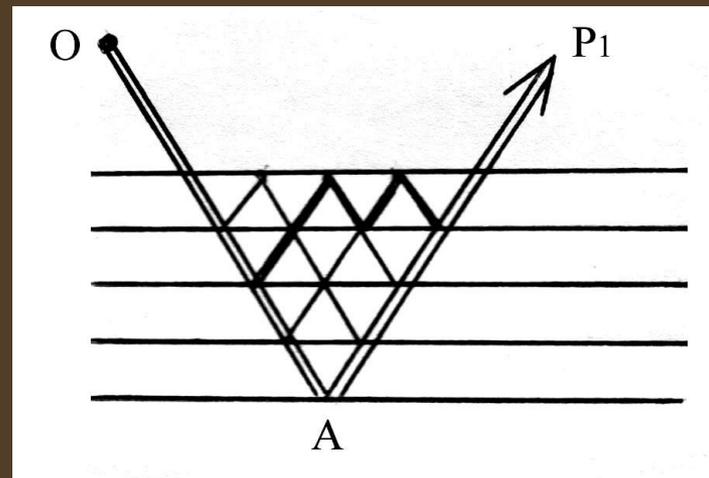
Отражаясь от границы, она образует отраженную волну P_{11} .

Внутри слоя II возникает проходящая волна P_{12} , которая, достигнув нижней границы, отражается и создает волну P_{122} .

Последняя, вернувшись к верхней границе, вновь частично отражается, возбуждает волну P_{1222} и частично проходит в пласт I, где возникает волна P_{1221} . И т.д.



Таким образом, в пласт I кроме волны P_{11} , пойдет бесчисленное множество волн, отразившихся 1, 3, 5 и более раз внутри слоя.



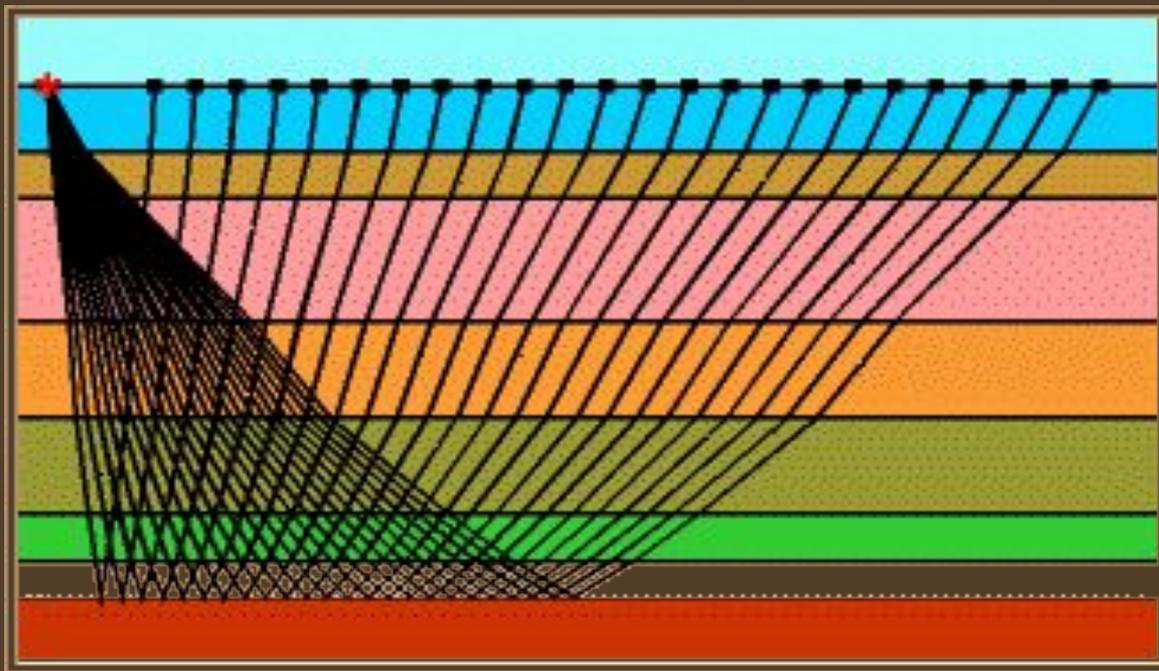
дополнительно одновременно с однократно отраженной волной на каждой границе возникают частично кратные отражения

Все эти колебания, имеющие разные траектории пути, характеризуются в тонкослоистой пачке пород примерно равными временами пробега. С небольшими временными сдвигами относительно однократной волны эти колебания возвращаются к поверхности наблюдения в виде одного суммарного (интерференционного) волнового пакета.

Поэтому, используя при кинематических расчетах толстослоистые скоростные модели сред, необходимо помнить, что **каждый импульс, который мы считаем однократно отраженным от той или иной границы, является интерференционным (суммарным). Этот импульс формируется в реальности не одной границей, а серией тонких пластов.**

6) Наложение волн-помех

На рисунке представлены схематические ходы луча всего для 24 приемников и только с одним отражающим горизонтом.



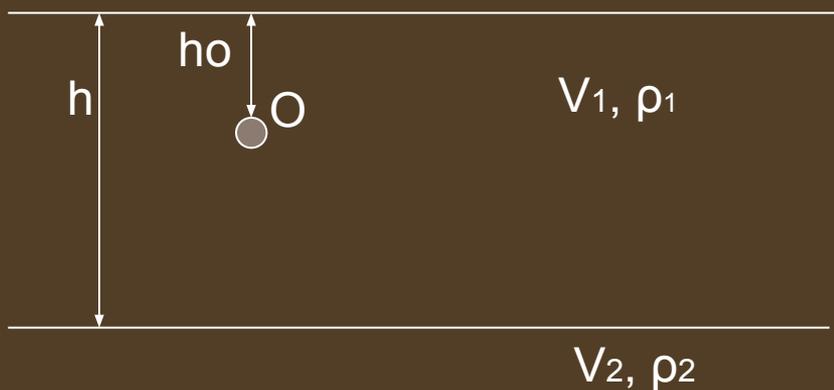
Понятно, что в реальных условиях, на каждой из границ возникают преломленные и отраженные волны, а, кроме этого, другие классы и типы волн.

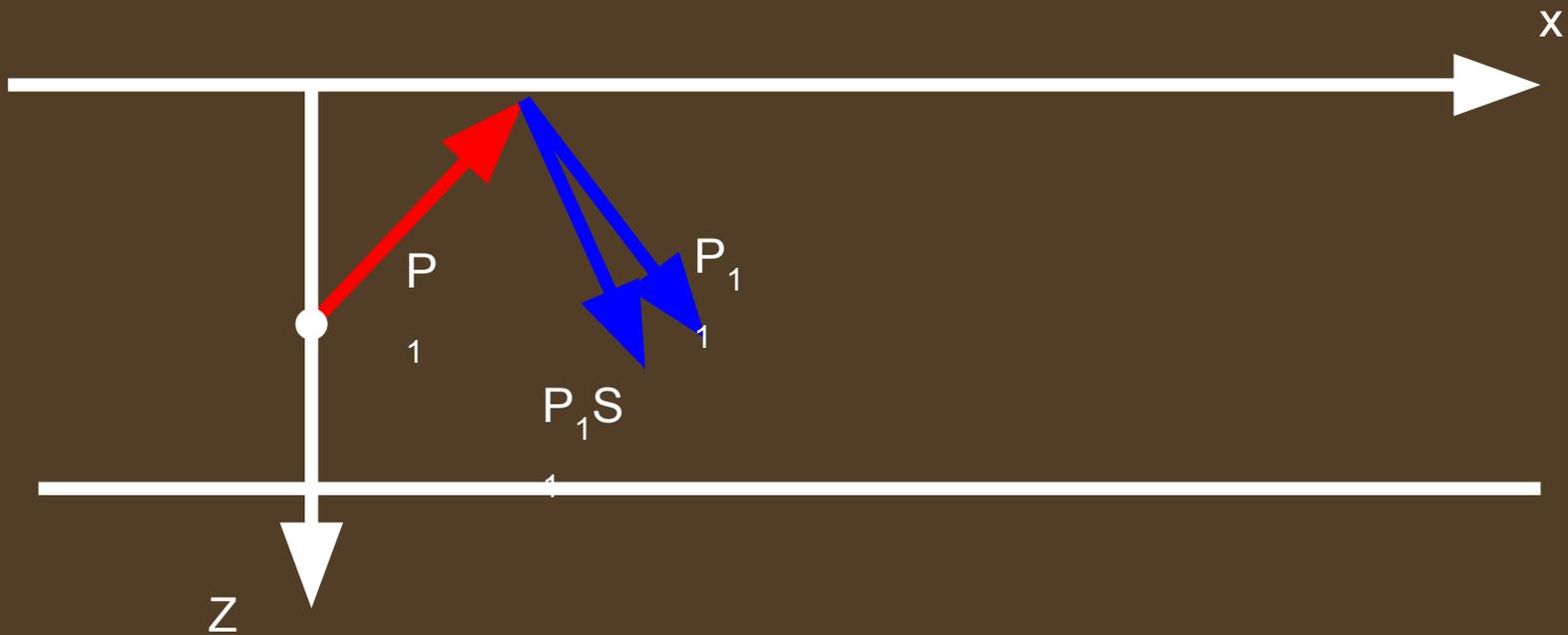
Рассмотрим случай, когда на упругом полупространстве залегает слой мощностью h .

Свойства слоя определяются постоянными V_1, ρ_1 , свойства полупространства — V_2, ρ_2 .

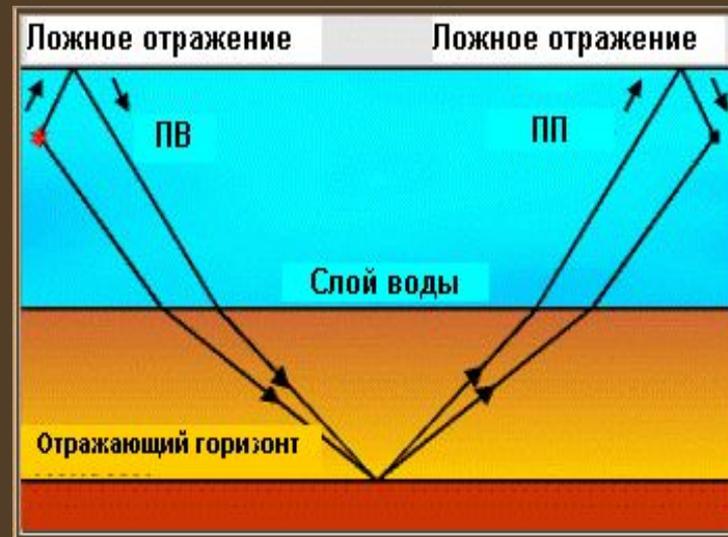
Источник продольных волн помещается внутри слоя на глубине h_0 в точке O .

Внутри слоя существует большое число волн, которые могут быть подразделены (исключая прямую волну) на три семейства волн: отраженные, преломленные и поверхностные.

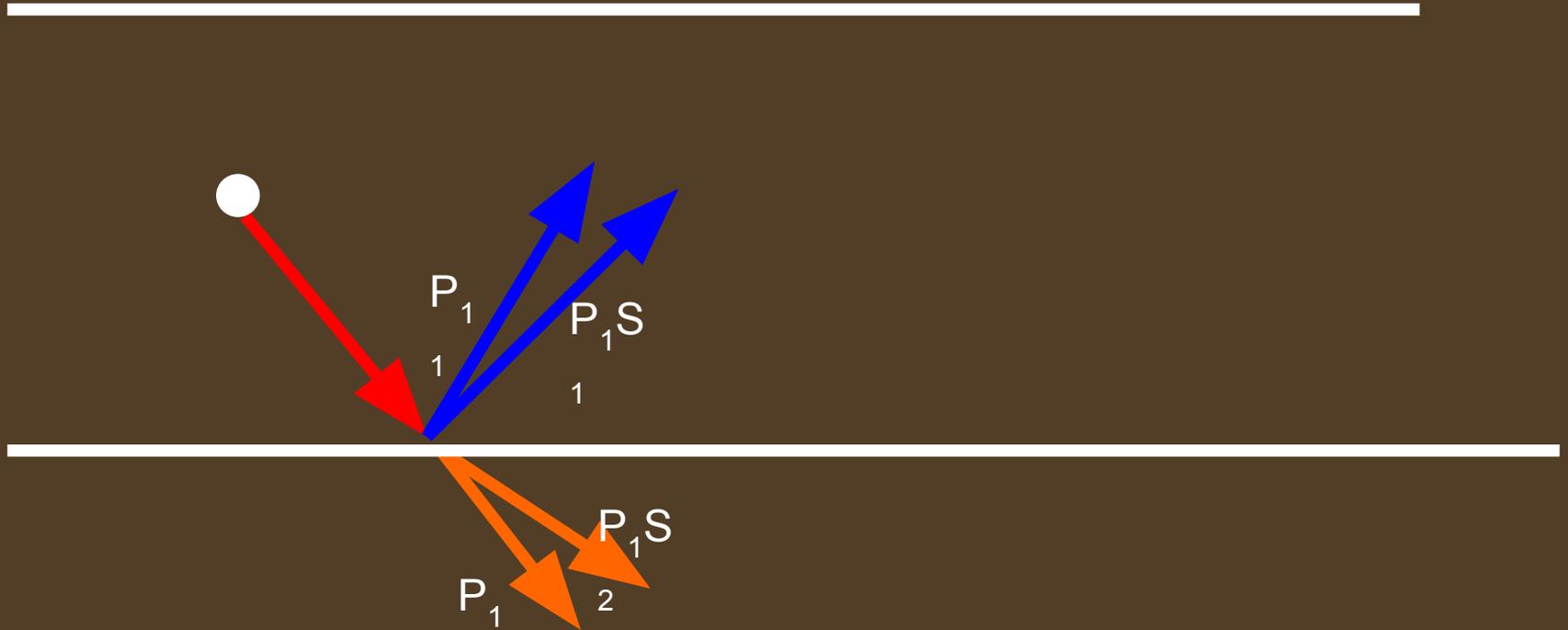




Волны, образованные прямой волной P_1 , падающей сначала на свободную границу, называют **волнами-спутниками** или **ложными волнами**.



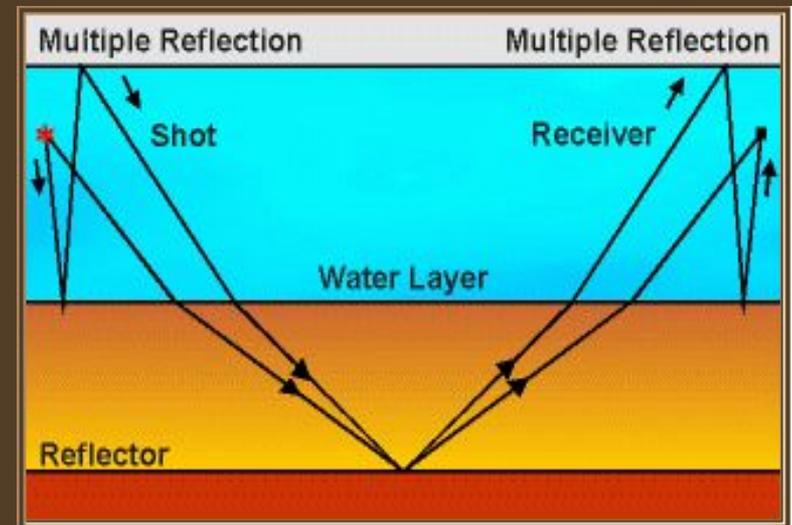
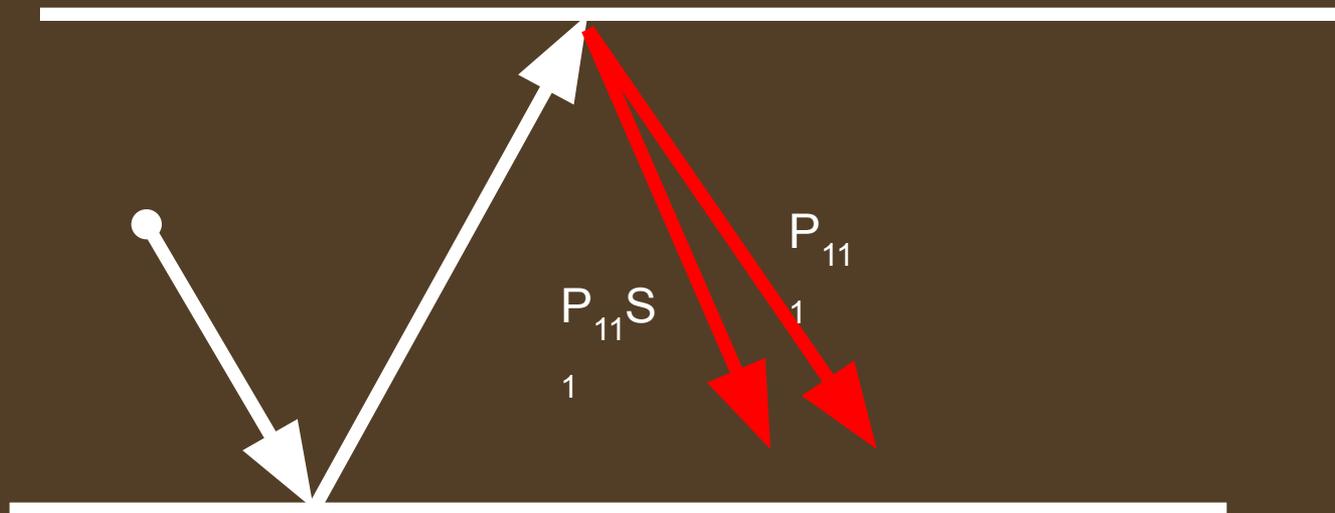
Возможные пути для ложных отражений



В общем случае при падении волны на границу раздела сред образуются четыре волны, две из которых (отраженные) возвращаются в слой, а две (проходящие) распространяются в полупространство.

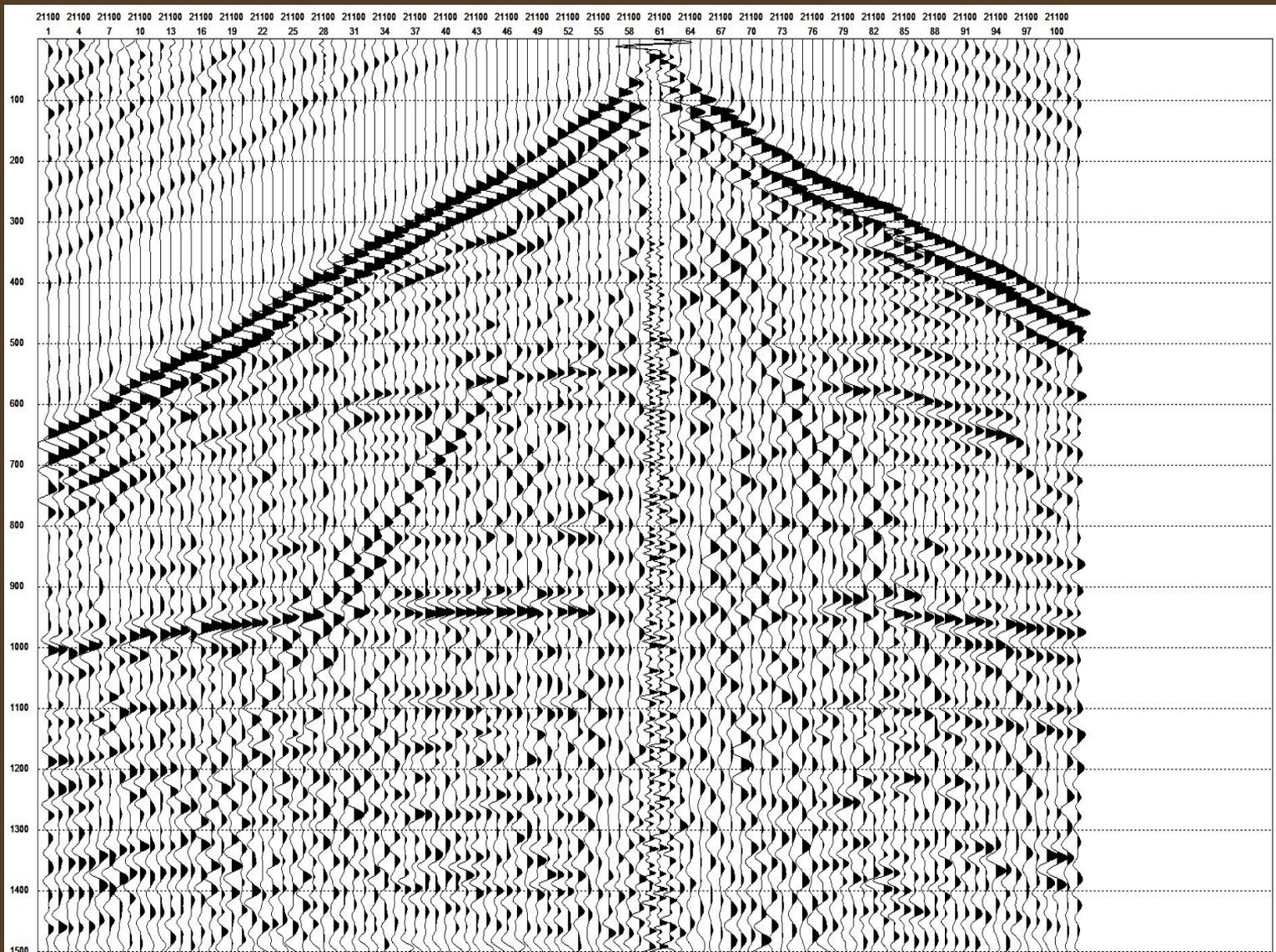
Волны P_{11} и P_{1S1} , распространяющиеся от источника вниз и отразившиеся от границы Q , называют **однократно-отраженными (отраженными)**.

В дальнейшем они образуют **многократно-отраженные** волны, отразившиеся на своем пути 2 и более раз (P_{111} и $P_{12}S_1$).



Возможные пути кратных отражений

Амплитуда кратных отражений появляется на изображении первичного отражателя обычно на некоторое постоянное время ниже его (обычно с обратным знаком).



ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ МОВ ОГТ

Извлечение полезной геологической информации из полевых сейсмических записей происходит в процессе обработки и интерпретации.

При цифровой обработке главной задачей является создание и усовершенствование алгоритмов, обеспечивающих, наряду с высоким разрешением целевых отражений, существенную степень подавления регулярных и нерегулярных волн-помех.

Обработчик «вытягивает» целевые отражающие горизонты на сейсмических разрезах, применяя для этого мощные процедуры обработки данных, иногда безнадежно искажая другие части записи.

основная задача – высокая степень корреляции целевых отражающих границ, указанных в геологическом задании и, по возможности, очищение конечного документа обработки – временного разреза (куба данных при 3D наблюдениях) от волн-помех.

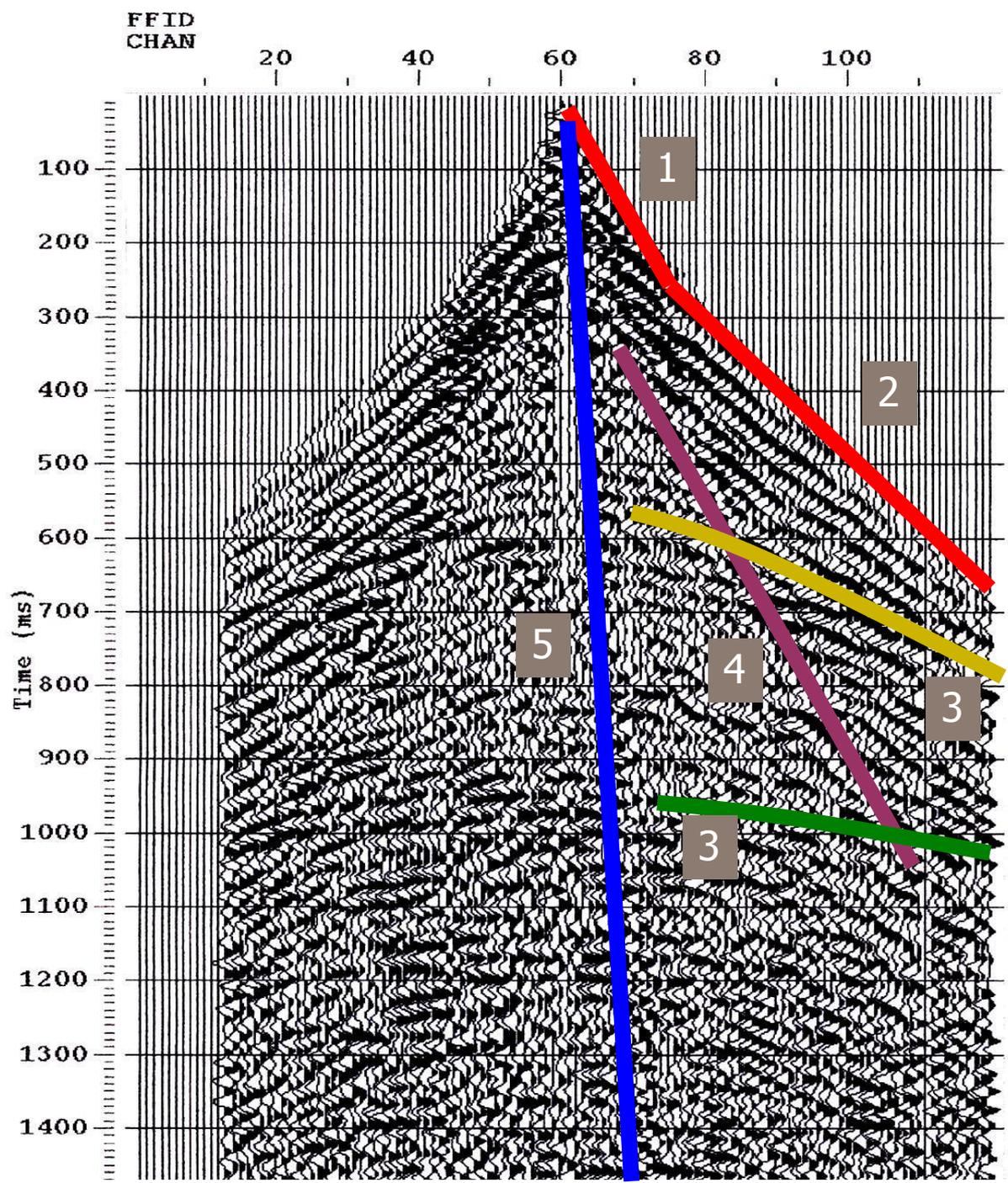
Сам процесс обработки обычно состоит из отдельных этапов, их последовательность составляет **граф обработки**.

Различают условно два подхода к обработке данных сейсморазведки: кинематическая и динамическая обработка

В результате кинематической обработки определяют геометрию границ объекта, в результате динамической – определяют параметры для литолого-фациального районирования, фильтрационно-емкостных свойств коллекторов и других, необходимых при подсчете запасов.

Исходной информацией при стандартном графе кинематической обработки являются три группы данных:

- полевые сейсмические материалы;
- данные по изучению скоростей в верхней части разреза (начальные или априорные статические поправки);
- данные о скоростях в нижних интервалах разреза (фактически, в зависимости от задач последующей интерпретации, это данные СК-ВСП, АК, ГИС и бурения, в том числе и исследования керна).



В нефтяной сейсморазведке под **верхней частью разреза** понимают слой пород от земной поверхности до условного уровня (**уровень приведения**), к которому приводятся при обработке параметры полезных волн (исключают при обработке).

Для оценки скоростных параметров ВЧР в сейморазведке ОГТ используются данные специальных методов изучения верхней части разреза: *микросейсмокаротажа скважин (МСК)* и *метода первых волн (МПВ)*.

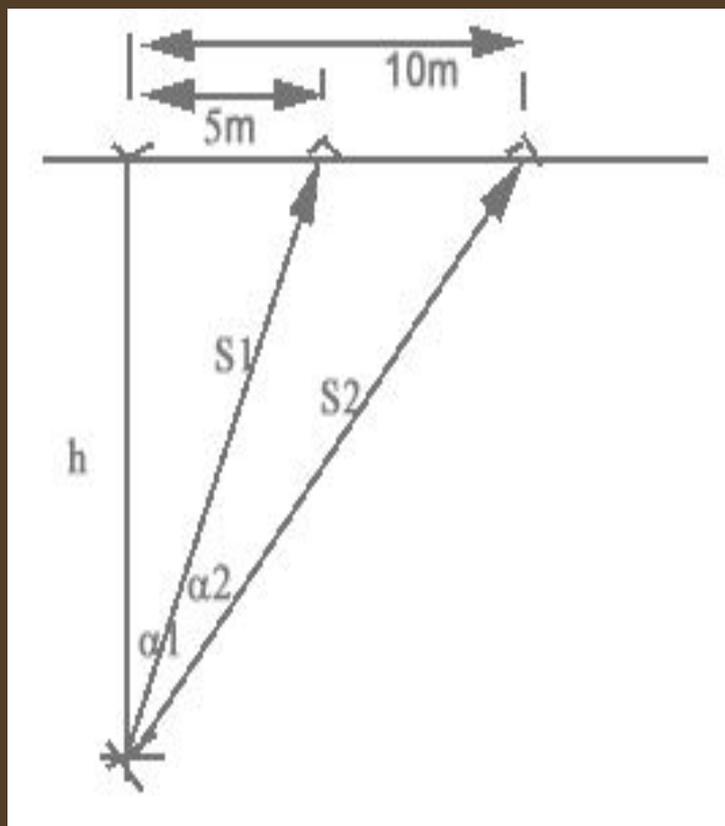
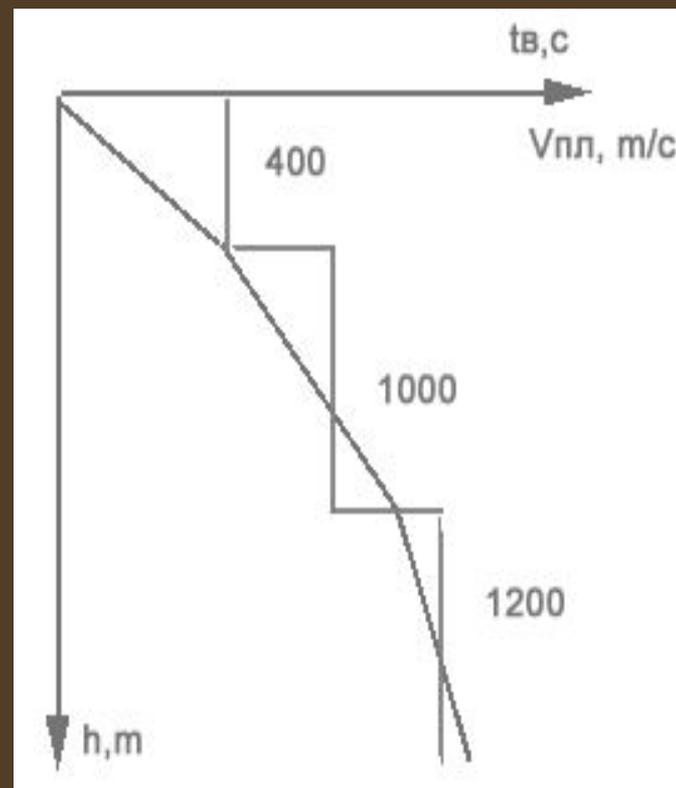
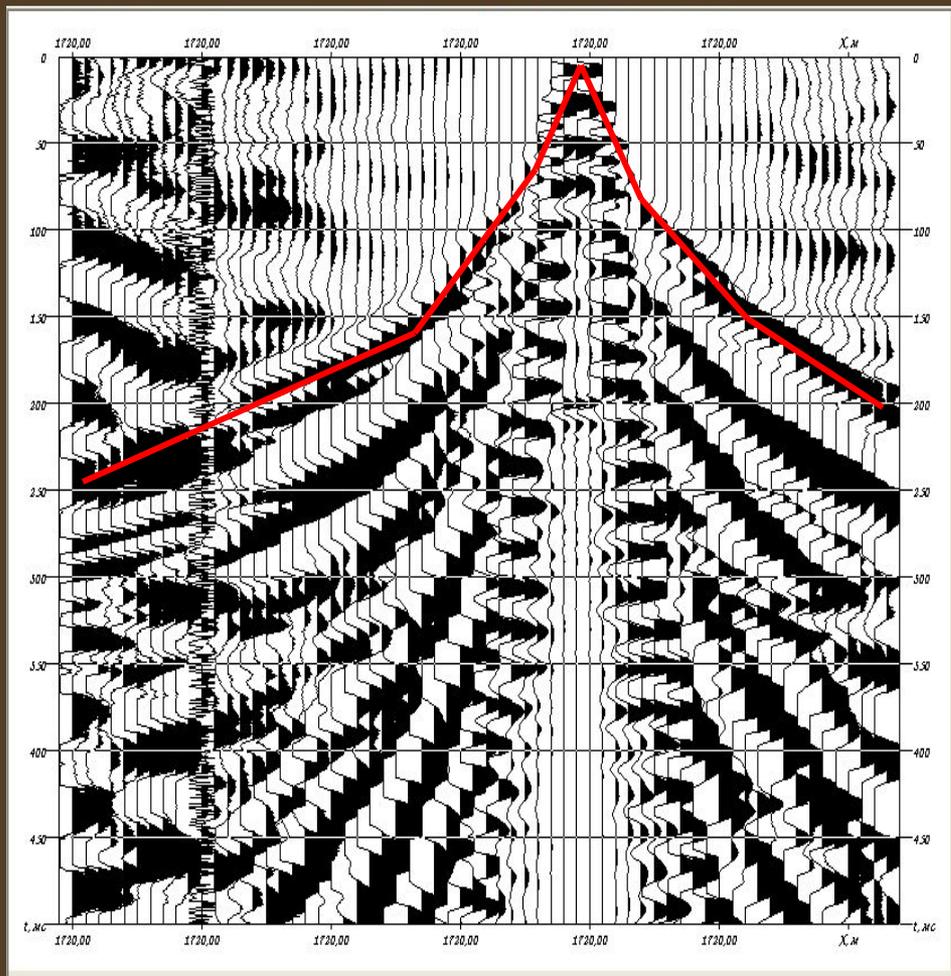


Схема наблюдений при обращенном МСК взрывных скважин

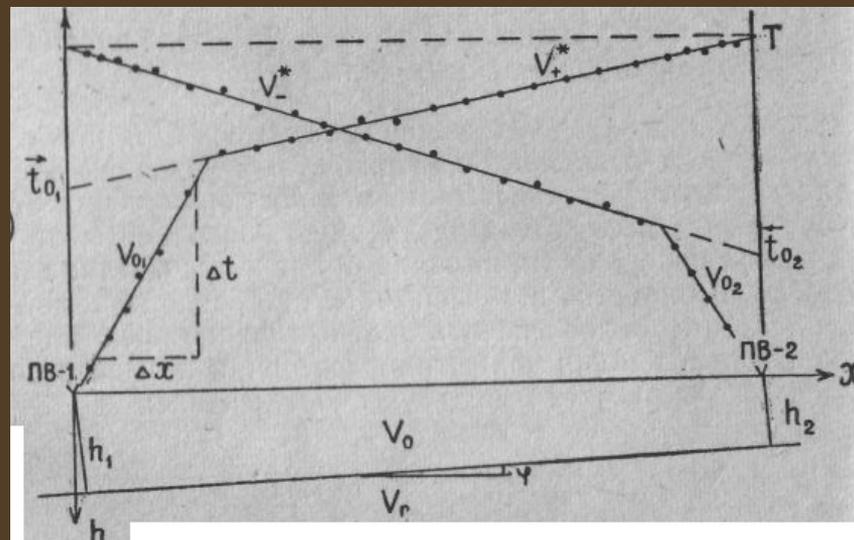


Пример представления результатов микросейсмокаротажа

Для метода первых волн используют колебания, регистрирующиеся в начальной части стандартных сейсмограмм

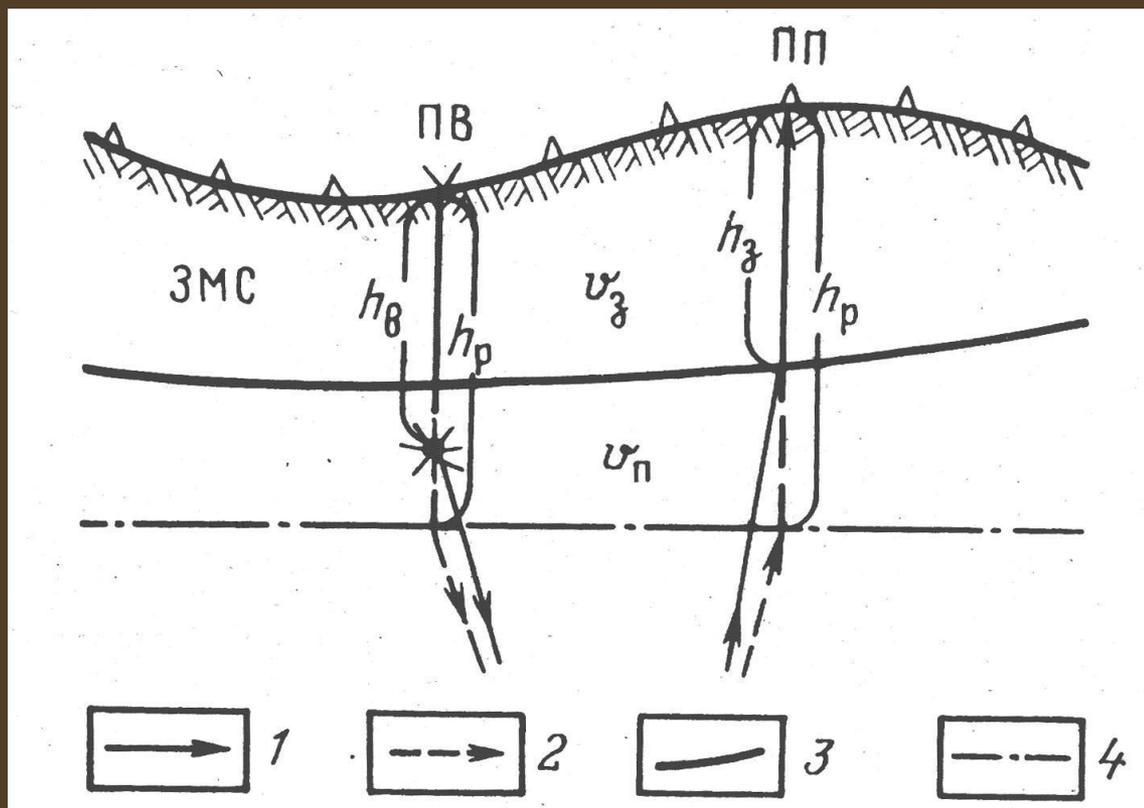


Стандартная сейсмограмма с прокоррелированной осью синфазности ПВ



Пример представления результатов МПВ

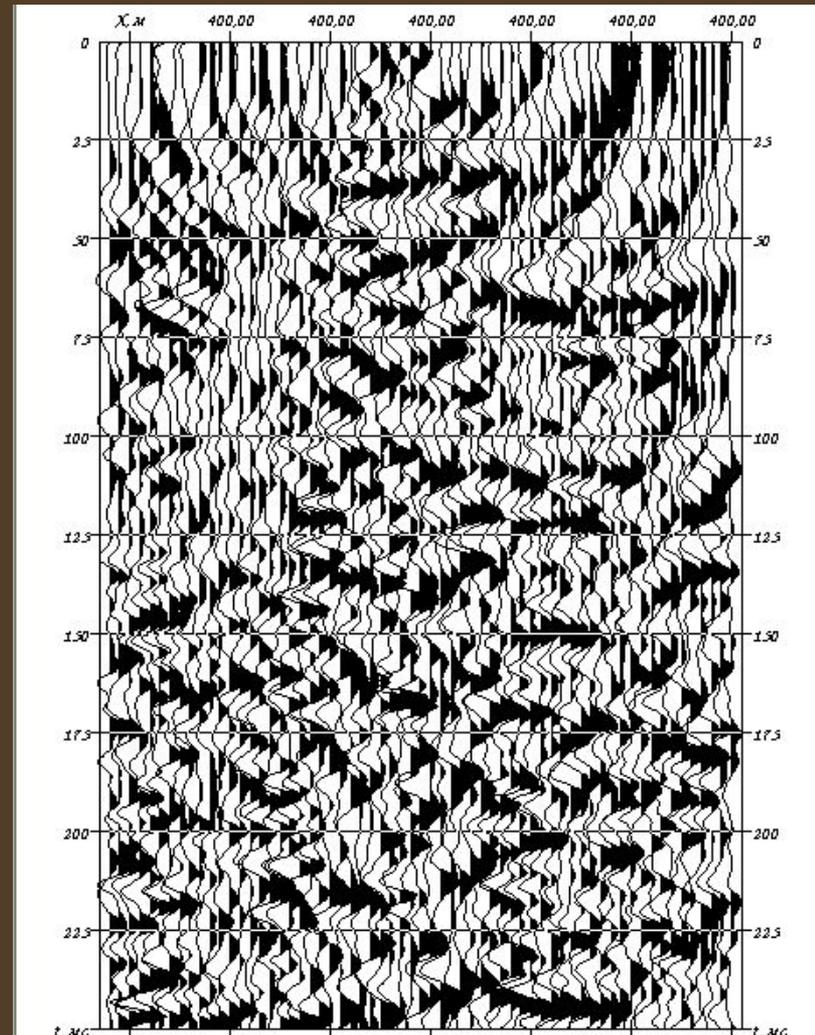
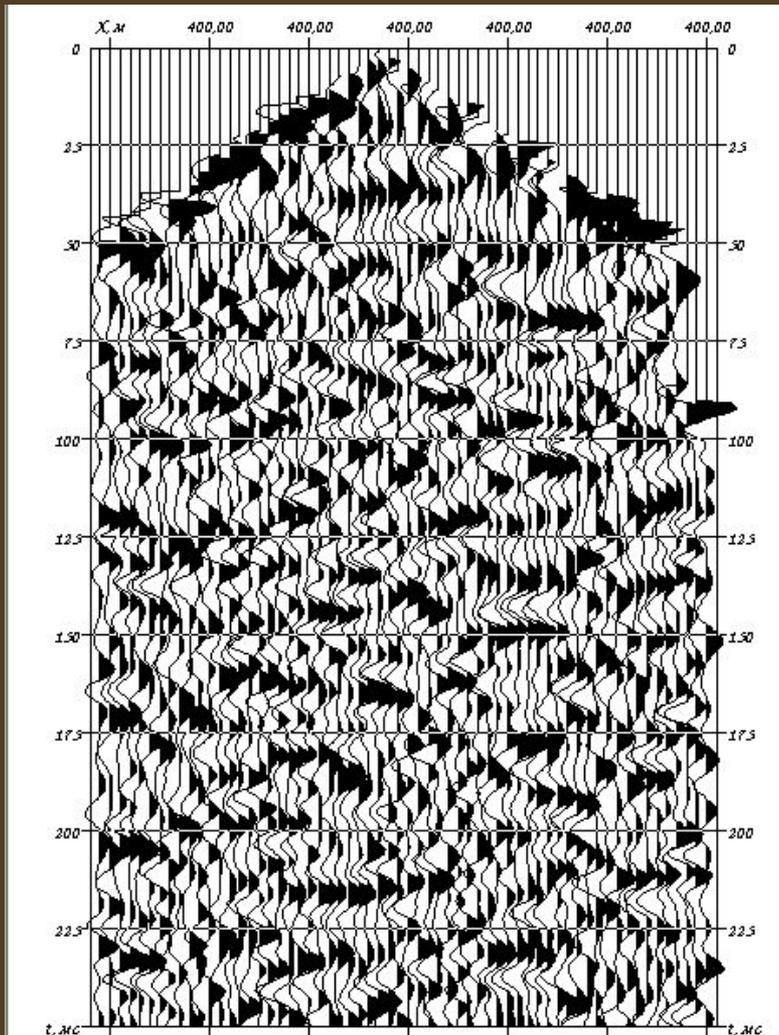
статические поправки - разности действительного времени регистрации волны и предполагаемого времени ее прихода при условии, что точки возбуждения и приема колебаний находятся на линии приведения



К расчету статических поправок

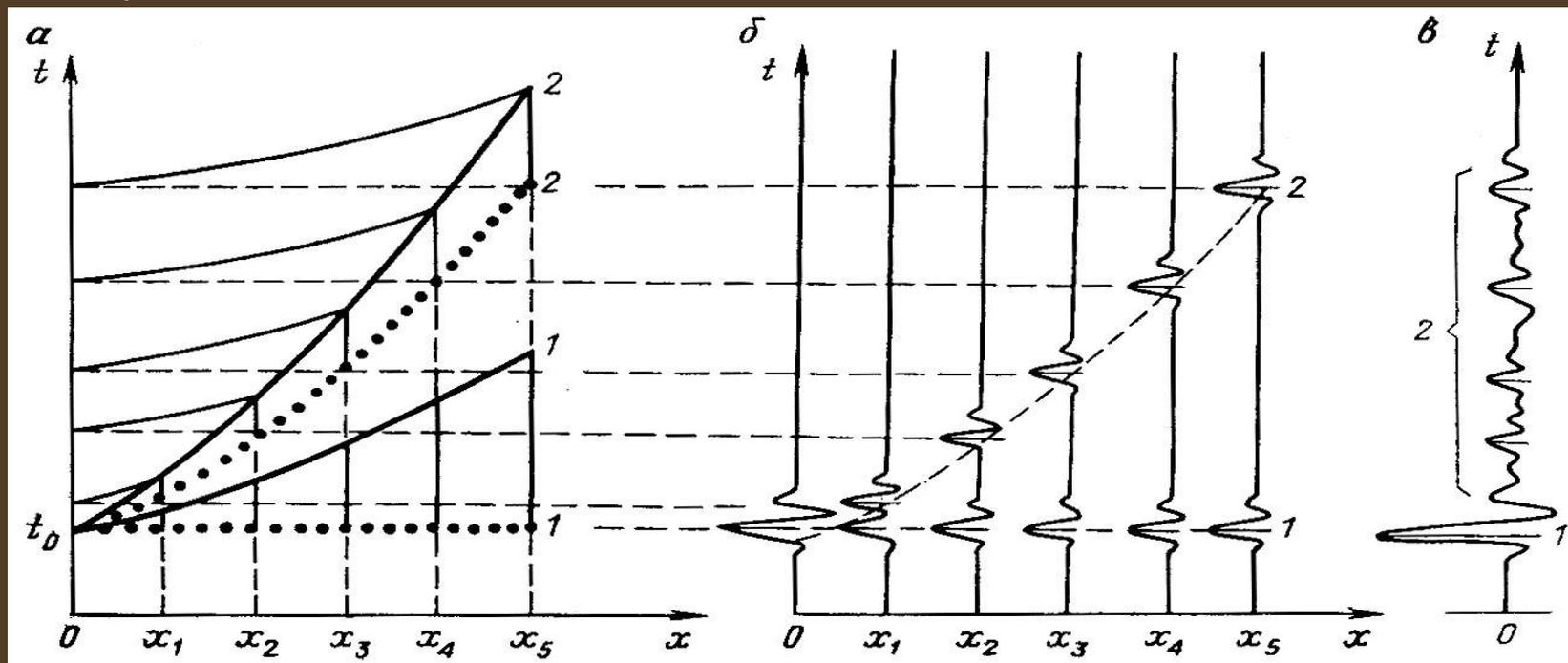
1- действительные лучи; 2 – расчетные лучи; 3 – подошва ЗМС; 4 – линия приведения

После введения статической поправки исключается влияние ВЧР



Сейсмограммы ОПВ до и после ввода априорной статике

Кинематические поправки вводят для устранения различия во времени прихода отраженных волн, вызванного неодинаковым удалением пунктов приема от источника возбуждения колебаний. Введение кинематической поправки преобразует криволинейный годограф отраженной волны в прямолинейный – линию t_0 , отображающую форму соответствующего участка отражающей границы



Годографы ОГТ отраженных волн (а), сейсмограмма ОГТ с кинематическими поправками (б) и суммарная запись ОГТ (в)

1 – однократной волны, 2 – многократной волны;

Кинематическая обработка предназначена для решения задач структурной геологии в разнообразных сейсмогеологических условиях. .

большинство процедур, относящихся к типовой обработке, практически применяются повсеместно и независимо от сейсмогеологических условий, методики полевых наблюдений и решаемых геологических задач



1) Препроцессинг.

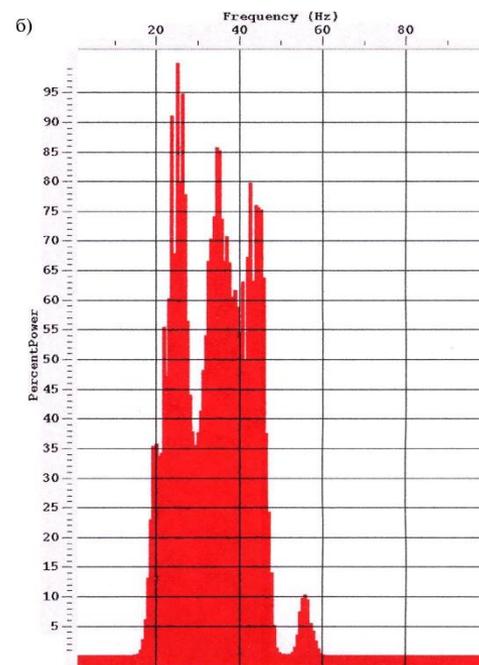
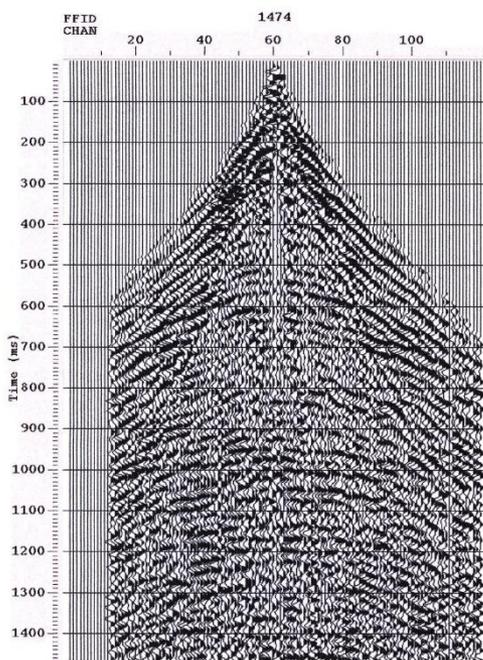
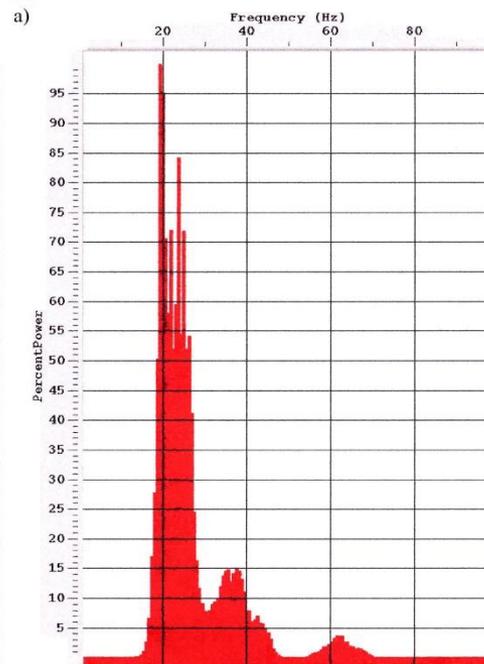
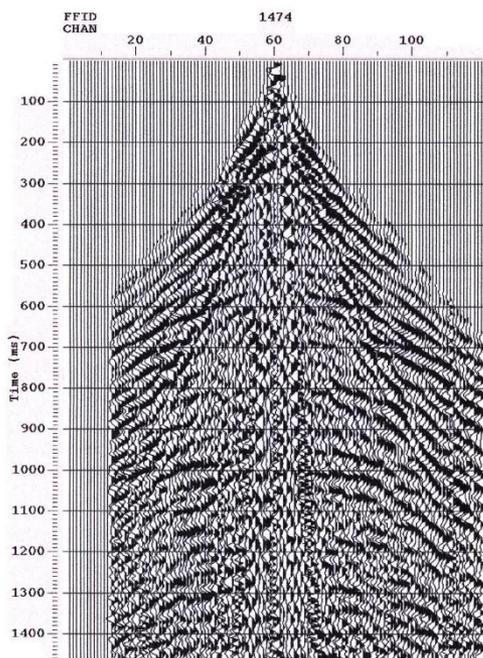
- **Переформатирование** - перевод из стационарного формата в формат обработки.
- **Создание паспорта профиля обработки.**
- **Расчет априорной статистики.**
- **Сортировка данных**

2) Тестирование и выбор параметров предварительной кинематической обработки производится по участкам профилей, наиболее полно характеризующим сейсмогеологическую обстановку и качество первичного материала на площади исследования.

К данному этапу относится выбор параметров для таких процедур как: регулировка амплитуд, полосовая, режекторная, многоканальная фильтрация, деконволюция первичных записей, а также на этом этапе получают предварительные сведения об особенностях скоростного строения среды.

Основные задачи регулировки амплитуд следующие:

- исключить влияние на амплитуды колебаний геометрического расхождения, поглощения и рассеивания (затухания энергии волн);
- исключить влияние на амплитуды и частотный состав колебаний (форму сигналов) неидентичности условий возбуждения и приема колебаний.

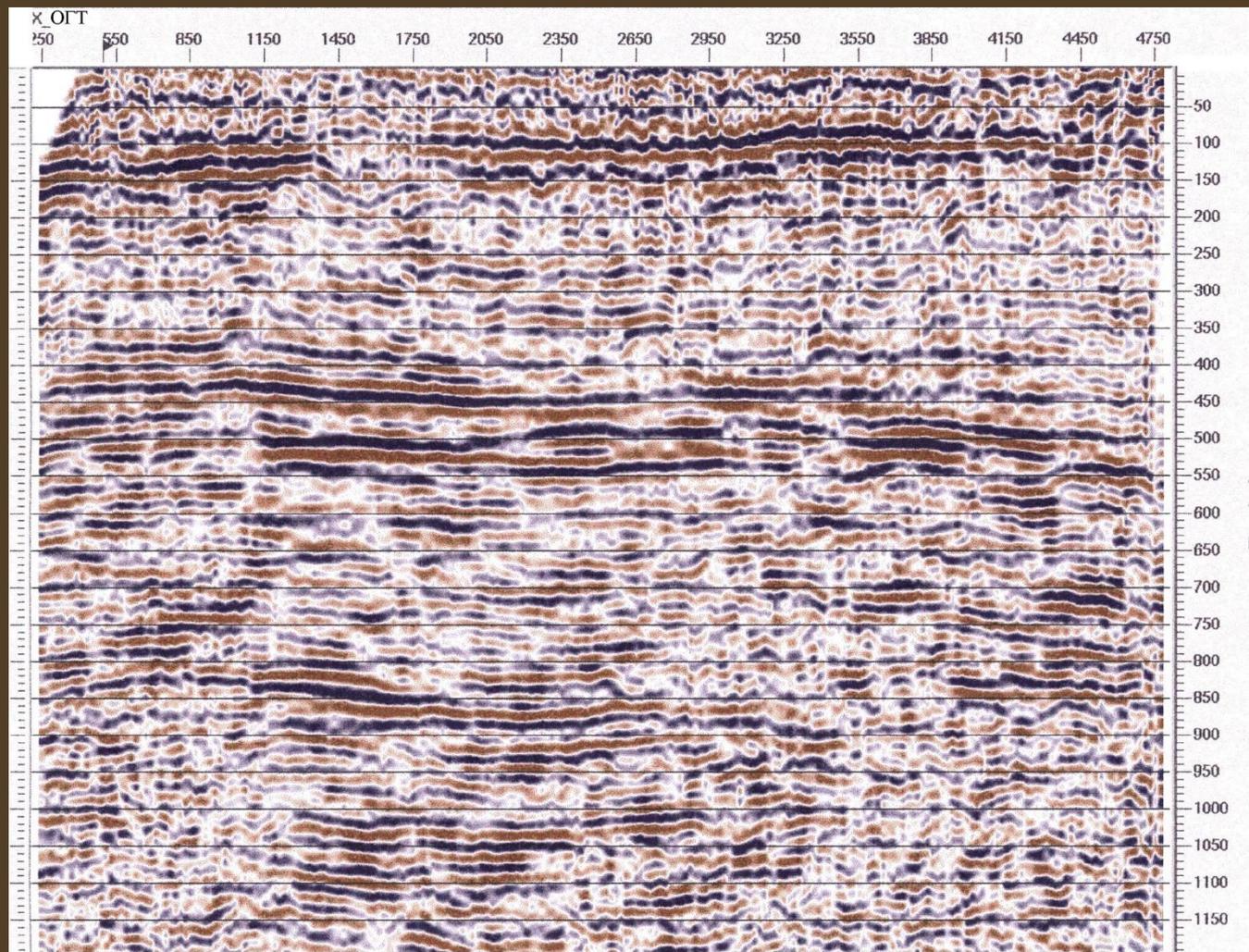


Основными задачами фильтрации являются:

- исключение случайных и регулярных низко- и среднескоростных волн-помех с линейной и гиперболической формой годографов,
- сжатие в области времени формы импульсов (расширение полосы пропускания и выравнивание амплитуд спектральных компонент),
- выравнивание формы сигналов на трассах и т.п.

3) Для предварительного накопления по ОГТ производят

- набор процедур , определенный на предыдущем этапе,
- вводят априорную статику и кинематику



4) Анализ и коррекция статических поправок

Изменения параметров ВЧР приводят к неравномерному запаздыванию прихода полезных волн

Вследствие этого гиперболическая форма годографа отраженных волн в значительной степени искажается

После ввода априорных статических поправок форма годографов отраженных волн становится близкой к гиперболической

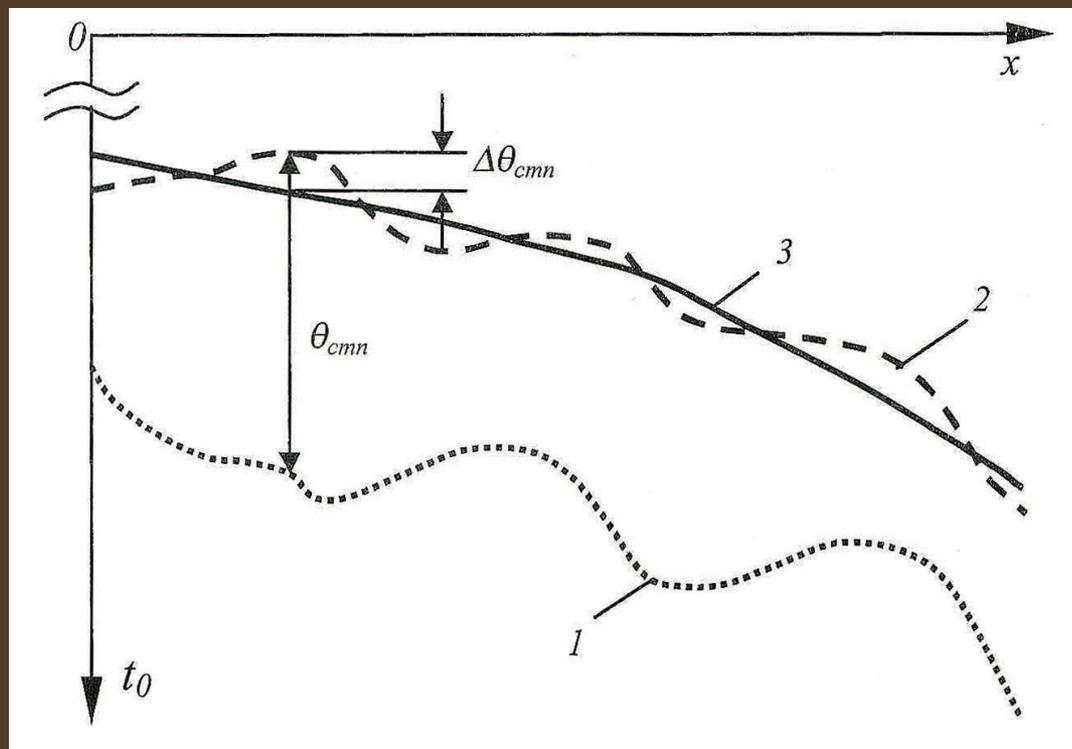
Однако работы МСК и МПВ позволяют получить только приближенные значения поправок, которые обычно отягощены погрешностями.

Поэтому после ввода предварительных статических поправок сохраняется некоторый остаточный сдвиг, выявление и устранение которого является задачей второго этапа ввода статических поправок – этапа коррекции (уточнения) расчетного значения

На рис. изображен наблюдаемый годограф ОГТ, полученный в условиях сложного строения ВЧР

После введения в годограф расчетных статических поправок его можно аппроксимировать гиперболой

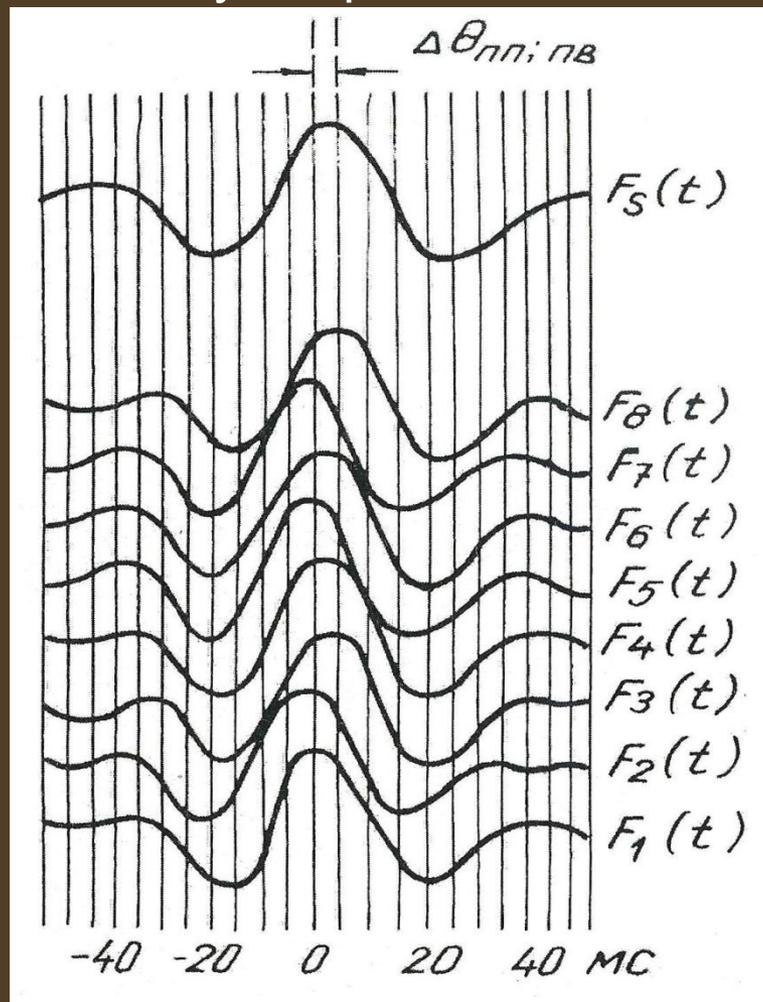
Разность времени $\Delta\theta_{\text{СТП}}$ между аппроксимирующей гиперболой и исправленным годографом ОГТ представляет собой корректирующую поправку



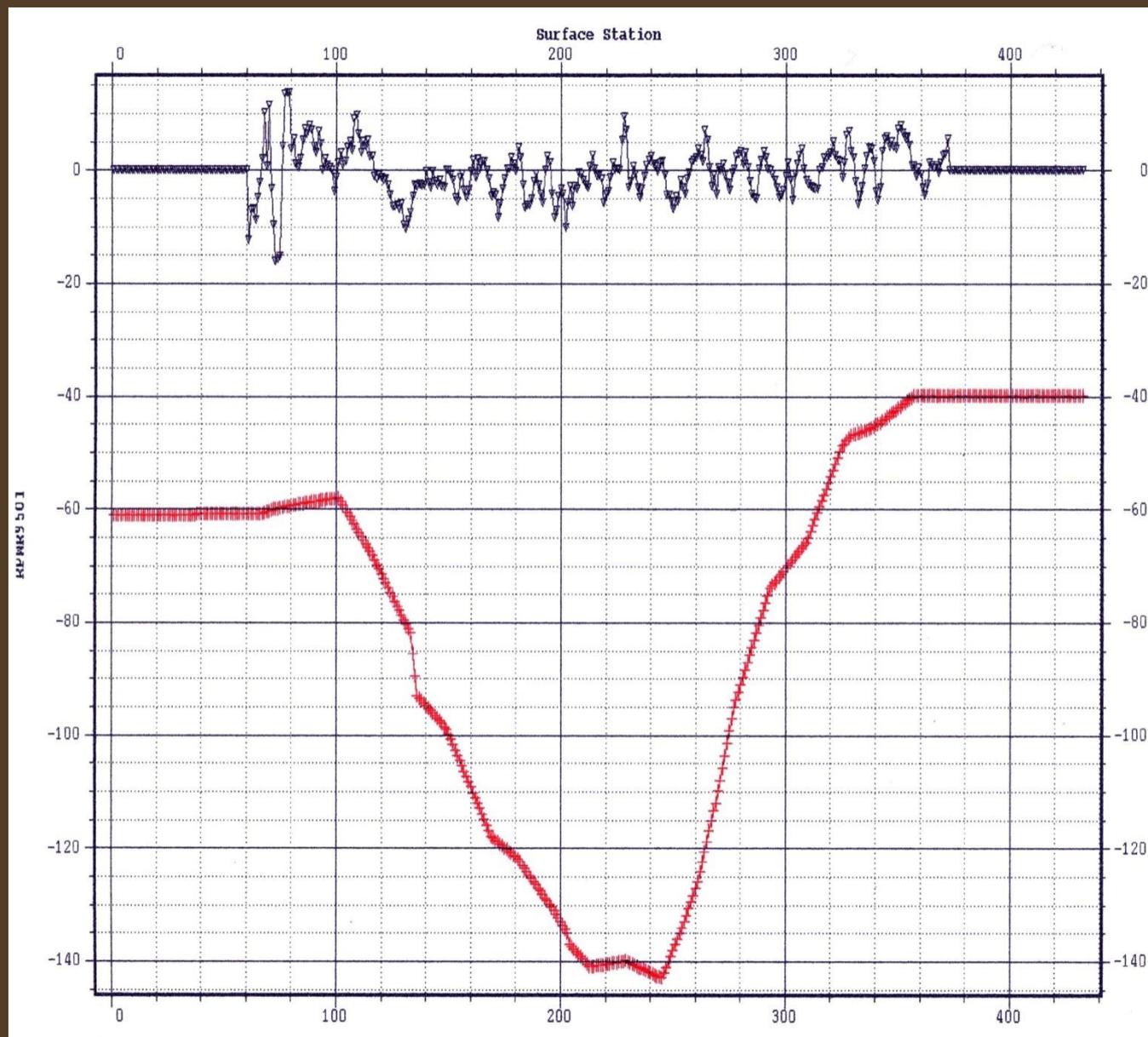
Принцип коррекции статических поправок с помощью годографа ОГТ
1 – наблюдаемый годограф ОГТ; 2 - годограф ОГТ, исправленный расчетными статическими поправками; 3 – осредняющая гипербола

Для коррекции статических поправок во многих способах используют свойство фазовой устойчивости суммарных сигналов к разбросу фаз исходных каналов

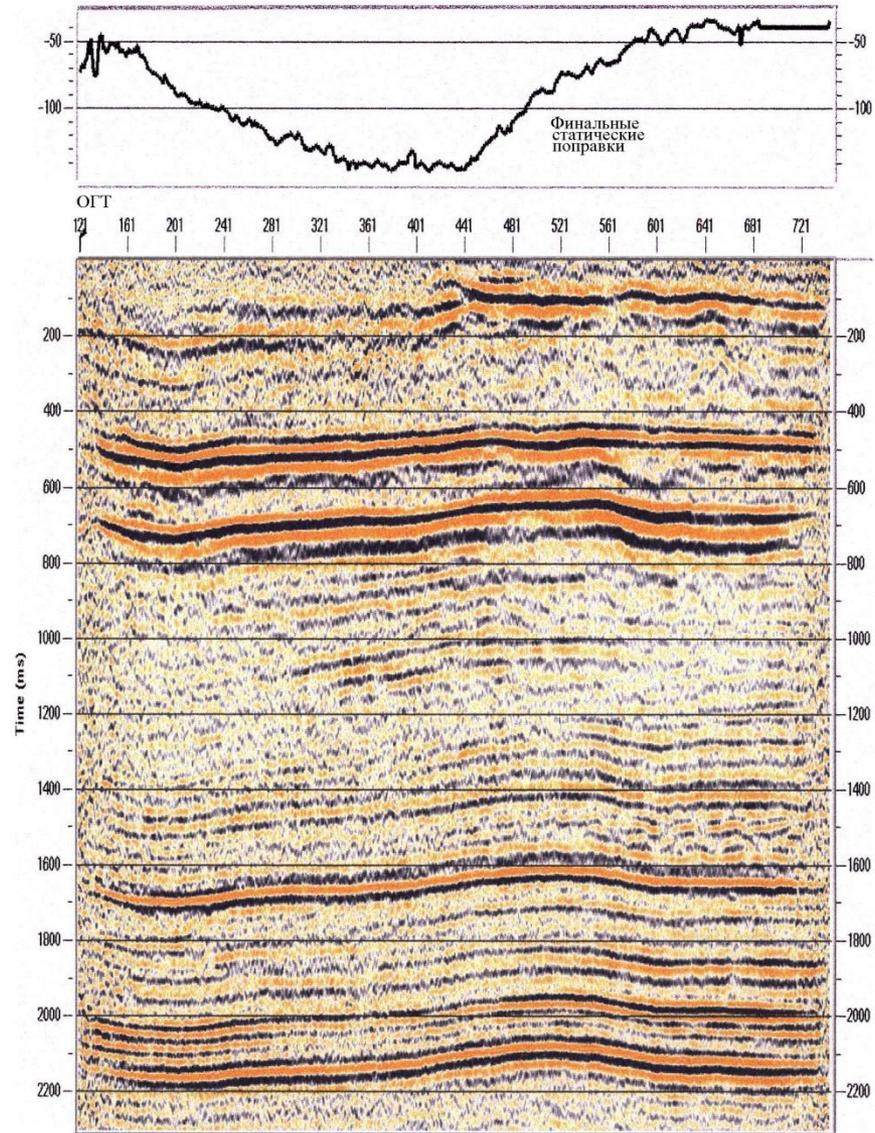
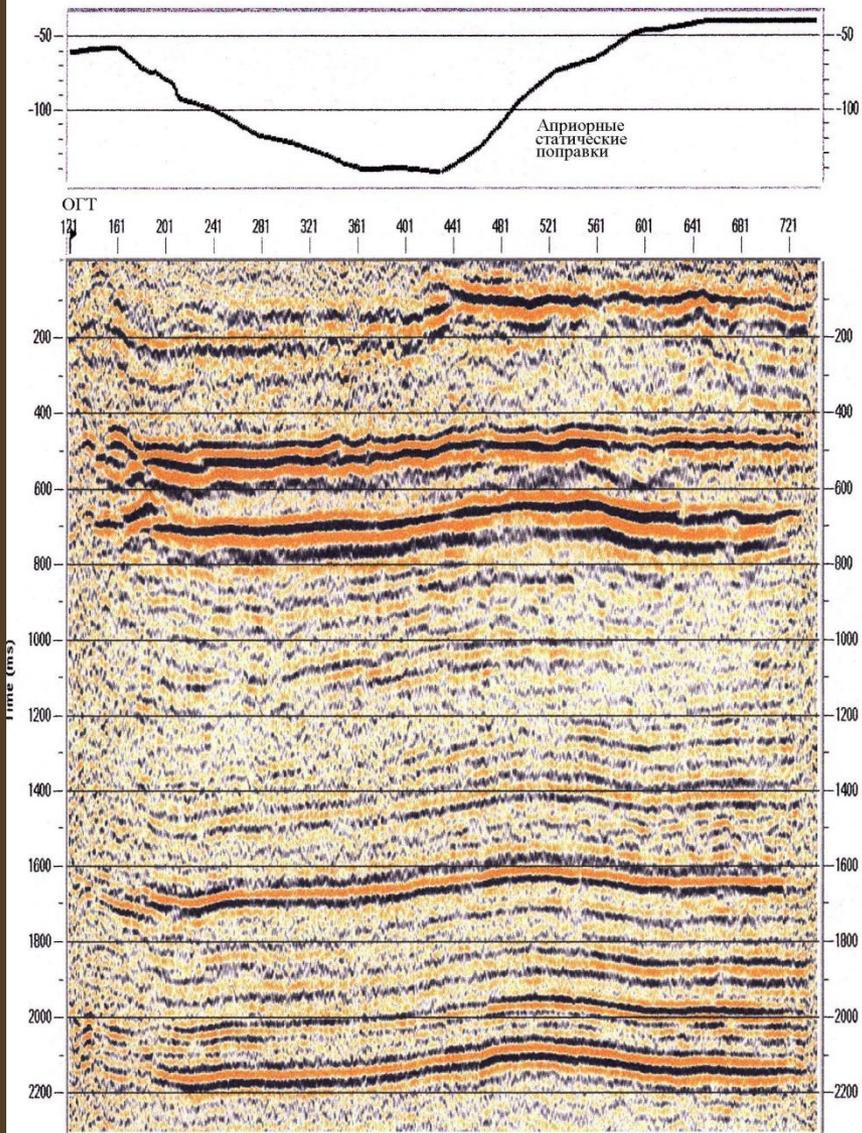
Отклонения экстремумов суммируемых трасс от экстремума суммарной трассы являются корректирующими статическими поправками



. Фрагмент сейсмограммы ОГТ со спрямленной осью синфазности при не откорректированных статических поправках (трассы F1 – F8) и результат суммирования (трасса F_S)



Значения априорной (красная линия) и остаточной статистических поправок (синяя линия) в окне базы данных



Фрагменты временного разреза до (а) и после применения процедуры коррекции (б)

4) Анализ и коррекция кинематических поправок

Годографы однократно отраженных волн имеют гиперболическую форму

После ввода априорной кинематики годограф преобразуется в прямолинейный отрезок – линию t_0 , относящуюся к ОГТ

Ввод предварительных кинематических поправок, рассчитанных при использовании приближенных значений скоростей (по СК), не позволяет в полной степени спрямить годограф ОГТ однократных волн для эффективного суммирования колебаний

Для получения закона $V_{огт}$ (рассчитываемую по годографу $t_{0огт}$) проводится этап коррекции кинематических поправок

Существует большое количество способов определения скоростей $V_{огт}$, основанных на анализе исходных сейсмограмм ОГТ.

1) скоростной анализ

базируется на разновременном суммировании сейсмических записей по набору гипербол или парабол, соответствующих заданному диапазону скоростей

Вдоль профиля выбирают участок (или несколько участков) временного разреза, состоящий из 5-25 соседних сейсмограмм ОГТ.

В каждую из сейсмограмм ОГТ вводят кинематические поправки, рассчитанные для различных значений $V_{\text{ОГТ}}$ из некоторого диапазона предполагаемых значений скорости

После введения поправок для каждого значения $V_{\text{ОГТ}}$ исправленные сейсмограммы ОГТ суммируют и получают вариант временного разреза.

Для каждого из вариантов временного разреза будут наиболее четко выделены оси синфазности тех горизонтов, для которых принятое значение $V_{\text{ОГТ}}$ на соответствующем времени t_0 совпадает с истинным значением $V_{\text{ОГТ}}$ для данной волны

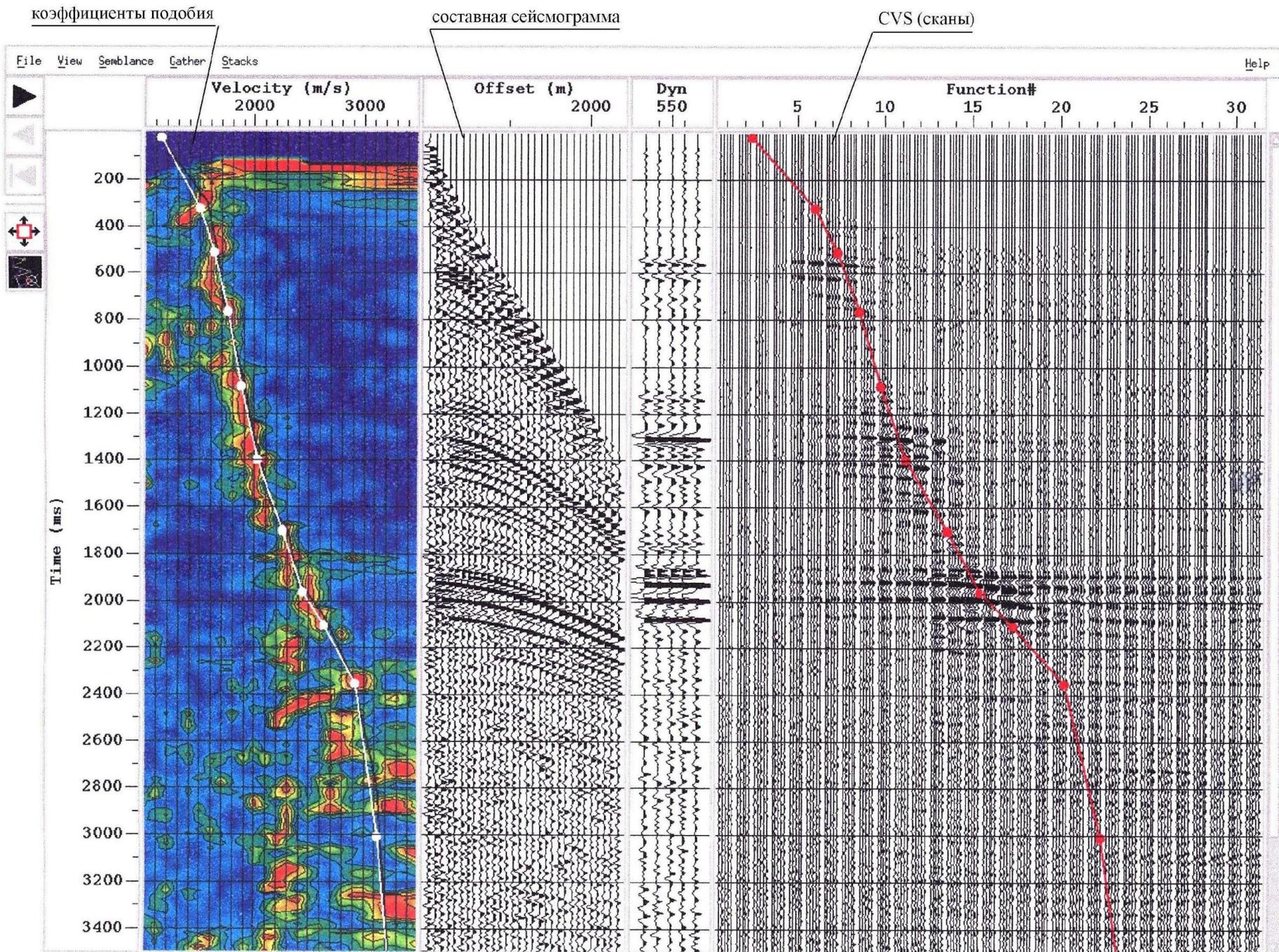


Рис. Окно Velocity Analysis

2) сканирование по скоростям

выбирается набор фиксированных значений $V_{огт}$, используя которые получают серию суммарных временных разрезов по участку профиля

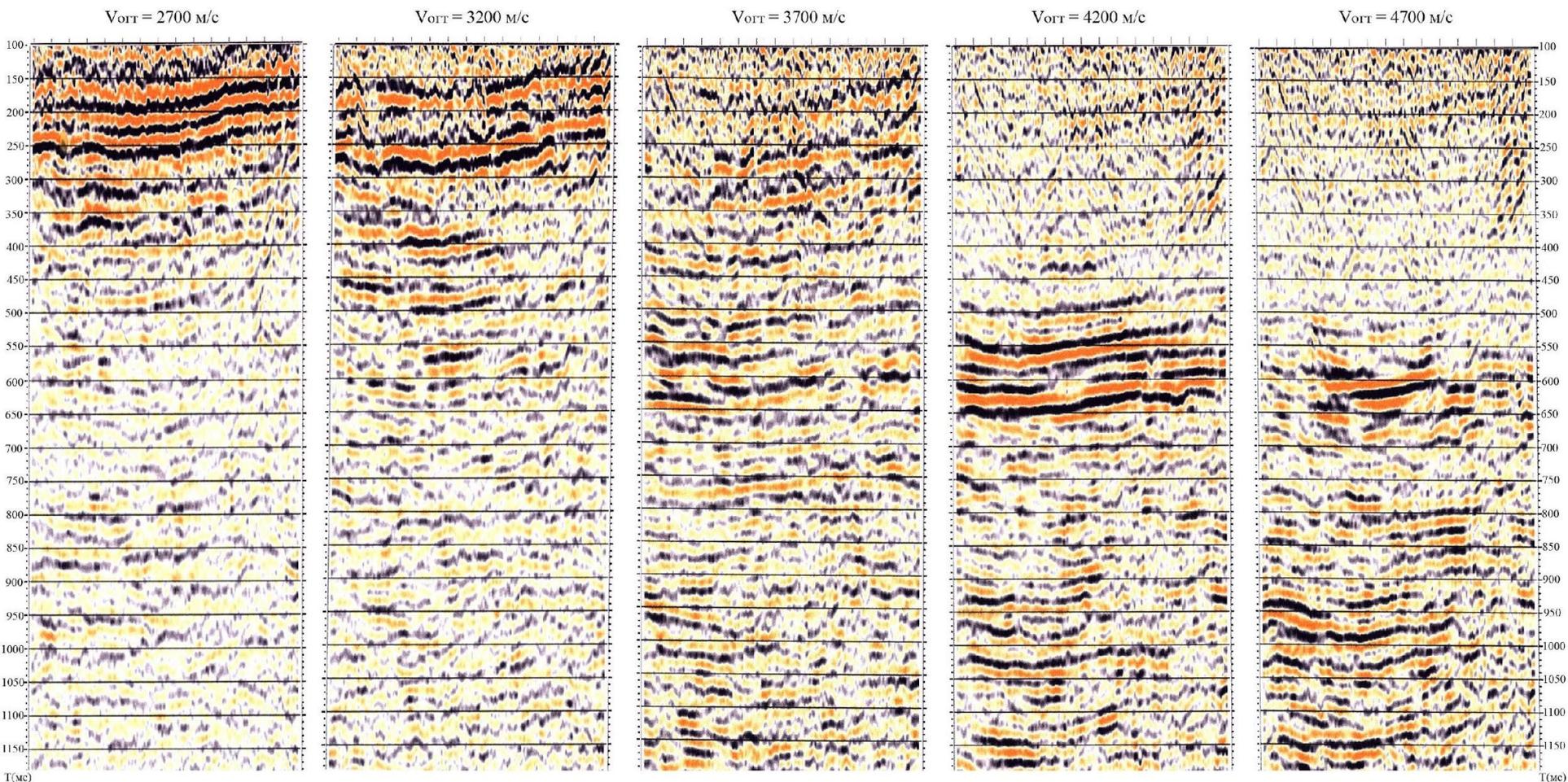
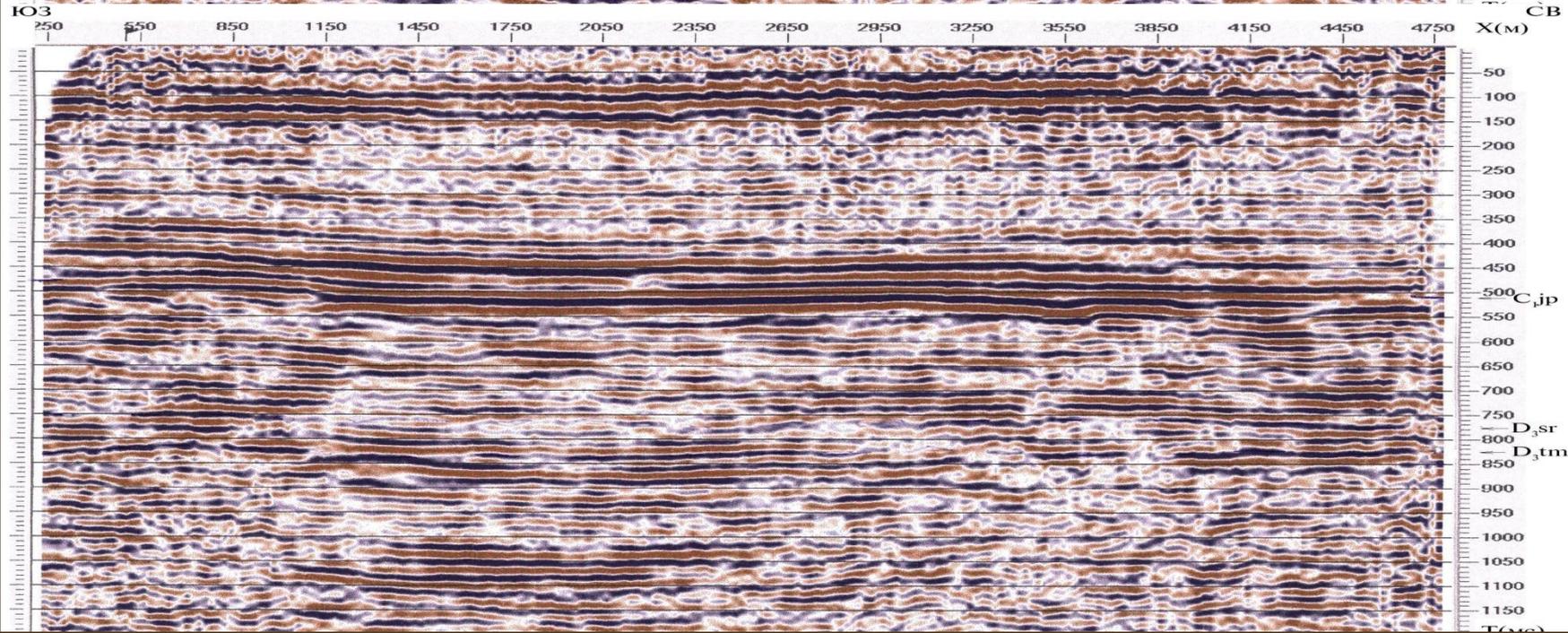
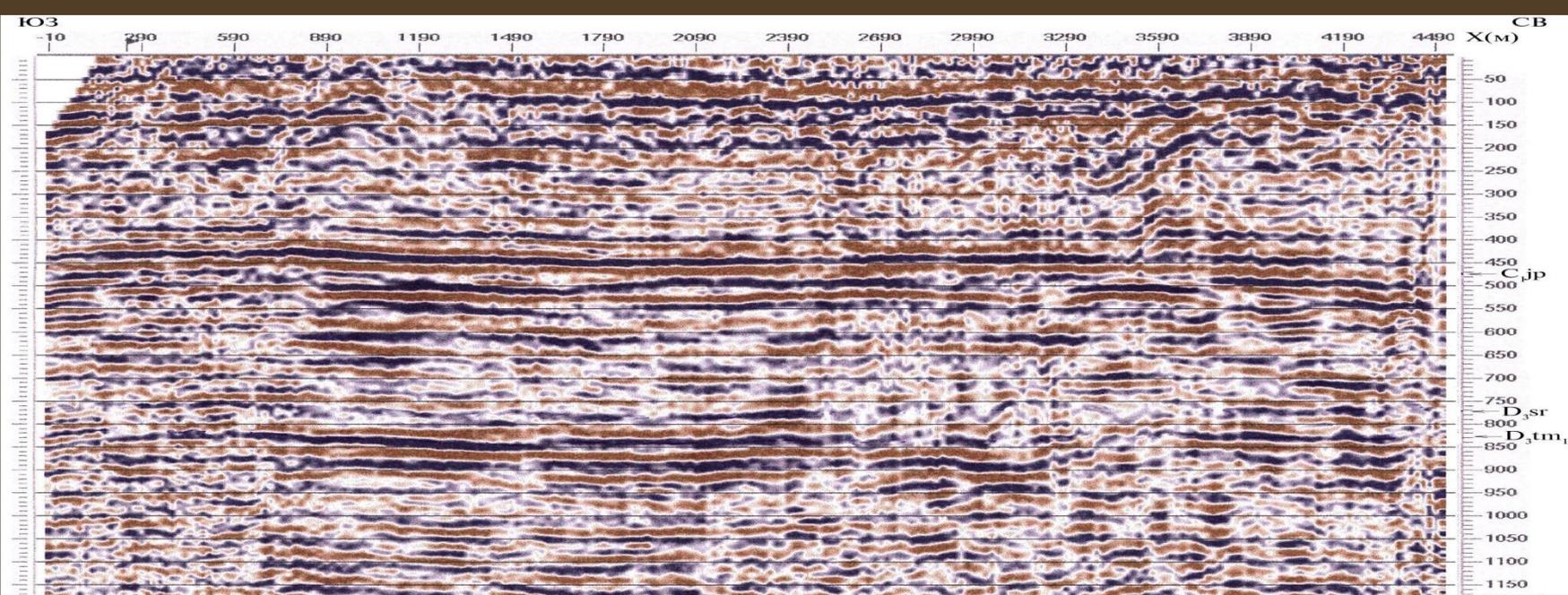


Рис. Фрагменты временного разреза с фиксированным значением $V_{огт}$



4) После уточнения статических параметров проводится суммирование сейсмограммы ОГТ

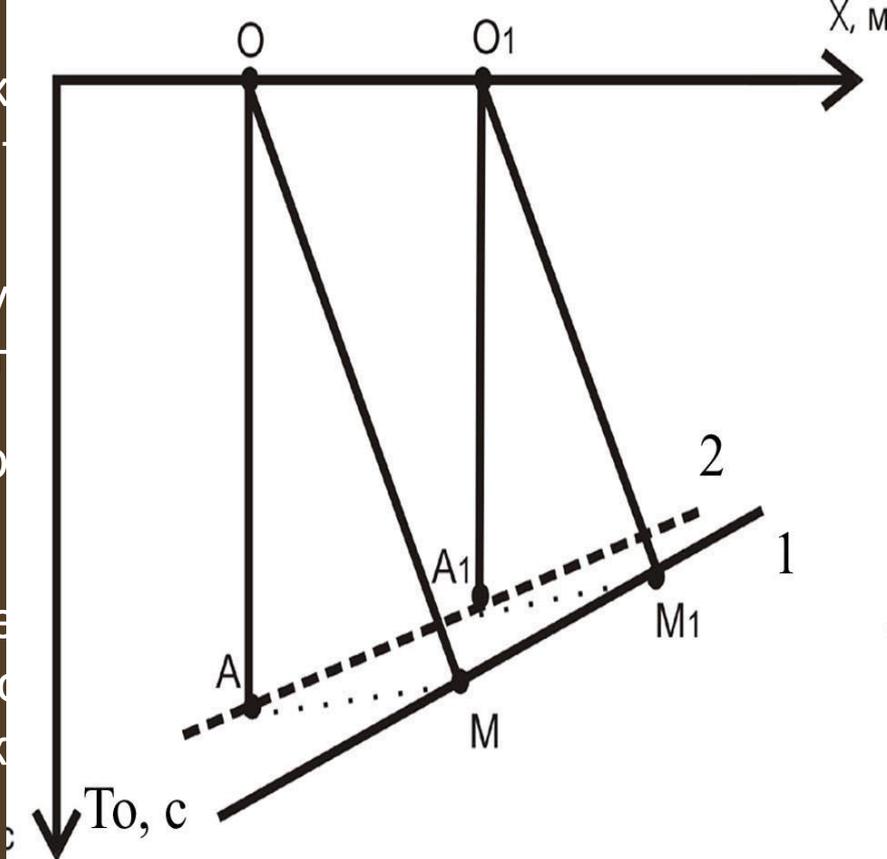
В процессе суммирования могут осуществляться процедуры (фильтрация, восстановление)

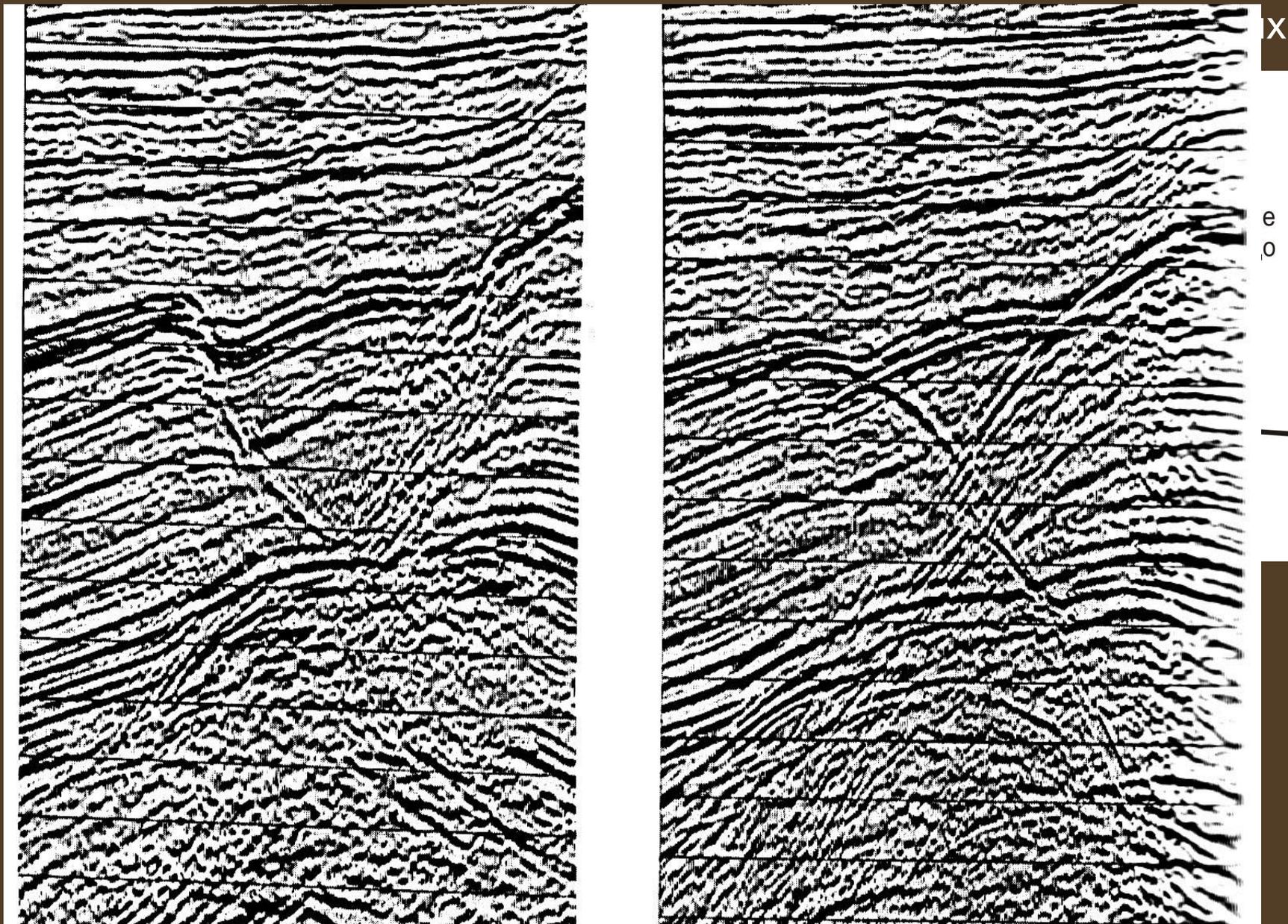
После проведения окончательной фильтрации проводится процедура миграции

Она направлена на устранение явления «раздвоения лучей», которое возникает при наклоне отражающей границы и приводит к несоответствию изображений в временном и глубинном разрезах.

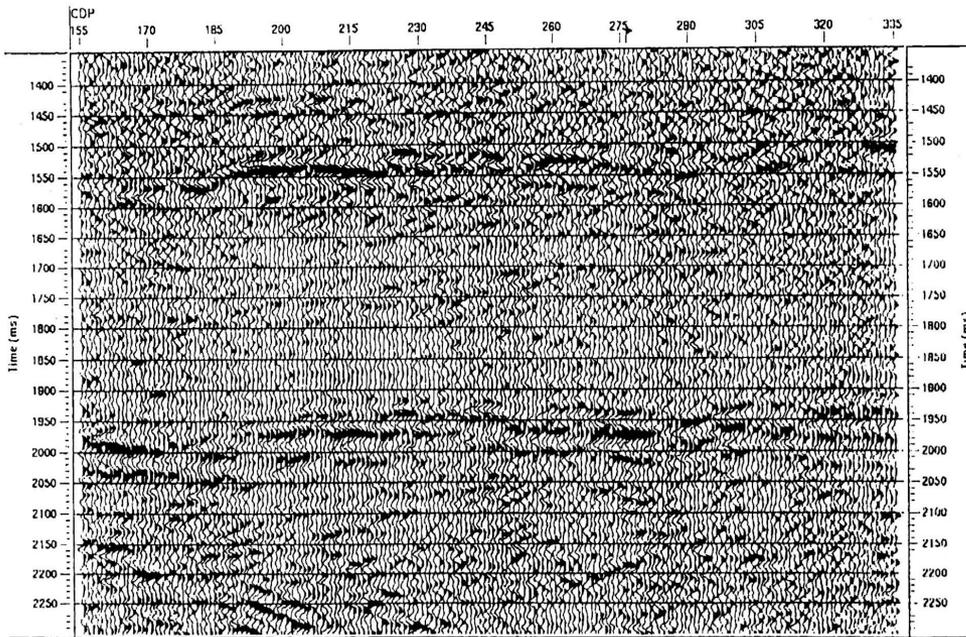
Суть явления состоит в том, что при наклонных (криволинейных) отражающих границах сейсмические лучи, выходящие из точек O или O_1 , расположенных на поверхности наблюдения, падают по нормали на отражающую границу в точках M или M_1

При построении временного разреза соответствующую сейсмическую трассу выстраивают из точек O и O_1 по нормали к поверхности наблюдения (по вертикали) и отражающая площадка оказывается в точках A и A_1 (под точками возбуждения-приема O и O_1).

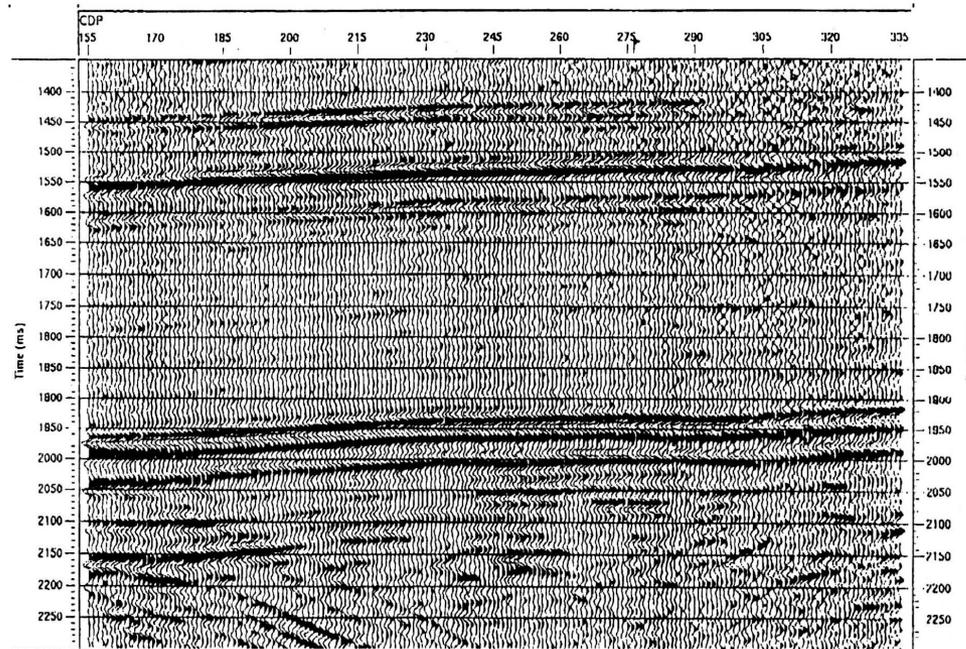




временные разрезы до и после миграции



а

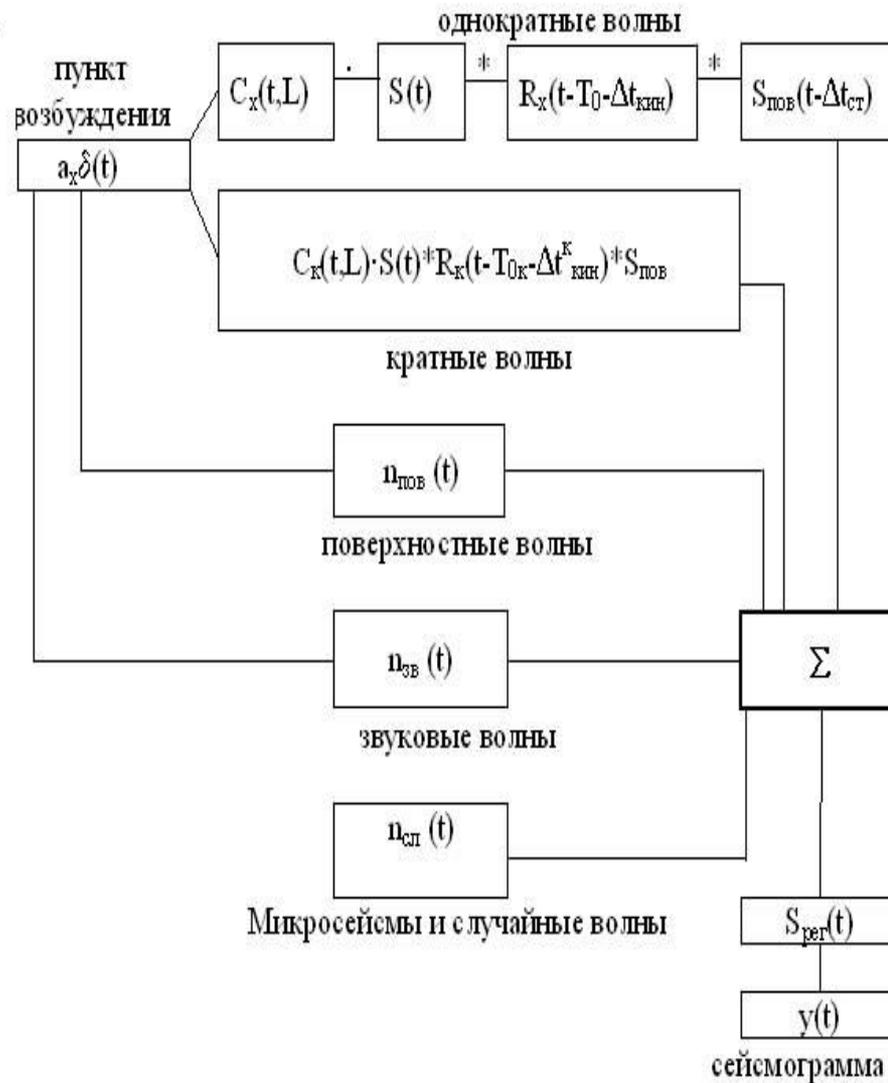


б

овой обработки данных
 получение сейсмических
 (кубов трасс), по которым
 тенных волн и их дальнейшая

новными процедурами
 ция статических и
 трасс и миграция, а также
 плах сейсмограмм ОГТ.

ОВЫХ ПОЛЕЙ



Модель формирования сейсмической трассы

R_k коэффициент отражения
 C_k коэффициент, характеризующий суммарное влияние геометрического расхождения фронта волны, неупругого поглощения и рассеяния
 $S(t)$ форма сигнала
 T_0 время вступления
 $S_{рег}$ импульсная характеристика регистрирующей цепи

Используя расчет синтетических трасс, можно формировать сейсмические записи для любых обстановок осадконакопления.

Моделирование начинается с расчета импульсных сейсмических трасс, т.е. зависимостей $R_k(T_0)$ величин коэффициентов отражения всех акустически жестких границ от времени T_0 их регистрации.

Для этого вначале формируется детальная скоростная модель $V(H)$ среды (обычно по данным акустического каротажа) для всего разреза скважины либо ее части, соответствующей интересующему нас промышленному интервалу.

Если имеется возможность, то для этого же интервала глубин формируется и детальная плотностная модель среды по данным ГГКп или путем пересчета скоростей в плотности по имеющимся аналитическим зависимостям.

Полученные пластовые модели скоростей и плотностей позволяют рассчитать величины акустической жесткости отдельных пластов

На их основе производится расчет коэффициентов отражения, которые вначале формируются в виде зависимости от глубины $R(H)$, а затем пересчитываются во временной масштаб $R(T_0)$.

Эта зависимость величин коэффициентов отражения, взятых с соответствующим знаком от времени T_0 прихода отраженной волны $R(T_0)$ и является импульсной трассой.

Для получения синтетических записей проводят процедуру свертки данной импульсной трассы с сигналом, форма которого характеризует однократную отраженную волну.

Амплитуда каждого импульса при свертке пропорциональна величине коэффициента отражения

В формировании такой трассы не участвуют никакие волны-помехи, а амплитуда колебаний зависит лишь от величин коэффициентов отражения, но не зависит от геометрического расхождения, поглощения или рассеяния.

В зависимости от целей решаемых задач импульсные трассы могут строиться без учета или с учетом эффекта геометрического расхождения и поглощения энергии волн, с наличием или отсутствием волн-помех и т.д.

Построение синтетических сейсмограмм позволяет правильно оценить влияние тех или иных факторов на особенности волн.

В настоящее время особое значение моделирование имеет при **стратиграфической привязке** отражающих горизонтов.

Сейсмостратиграфическую привязку (совмещение масштабов времен и глубин) геологических границ к отражениям, прослеживаемым по материалам наземных сейсмических наблюдений, проводят на скважинах, где есть данные АК, (желательно и наличие ГГКп), которые используются для построения синтетической трассы.

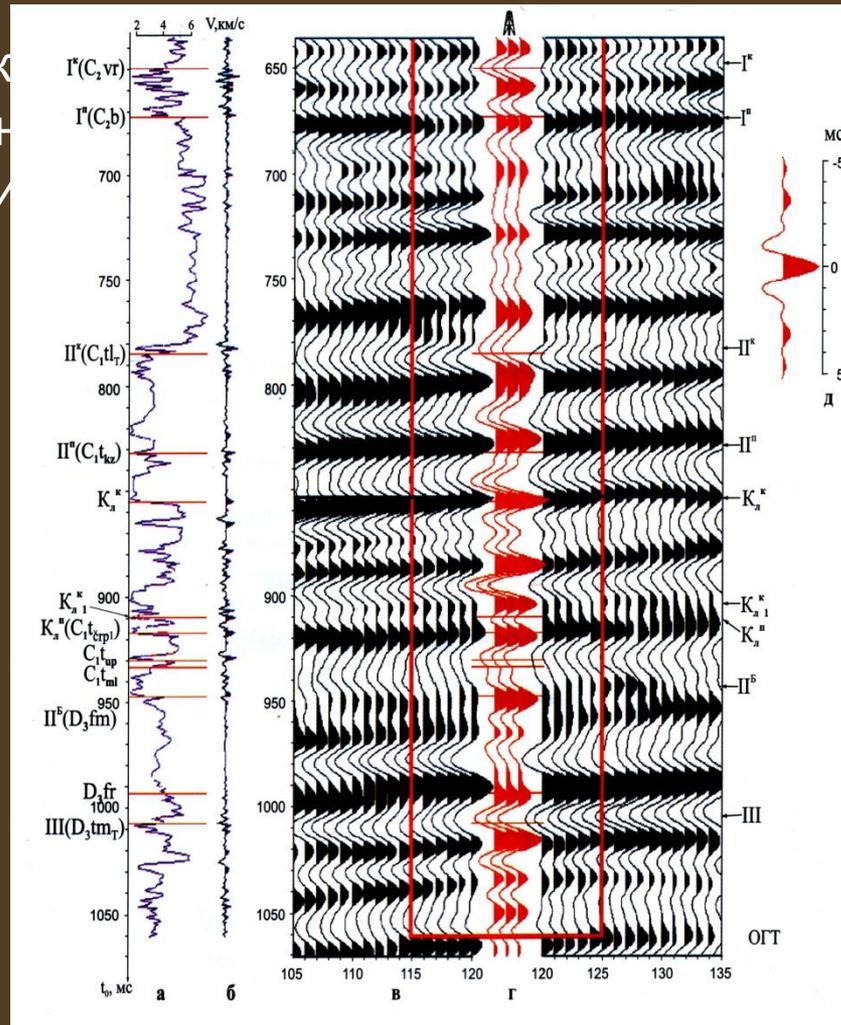
Расчитав синтетическую трассу, ее сравнивают с реальными сейсмическими трассами, полученными при наземных наблюдениях.

Степень подобия реальных и синтетических записей зависит от правильности выбора скоростной модели среды и учета всех факторов, определяющих волновое поле

После того как сходство реальной и синтетической трасс достигнуто (проведено совмещение глубинного и временного масштабов), проводят собственно привязку (корреляцию) отражений.

Величина и знак отклонения положения границы от экстремальной фазы во времени является фазовой поправкой.

Фазовые поправки
отражающей грани
отражающих грани



ными для каждой
ри расчете глубин

Синтетические трассы, рассчитанные по данным акустического каротажа, и стратиграфическая привязка отражений на временном разрезе:

а – акустическая модель; б – коэффициенты отражений; в – сейсмические трассы; г – синтетические трассы; д – импульс свертки, рассчитанный по сейсмическим данным

Псевдоакустические преобразования (сейсмическая инверсия)

Скорость пробега упругих колебаний связана с геологической и петрофизической характеристиками осадков – литологией, пористостью и т.п., а также с напряженным состоянием пород, давлением, температурой

С другой стороны, скорость играет ключевую роль при формировании не только фронта волны (т.е. связана с кинематическими особенностями отраженных волн), но и формы отраженного сигнала, которая определяет динамические особенности колебаний.

Поэтому изучение скоростей в сейсморазведке – это важная составляющая процесса интерпретации сейсмических данных.

Однако имеющиеся в практике способы расчета скоростей (пластовых, средних, эффективных, интервальных, скоростей ОГТ) по результатам наземных наблюдений или скважинной сейсморазведки СК или ВСП дают возможность получить лишь «толстослоистую» скоростную модель среды

Одной из методик, позволяющей получить детальную скоростную модель разреза, является **псевдоакустический каротаж**.

Сейсмическую трассу преобразуют в кривую распределения пластовых скоростей (акустических импедансов), подобную записи получаемой в процессе акустического каротажа. Такое преобразование и называется псевдоакустическим каротажем (ПАК)

каждый экстремум этих параметров имеет четкий физический смысл: экстремумы коэффициентов отражения соответствуют границам слоев, а значения акустических импедансов - эффективной акустической жесткости

При производстве ПАК все делается в обратном порядке относительно классического моделирования.

Берется сейсмическая трасса, преобразованная к виду, при котором амплитуда любой фазы колебаний становится пропорциональной коэффициенту отражения $A_i(T_0) \approx C \cdot R_0(T_0)$, C - коэффициент пропорциональности

Если определить по СК или по другим каким-либо данным скорость V (или акустический импеданс g) в верхней толще, и зная (на основе амплитуд отраженных волн) распределение коэффициентов отражения, то можно рассчитать скорости (акустические жесткости) всех других границ.

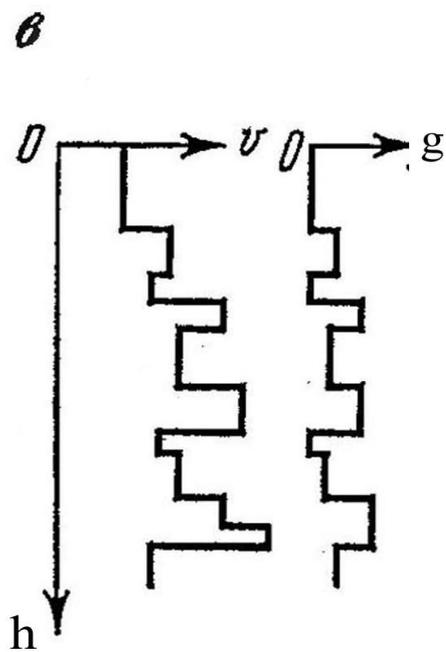
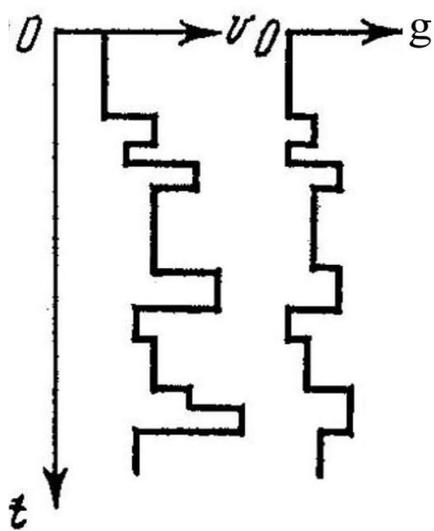
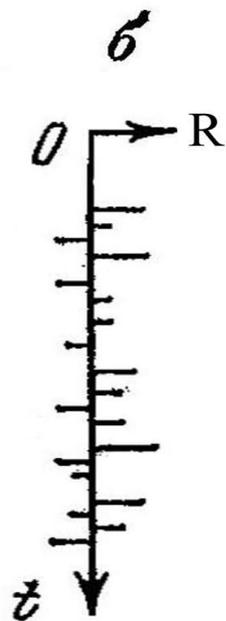
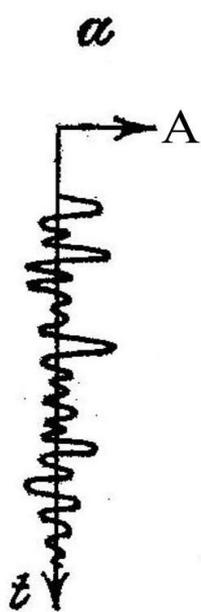


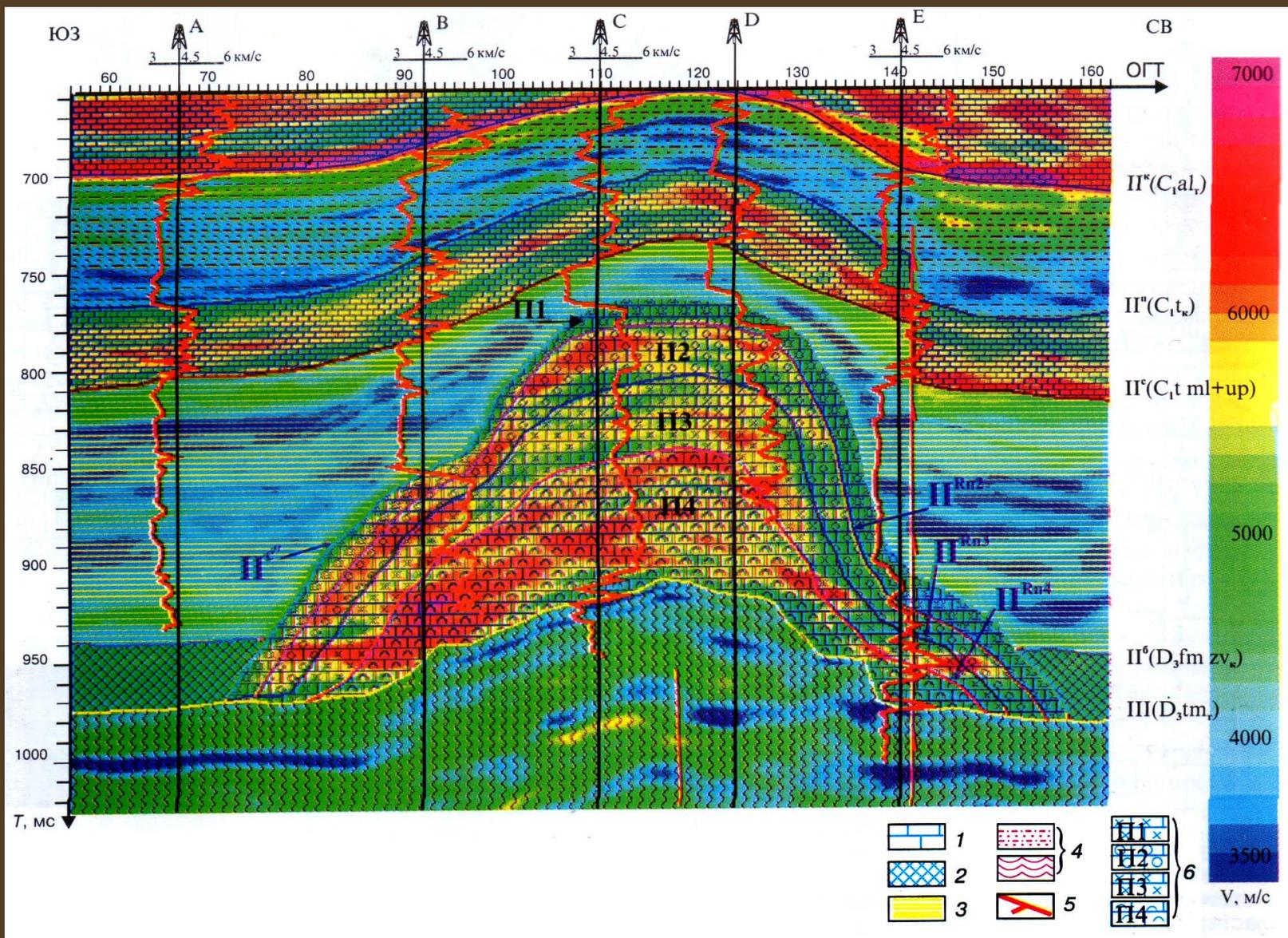
Схема проведения

ПАК:

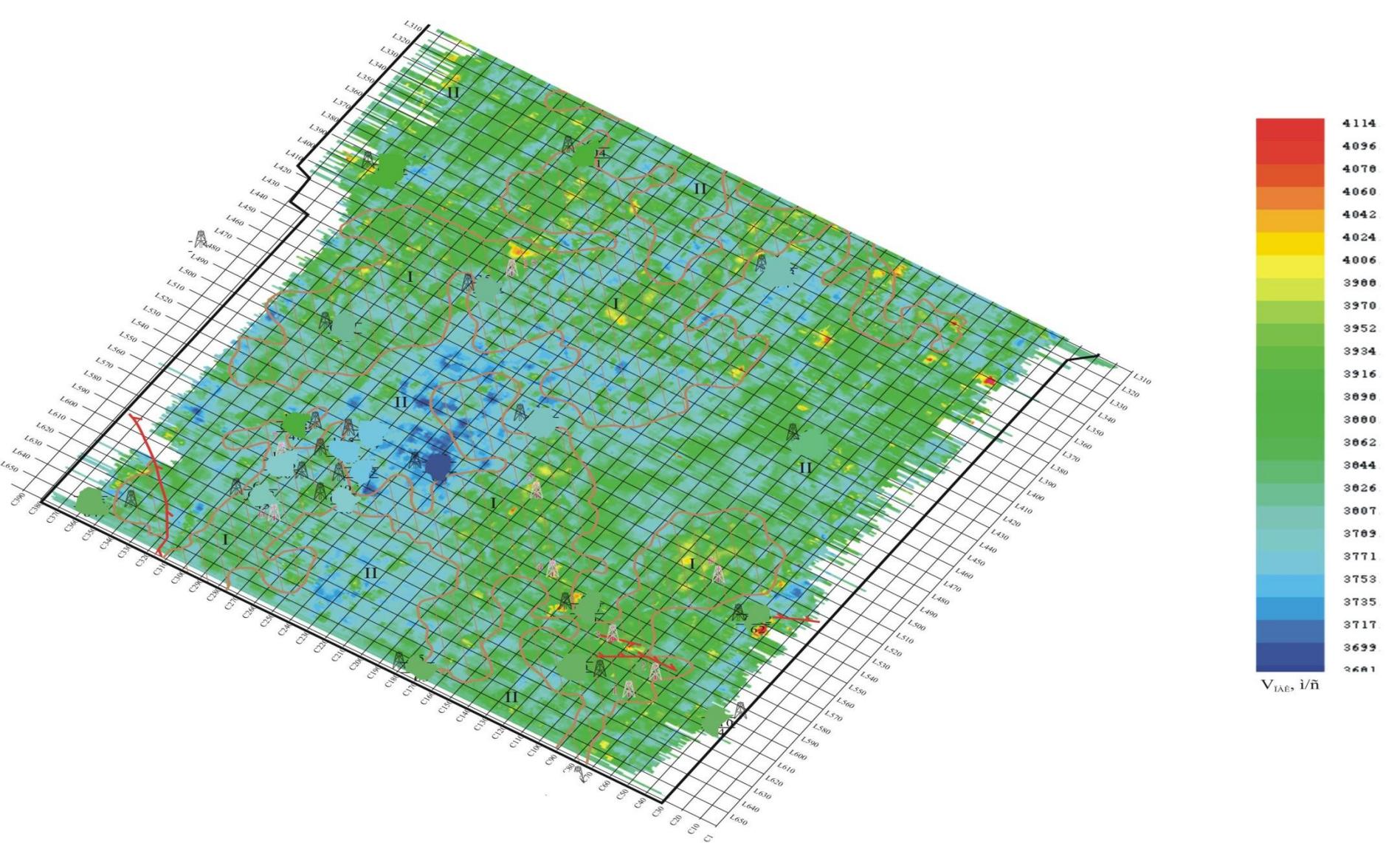
a – сейсмическая трасса; *б* – импульсная трасса; *в* – кривые зависимости скоростей и акустических жесткостей от времени или глубины регистрации

$$Z(i+1) = Z(i) \frac{1 + CA(ti)}{1 - CA(ti)}$$

Z – акустическая жесткость, σ и V – плотность и пластовая скорость, C – постоянный множитель, калибровочная константа



Псевдоакустический разрез с данными АК по скважинам: 1 – известняки; 2 – битуминозные известняки; 3 – аргиллиты; 4 – терригенные отложения; 5 – разрывное нарушение; 6 – рифогенные пачки



Карта средних значений скоростей ПАК в визейской терригенной толще