

Тема 7. *Обработка сейсморазведочных
данных*

10 часов, лекции № 20 - № 24

Лекция № 23 и 24

Миграционные преобразования сейсмических записей
Сейсмическое изображение геологических сред

Общие понятия о миграционных преобразованиях

Миграция это построение волнового изображения геологической среды с учетом **сейсмического сноса**, выполняемая по многоканальным сейсмограммам, временным разрезам и сейсмическим кубам.

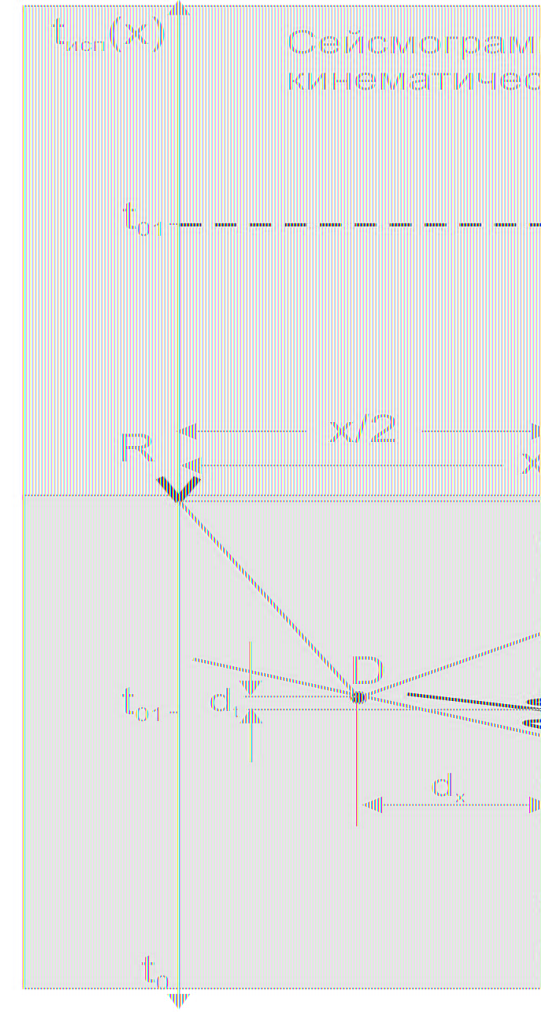
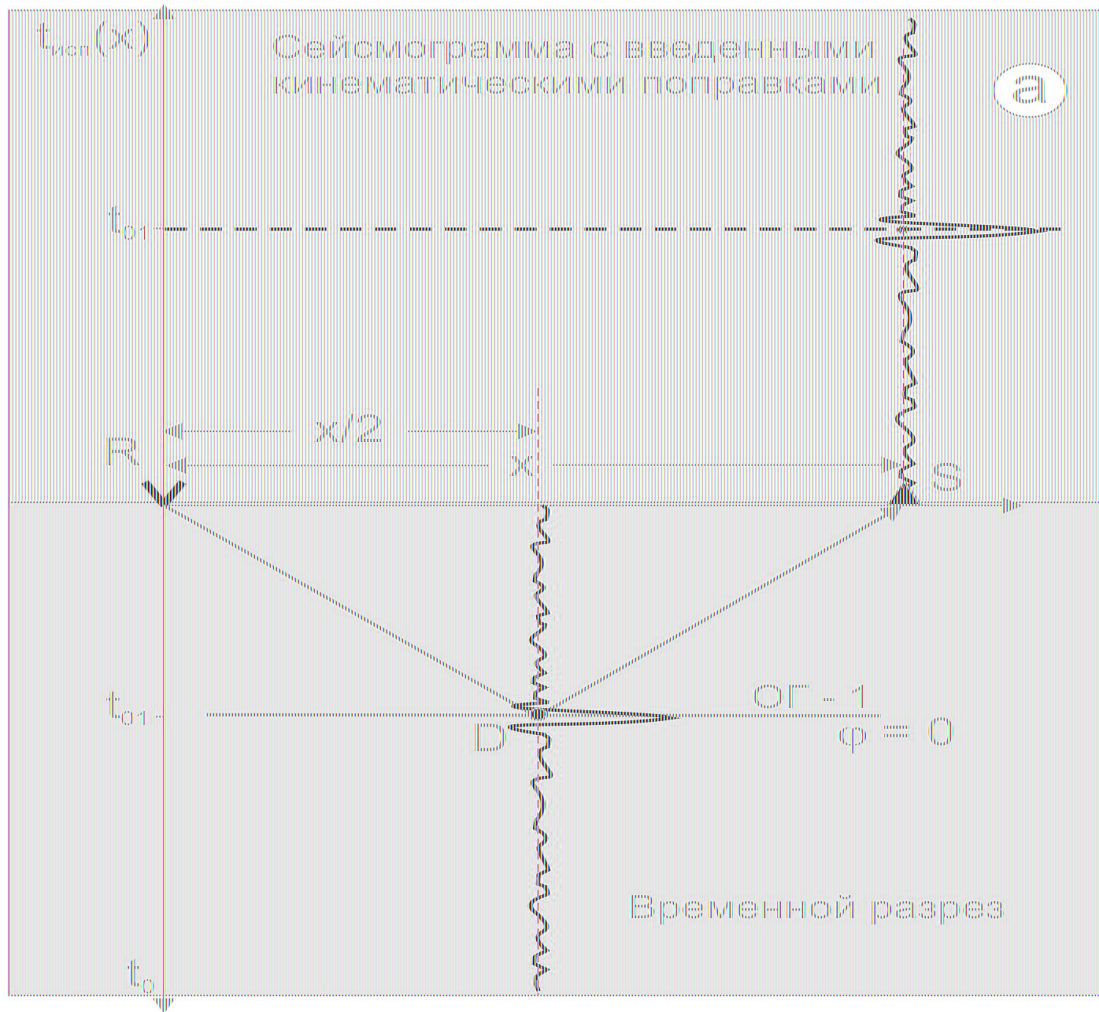
При работах по методу отраженных волн – **МОВ**, основной технологией сегодня является **МОГТ**, в результате обработки материалов получают **временные разрезы**, являющиеся основным материалом для геологического анализа.

В простых геологических условиях: при углах наклона границ меньше $3^{\circ} - 5^{\circ}$, выдержанности скоростных характеристик по латерали, отсутствии дифрагирующих объектов и др., волновая картина на **временных разрезах** отражают истинную картину строения геологической среды во **временном масштабе**.

При построении временного трассу сейсмограммы помещают в точку профиля с координатой $x/2$, и обращают временную ось времени вниз (по оси z). Если отражающая граница горизонтальна ($\varphi = 0$), то при таком построении импульс отраженной волны попадет точку отражения **D** (левый рисунок на сл. слайде), т. е. показывает её истинное положение.

Повторив эту операцию для других положений приемников и источников, получим совокупность трасс, которая и называется **временным разрезом**, оси синфазности на нем во временном масштабе совпадают с положением отражающих границ разреза. При многократном профилировании точка **D** является **общей средней точкой** – **ОСТ**, а трасса временного разреза является суммой **N** трасс сейсмограммы **ОГТ (ОСТ)**.

Схема построения временного разреза по сейсмограммам МОВ



а – при горизонтальных границах, б – при наклонных границах

Сейсмический снос

Иная картина будет при наклонном залегании границы ($\varphi \neq 0$), когда точка отражения D смещается в сторону восстания границы (правый рисунок на слайде выше), и рассмотренный прием построения временных разрезов приводит к тому, что оси синфазности на временном разрезе не совпадают с истинным положением отражающих границ.

Точка отражения, которую мы видим на временном разрезе, смещена по горизонтали в сторону падения границы на величину d_x называемую горизонтальным *сейсмическим сносом*, она также смещена по времени на d_t (*временной сейсмический снос*). В результате ось синфазности на временном разрезе оказывается смещенной и наклоненной под углом $\varphi' < \varphi$ по отношению к истинному положению границы.

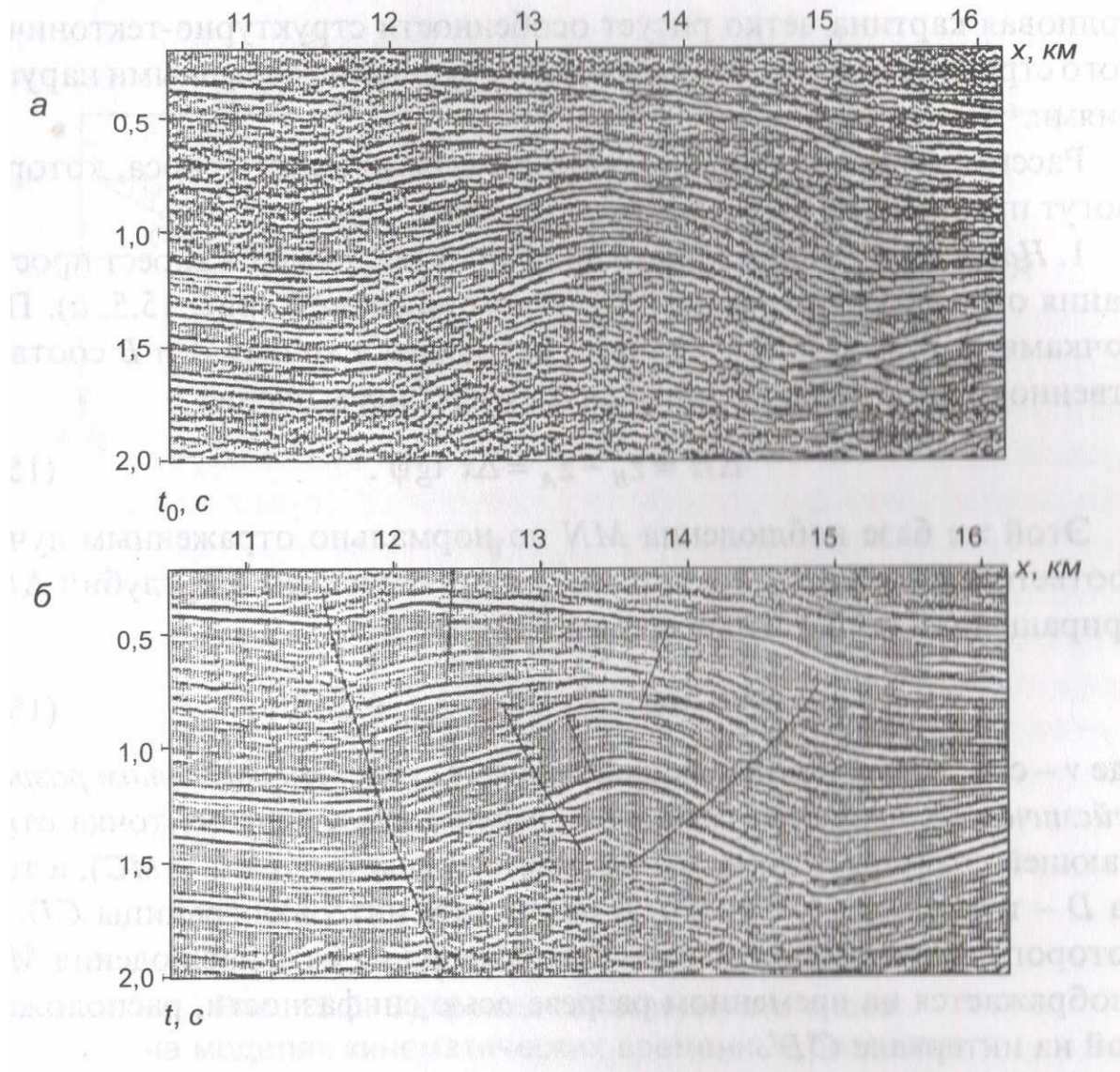
При сложной форме отражающих границ это приводит к тому, что волновая картина на временном разрезе не отражает истинного строения геологической среды, и при интерпретации могут быть сделаны ошибочные выводы.

Для преобразования полевых записей в суммарный временной разрез принципиальное значение имеют две процедуры:

- 1. Введение кинематических поправок, приводящих наблюдаемые времена к нормальным;***
- 2. Суммирование исправленных трасс по общим средним (глубинным) точкам.***

Другие процедуры обработки нацелены на улучшение соотношения сигнал/помеха.

Пример учета сейсмического сноса



Временной разрез МОГТ, построенный:

а – без учета сейсмического сноса; б – с учетом сейсмического сноса

Дифракционные преобразования сейсмических записей (D – преобразования)

В 60 – е годы прошлого века начались разработки методов учета и исключения сейсмического сноса на временных разрезах. Интегральный подход к решению этой задачи впервые был высказан советским геофизиком **Ю. В. Тимошиным**, им разработан и внедрен метод *дифракционных преобразований сейсмических записей*. Разработки Ю. В. Тимошина намного опередили зарубежные, на западе, к подобным исследованиям приступили более 10 лет спустя. Позднее этот подход получил название *миграции по Кирхгофу*.

Интегральный подход основан на *формуле Кирхгофа*, из которой следует дифракционный *принцип Гюйгенса-Френеля*. Принцип Гюйгенса гласит, что любая точка среды до которой дошло возмущение является источником вторичных элементарных волн.

Руководствуясь этим принципом мы можем для точек разреза (перебираемых в определенной последовательности) рассчитывать годографы дифрагированных волн, производить криволинейное суммирование отсчетов сейсмических трасс (вдоль годографов дифрагированных волн) и относить результаты суммирования к перебираемой точке.

Основы сейсмической миграции

Миграционные преобразования теоретически исходят из самой простой модели сейсмического волнового поля, удовлетворяющим следующим постулатам:

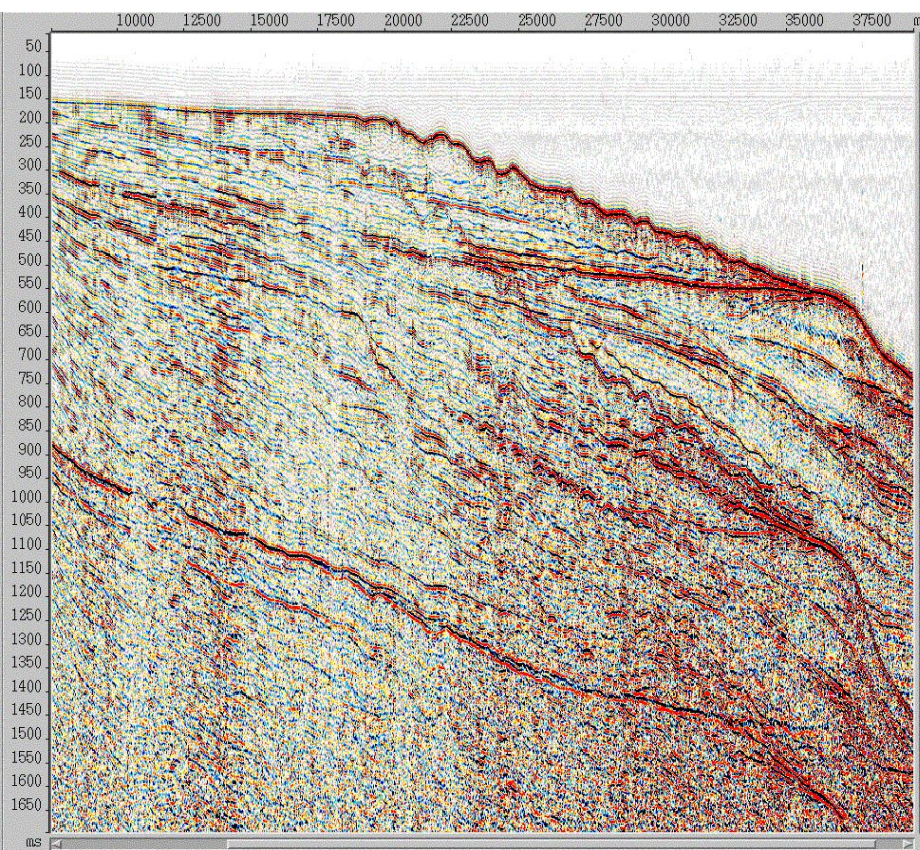
1. все колебания принадлежат только полезным волнам – однократно отраженным и дифрагированным;
2. на сейсмических границах не образуются многократно отраженные, обменные, головные и другие типы волн;
3. отсутствуют явления поглощения;
4. отсутствуют явления частотной дисперсии скоростей.

Это сильно упрощенная модель, но даже для нее задача миграции является непростой.

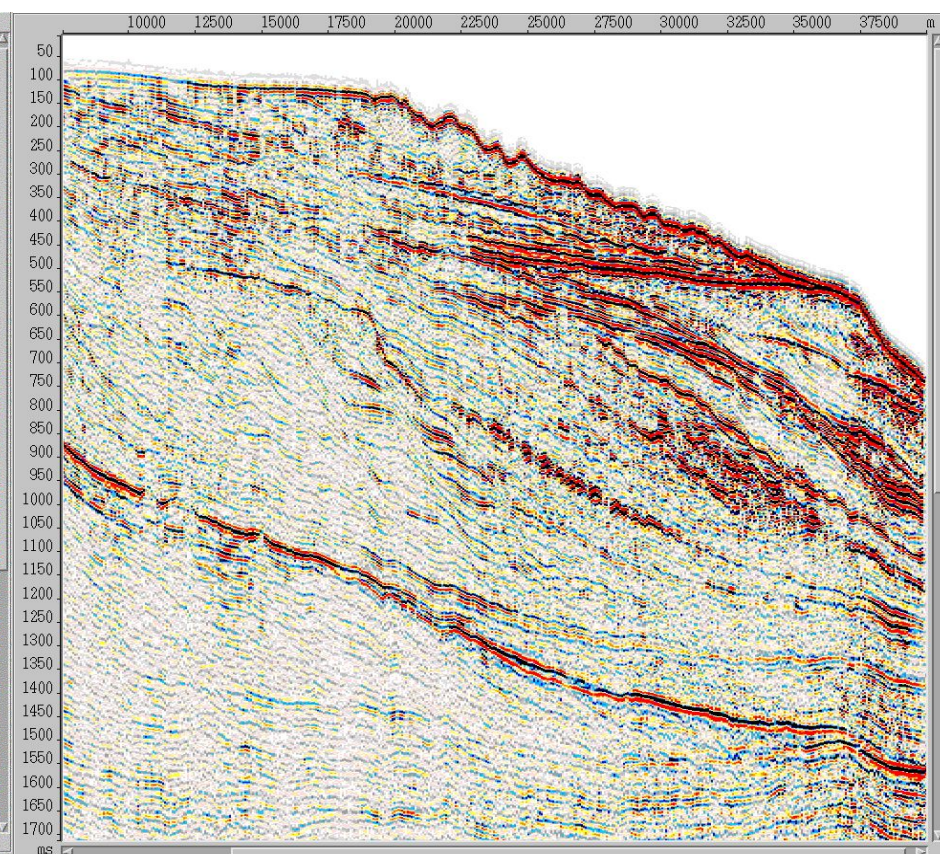
Основным аргументом в пользу миграционных преобразований служит факт, что при правильном их исполнении удастся неплохо учитывать *сейсмический снос* и получать *верное изображение геологических объектов в реальных средах*.

Все другие типы волн при миграции являются помехами, поэтому до миграции должны быть подавлены фильтрами и другими средствами.

Результат вычитания кратных волн

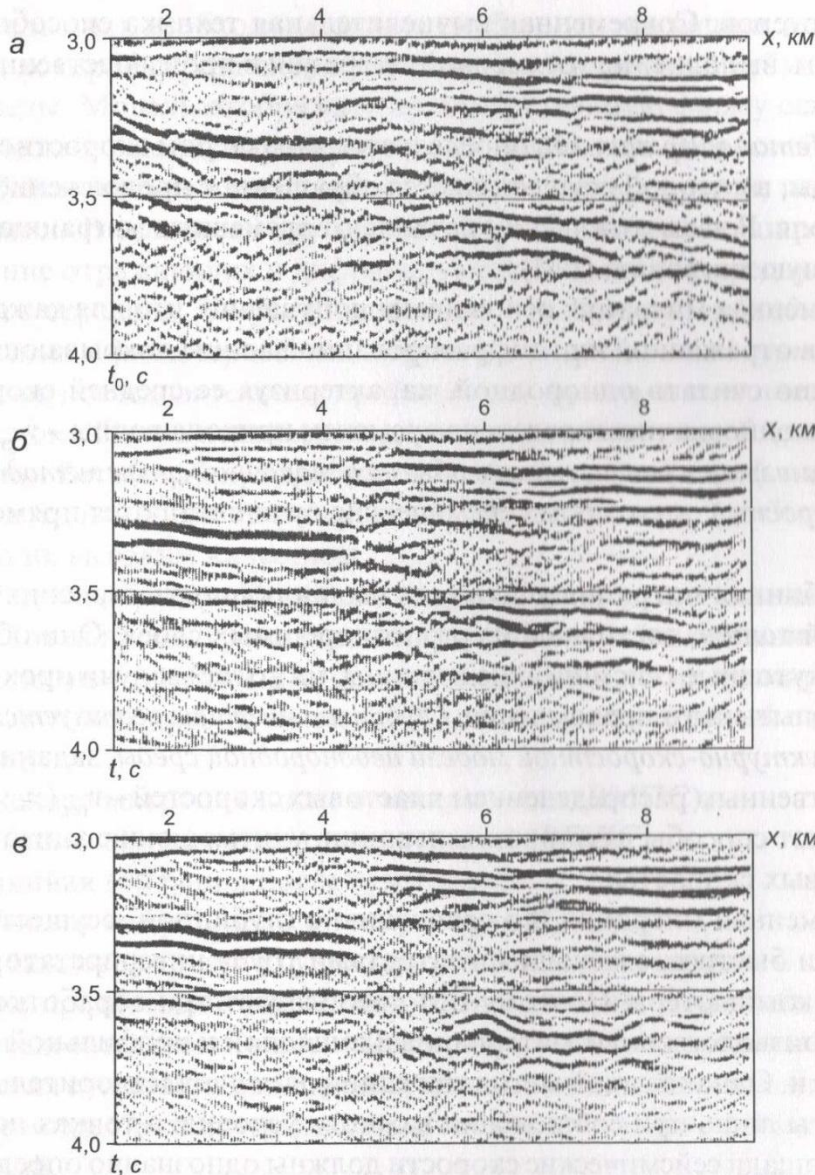


Исходный временной разрез



временной разрез после вычитания кратных волн

Размерность миграции



Сейсмическое волновое поле является объемным – *трехмерным*, поэтому корректное решение задачи по его обращению возможно только по данным *3D сейсморазведки* по данным *трехмерной миграции*.

Однако в настоящее время *миграционные преобразования* проводятся в двумерном - *2D* и трехмерном – *3D* вариантах на этапах до и после суммирования по *OCT*.

Достоверность получаемых результатов по *двумерной миграции* ограничена, поскольку учет сноса возможен только в вертикальной плоскости.

В качестве примера на рисунке показаны:
а – временной разрез до миграции;
б – временной разрез после двумерной миграции;
в – временной разрез после трехмерной миграции.

Метод миграции

По отношению к *скоростной модели* среды различают *временную миграцию* и *глубинную миграцию*.

Временная миграция основана на допущении, что покрывающая среда выше отражающей границы или точки дифракции однородна и характеризуется средней скоростью $V_{cp}(t)$, т. е. сейсмические лучи прямолинейны.

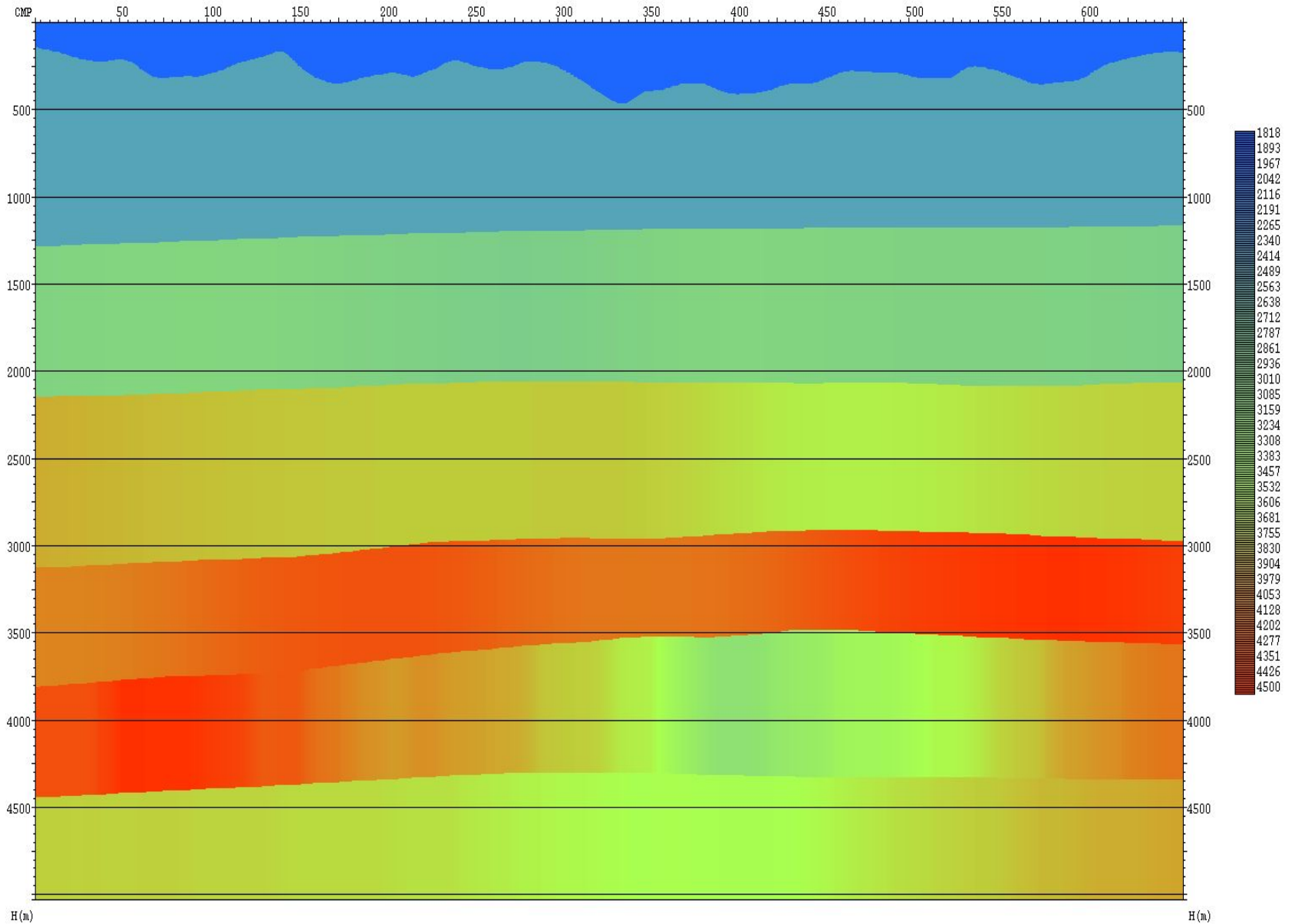
Глубинная миграция учитывает неоднородность строения покрывающей среды, состоящей из разно скоростных слоев и характеризуется пластовыми скоростями $V_{пл}(x, y, z)$.

Существуют способы миграции учитывающие анизотропию пластовых скоростей.

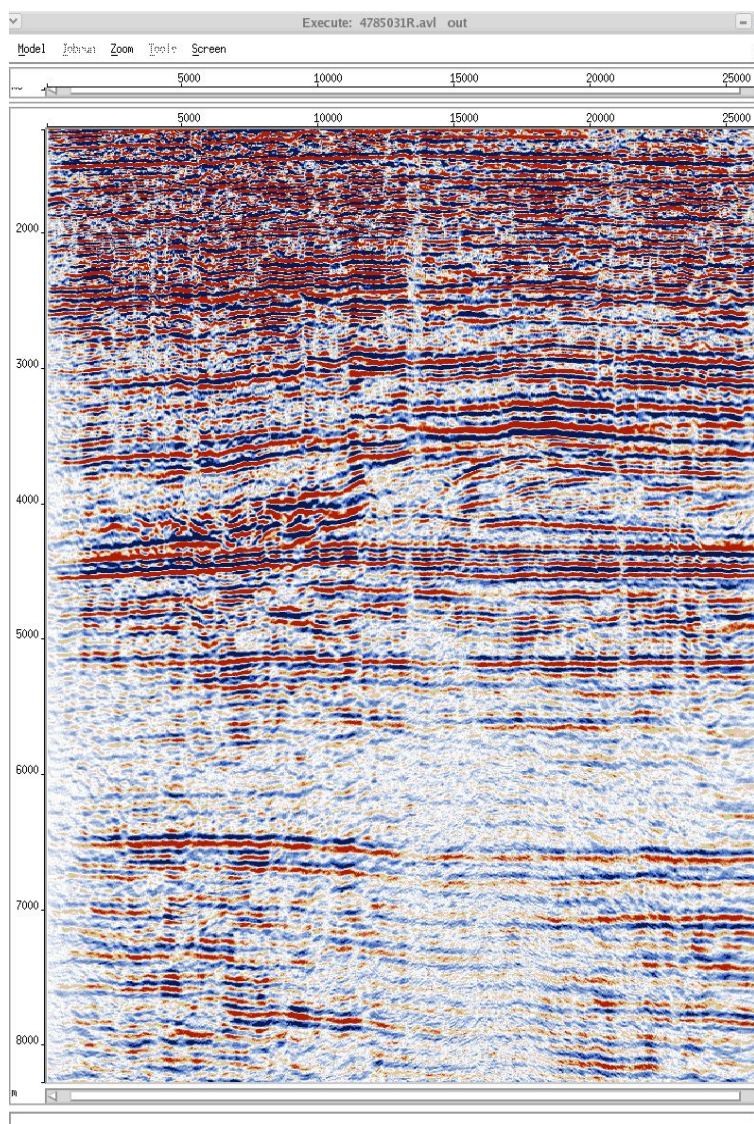
При значительной скоростной неоднородностью глубинной модели различие глубинного и временного становятся значительными.

Ниже на слайдах показаны результаты глубинной и временной миграции по временному разрезу полученному на газовом месторождении в Западной Сибири

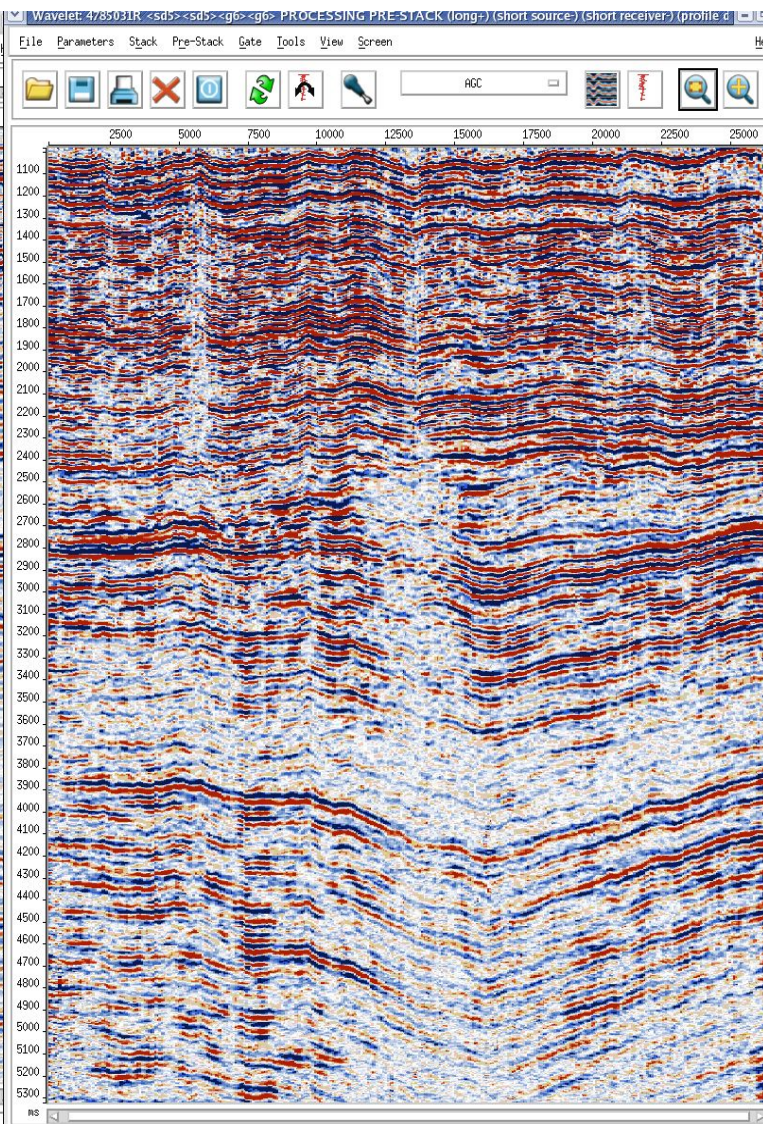
Скоростная модель



Результат глубинной и временной миграции



Глубинная миграция



Временная миграция

Место миграции

Здесь имеется ввиду взаимное расположение в графе обработки процедур *миграции и суммирования трасс*. Возможны 4 варианта миграции:

- 1. временная миграция после суммирования;*
- 2. временная миграция до суммирования;*
- 3. глубинная миграция после суммирования;*
- 4. глубинная миграция до суммирования.*

Миграция *после суммирования* хороша тем, что исходным материалом для неё служит суммарный разрез (куб), на котором, благодаря суммированию по ОГТ (ОСТ) значительно ослаблены регулярные и нерегулярные волны-помехи.

Другим важным преимуществом является её экономичность, объем вычислений сокращается пропорционально кратности, что особенно важно для 3D.

Недостатком таких миграций являются недопустимые искажения при больших углах наклона отражающих границ и неоднородности покрывающей толщи.

Временная миграция до суммирования целесообразна в случаях значительных наклонов отражающих границ, *глубинная миграция до суммирования* в случаях, когда покрывающая толщина сильно неоднородна.

На практике применяются также алгоритмы частичной миграции, корректирующих волновую картину за наклон отражающих границ. В зарубежной литературе эта процедура называется *DMO – (Dip Move Out)* – кинематическая поправка за наклон.

Способ миграции

Наиболее часто в настоящее время процедуру миграции осуществляют одним из *трех* способов:

- *миграция по Кирхгофу (дифракционного преобразования записи);*
- *конечно-разностная миграция (решением волнового уравнения);*
- *миграции в частотной области.*

Интегральный подход к задаче миграции основан на формуле Кирхгофа, из которого следует дифракционный принцип Гюйгенса-Френеля. Такое решение задачи впервые было предложено Ю.В. Тимошиным, позднее он был усовершенствован и получил название – *миграция по Кирхгофу*.

Дифференциальный подход к задаче предусматривает решение волнового уравнения в частных производных, которое реализуется *в пространственно-временной* или *спектрально-частотной* области.

Решение задачи в пространственно-временной области, найденное Дж. Клаербоутом, называется *конечно-разностной миграцией*.

Способы *частотной миграции* были предложены Дж. Газдагом и Р. Столсом.

Миграция по Кирхгофу

Рассмотрим двумерный случай, когда область наблюдений ограничена горизонтальной линией профиля – x , тогда из интеграла Кирхгофа можно получить приближенную формулу продолжения наблюденного поля $u(x, t)$. Эта формула поле точечного источника, расположенного в точке $D(x_D, z_D)$ в однородной среде со скоростью V .

$$u(x_D, z_D) \approx \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\tau_x}} \frac{1}{V} \frac{\partial u(x, \tau_x)}{\partial t} dx$$

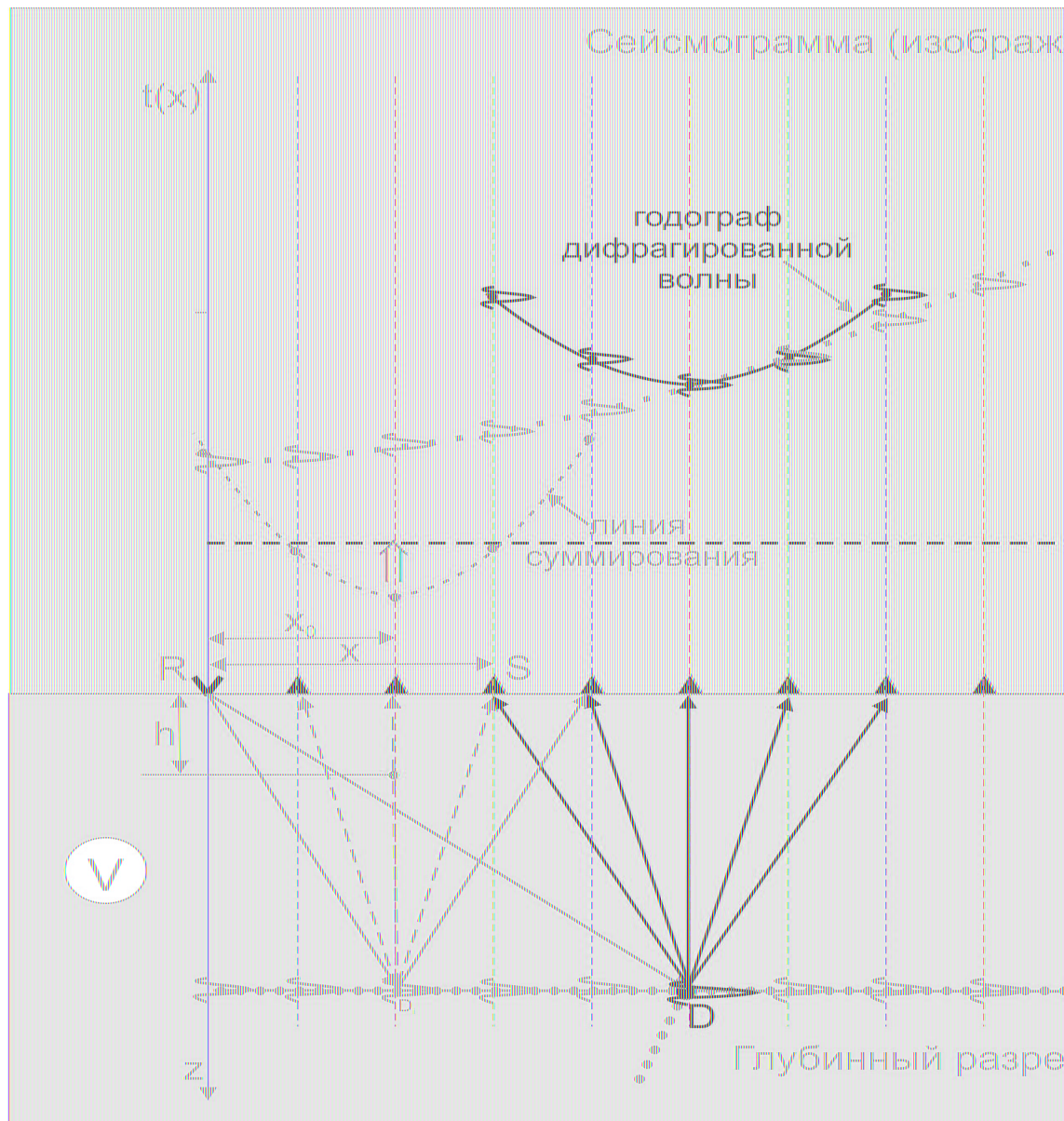
Где τ_x - время прихода в точку x элементарной волны, образовавшейся в точке разреза $D(x_D, z_D)$.

Приведенная формула описывает взвешенное суммирование величин производной по времени от наблюденного поля $u(x, t)$ вдоль продольного годографа дифрагированной волны - $\tau_x = \tau(x)$, образовавшейся в точке D .

Весовые коэффициенты - $\frac{1}{\sqrt{\tau_x}}$ учитывают геометрическое расхождение.

Операция дифференцирования для искомых результатов несущественна, поэтому вместо производной $\frac{\partial u(x, \tau_x)}{\partial t}$ можно использовать исходную функцию $u(x, \tau_x)$.

Суммирование по годографам дифрагированных ВОЛН



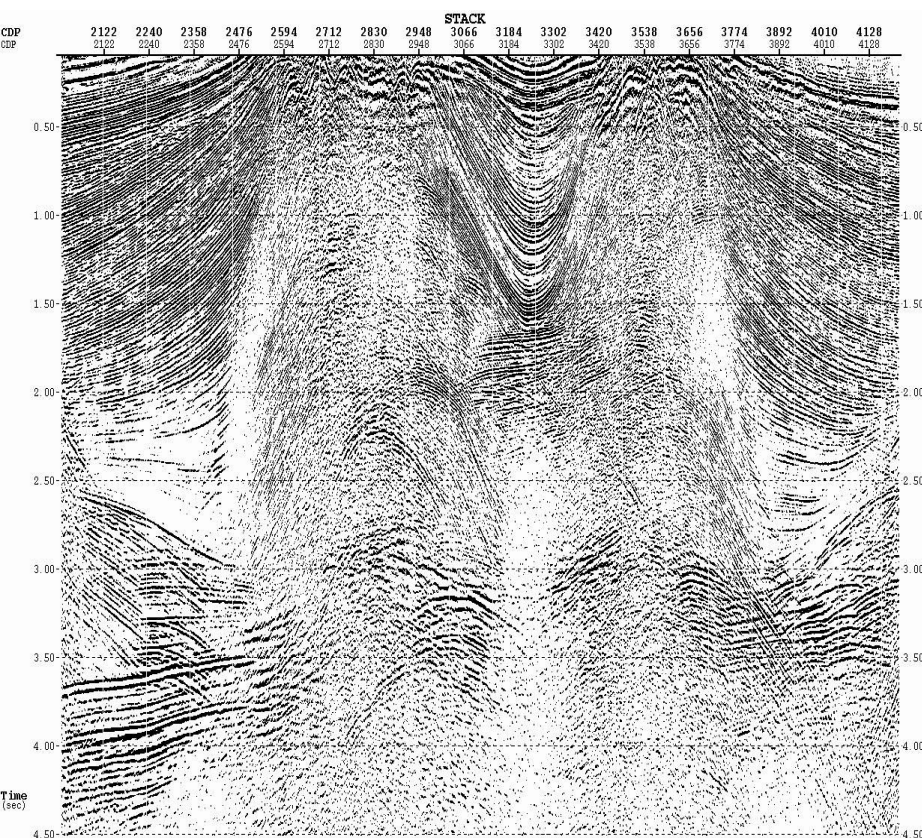
Рассмотрим пример: в нижнем полупространстве находится объект, *точка (узел) дифракции (D)*, находящийся на *отражающей границе (ОГ-1)*. При наблюдении по методике **ОГТ** на данном профиле получим сейсмограмму с *двумя осями синфазности* квазигиперболической формы, обусловленных наличием узла дифракции и отражающей границей.

Суммируя амплитуды записей на сейсмограмме по годографам дифрагированных волн (линиям суммирования), мы получим значения амплитуд на соответствующих трассах преобразованного временного разреза.

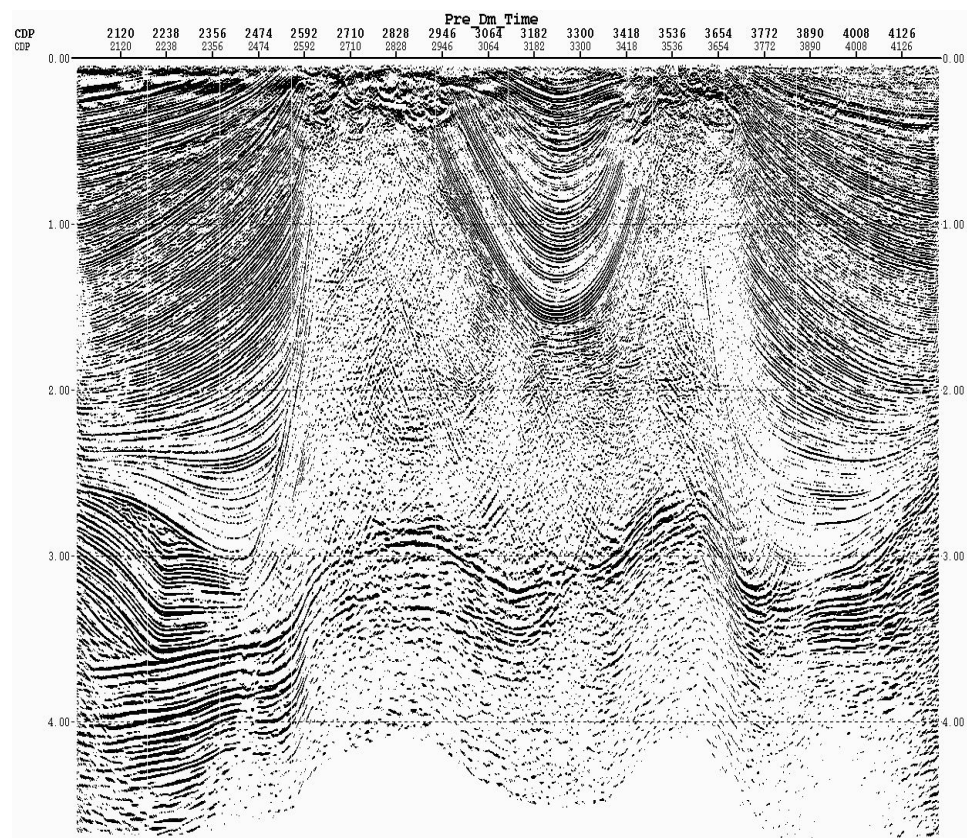
Эффективность применения миграционных преобразований

Из сопоставления рисунков видно, что миграция устранила (стянула) многочисленные дифрагированные волны присутствующие на исходном разрезе.

Кроме того в результате учета сейсмического сноса разрез стал вполне пригодным для интерпретации.



До миграции



после миграции по Кирхгофу

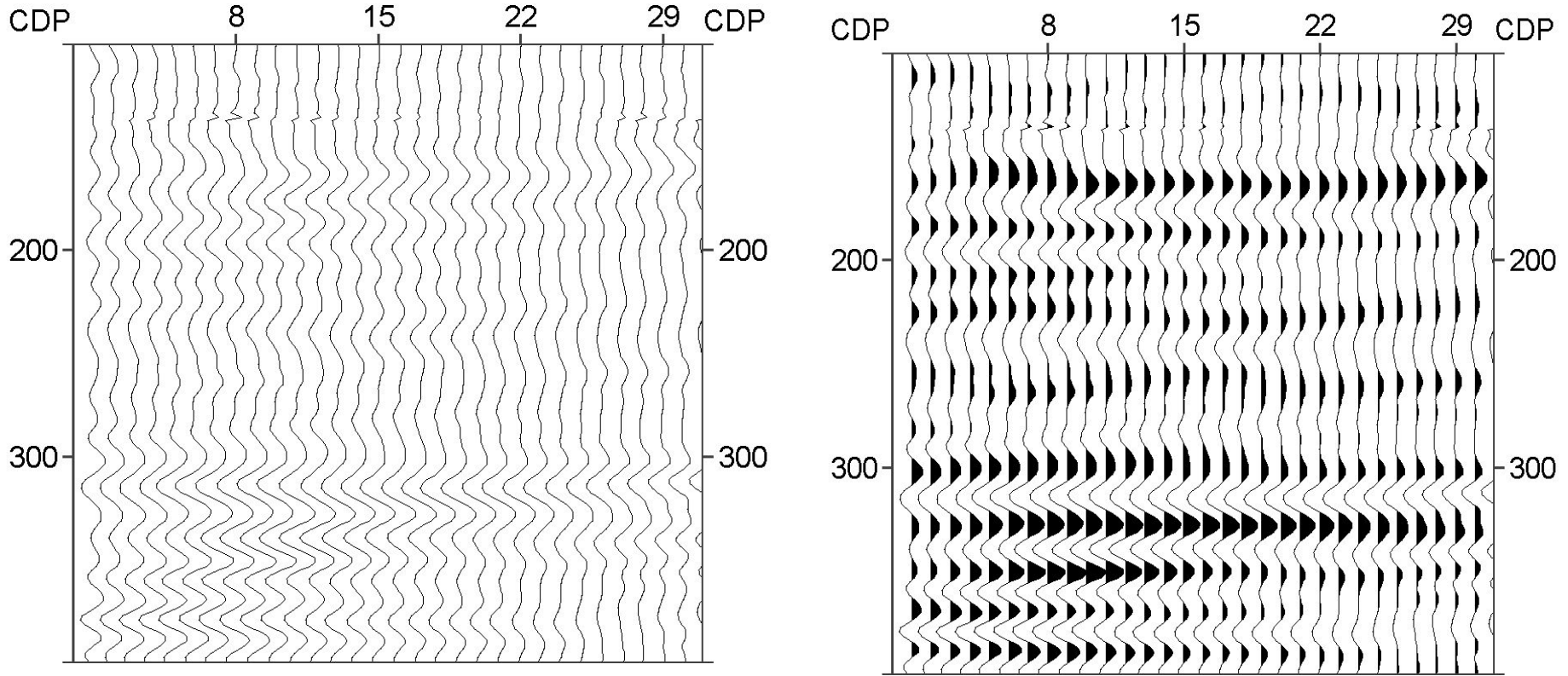
Графическое изображение сейсмических материалов

Сейсмические данные, получаемые после обработки первичных сейсмограмм, представляют собой набор цифровых значений некоторых сейсмических параметров (атрибутов), получаемых в узлах, как правило, регулярной двумерной сетки в вертикальной плоскости - при профильных работах **2D**, или в узлах пространственной трехмерной сетки - при работах **3D**.

Для выполнения всей последующей интерпретации результатов обработки требуется представлять эту огромную по объему цифровую информацию в компактном виде, в той форме, в которой эта информация могла бы быть осознана, понята, проанализирована и сопоставлена с другими геолого-геофизическими данными. Единственным способом такого представления является графическое изображение сейсмических материалов на экране компьютера или бумаге.

Существуют определенные принципы и технологии получения сейсмических изображений. С изображениями сейсмических материалов приходится работать оператору сейсмостанции, обработчику и, наконец, интерпретатору. Несмотря на большое разнообразие изображений, число типов основных результативных материалов относительно не велико.

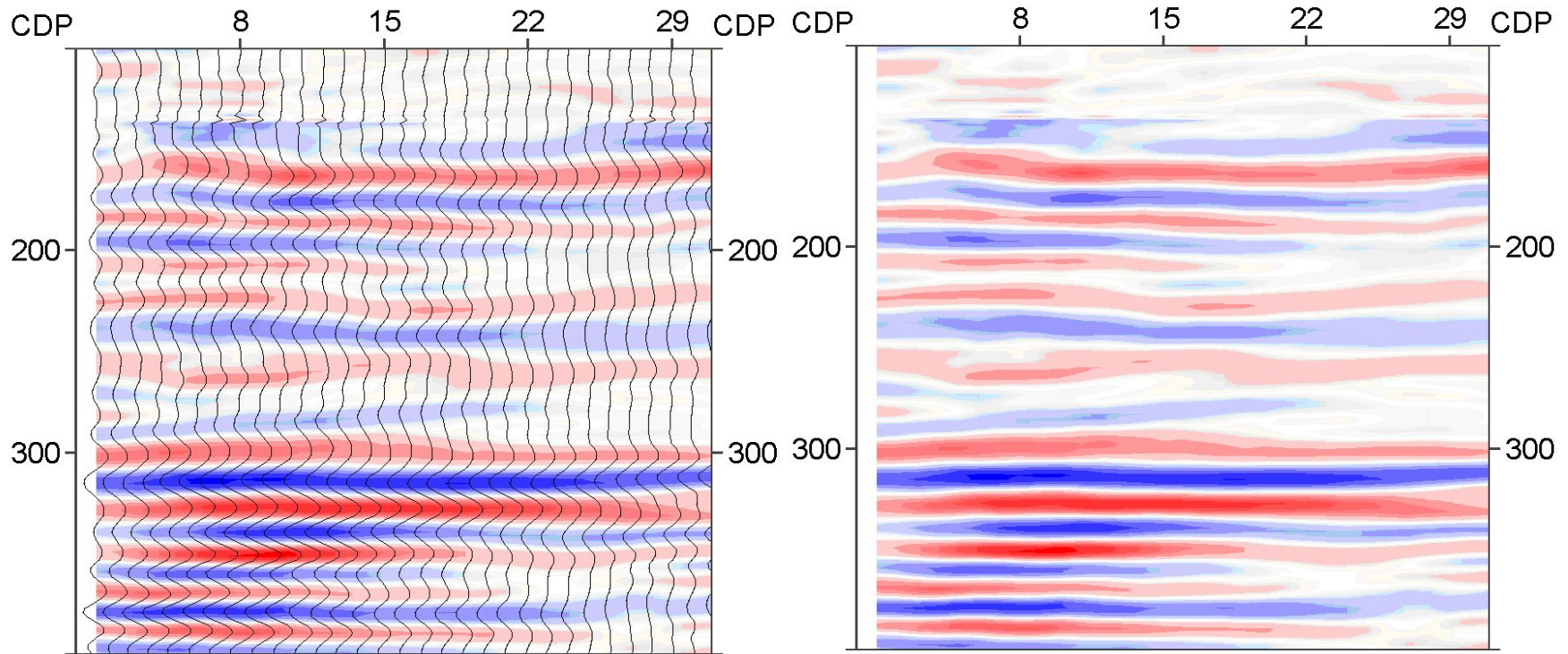
Черно-белое изображение сейсмического разреза



На рисунках приведен один и тот же фрагмент временного разреза, изображенный в черно – белом цвете способами: "*отклонений*" – левый рисунок, и с *зачернением положительных фаз* колебаний – правый рисунок.

Второй способ чаще всего применялся при построении изображения временных разрезов в эпоху, когда еще не было техники цветного изображения.

Цвет и его роль в сейсмических изображениях



Применение цвета основано на том, что человеческий глаз очень чувствителен к цвету. Интерпретатор сейсмических материалов может использовать эту чувствительность многими способами. Американские геофизики *Танер* и *Шерифф* были среди тех, кто первыми продемонстрировали изображение сейсмических разрезов в цвете и показали *дополнительную информативность* цвета на этих разрезах.

Цветные изображения позволяют лучше отобразить *динамический диапазон* записи, нежели черно-белые.

Цветовые модели

Модель RGB. Эта модель получила свое название по первым буквам английских слов *Red* (Красный), *Green* (Зеленый), *Blue* (Синий). Эта модель используется при выводе сейсмической информации на экран монитора.

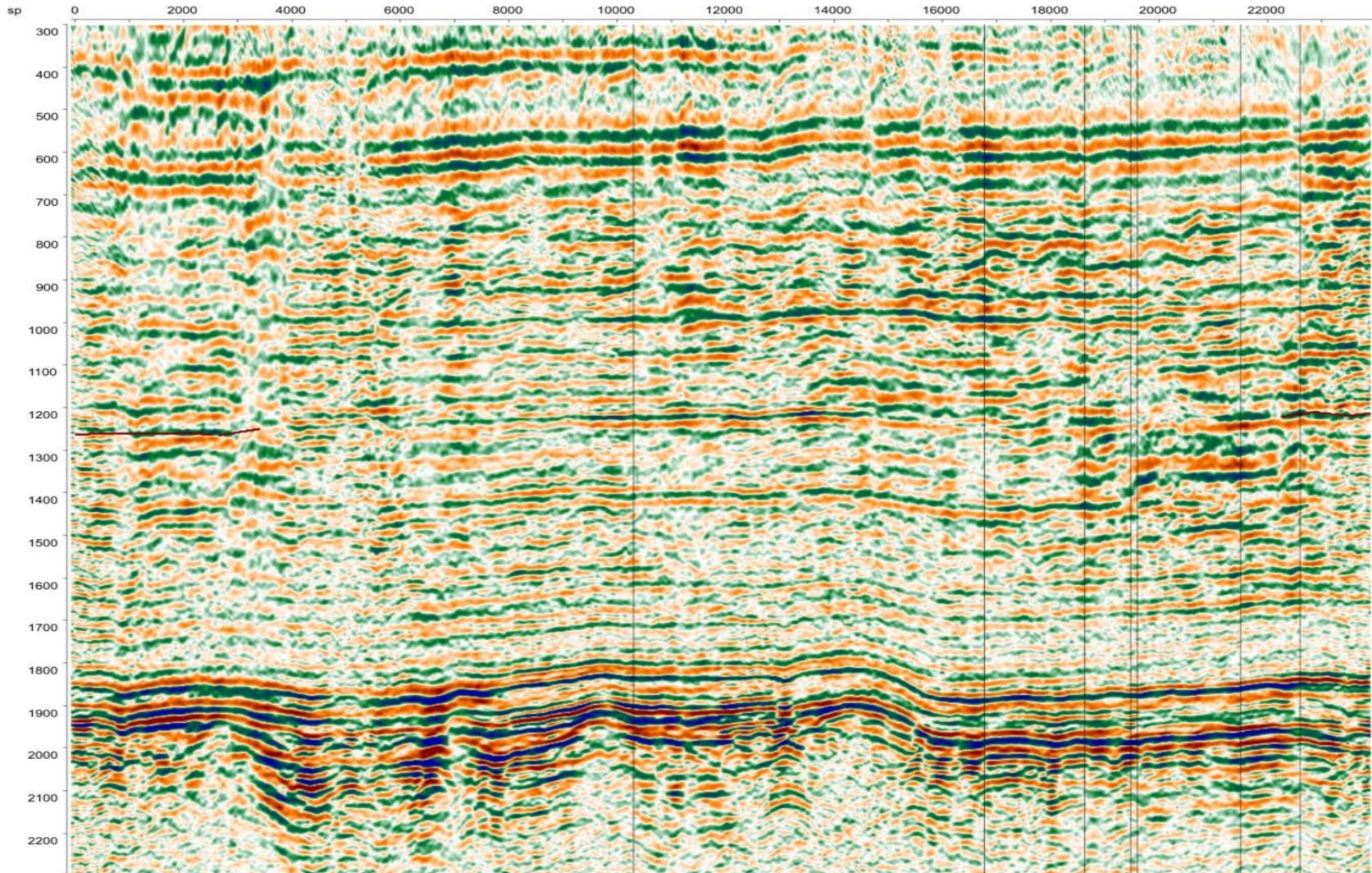
Любой цвет в модели RGB образуется путем смешивания в различных пропорциях трех базовых цветов: красного, зеленого и синего. Цвет в этой цветовой модели описывается тремя целочисленными значениями в диапазоне от 0 до 255. Поскольку модель RGB описывает излучающиеся цвета, чистый **черный** цвет должен иметь параметры 0,0,0 (ни один цвет не излучается, все составляющие равны 0). **Белый** цвет соответствует максимуму излучения - уровень каждой составляющей максимальный, цвет имеет параметры 255, 255, 255. По этой причине модель RGB называется аддитивной (от лат. *addere* – добавлять - суммарный).

Модель CMYK. В отличие от модели RGB, эта модель описывает цвета, полученные в результате отражения света объектами. Модель **CMY** называется субтрактивной (вычитающей), поскольку цвета в этой модели образуются путем вычитания из черного цветов *Cyan* (Голубой), *Magenta* (Пурпурный), *Yellow* (Желтый). Эти цвета и являются базовыми для этой цветовой модели. В цветовой модели CMY уровень составляющих задается значениями в диапазоне от 0 до 100% .

Однако практика показала, что при смешивании трех этих красок вместо черного цвета образуется грязно - коричневый. Для устранения данного недостатка к трем краскам добавили четвертую - черную (**Black**). В результате цветовая модель получила название **CMYK - Cyan, Magenta, Yellow, Black**. С цветовой моделью CMYK работает большинство устройств печати.

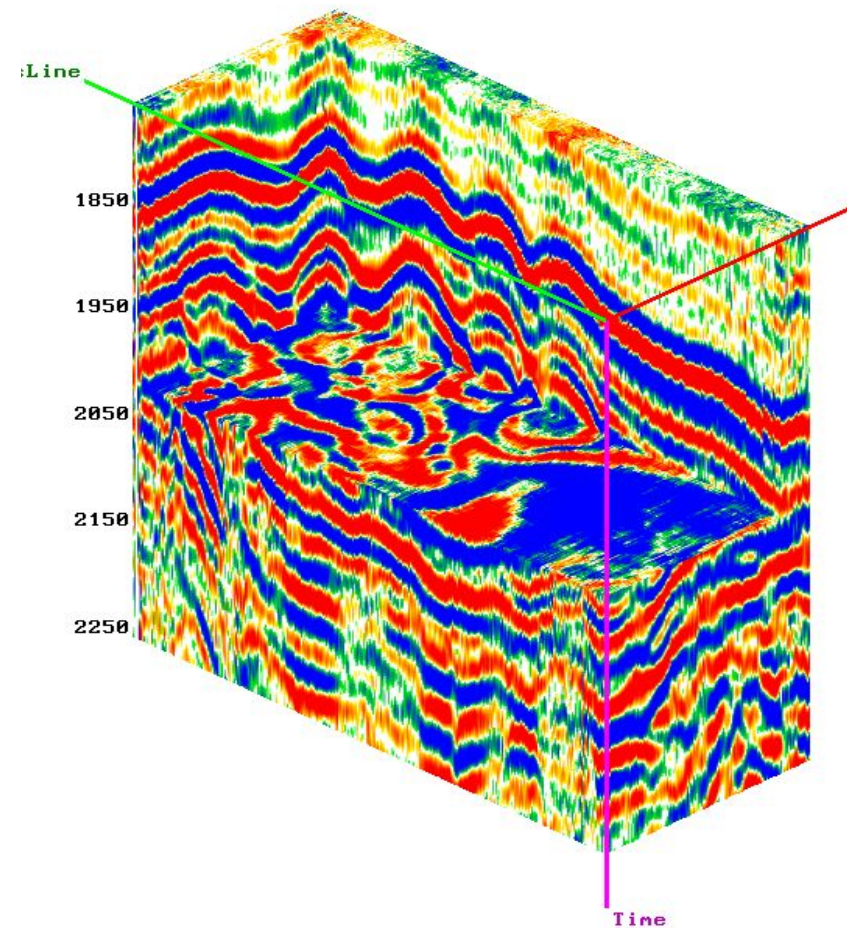
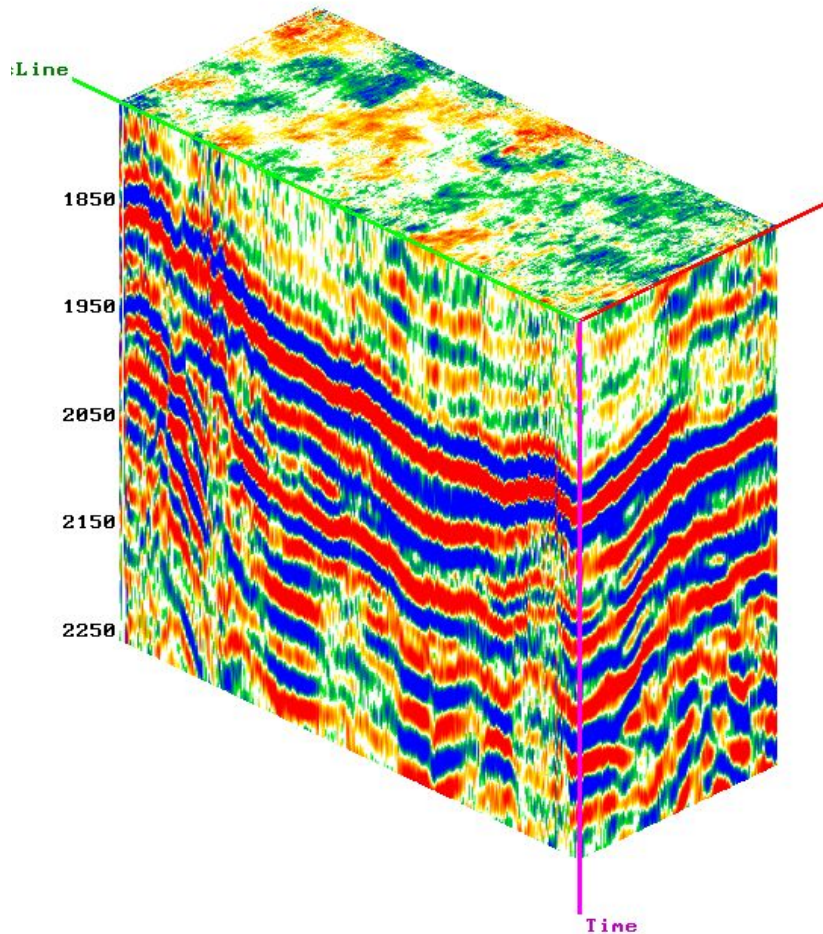
Сейсмический разрез (временной или глубинный)

При сейсморазведочных работах по технологии 2 D основной результат обработки - это сейсмический разрез (временной или глубинный).



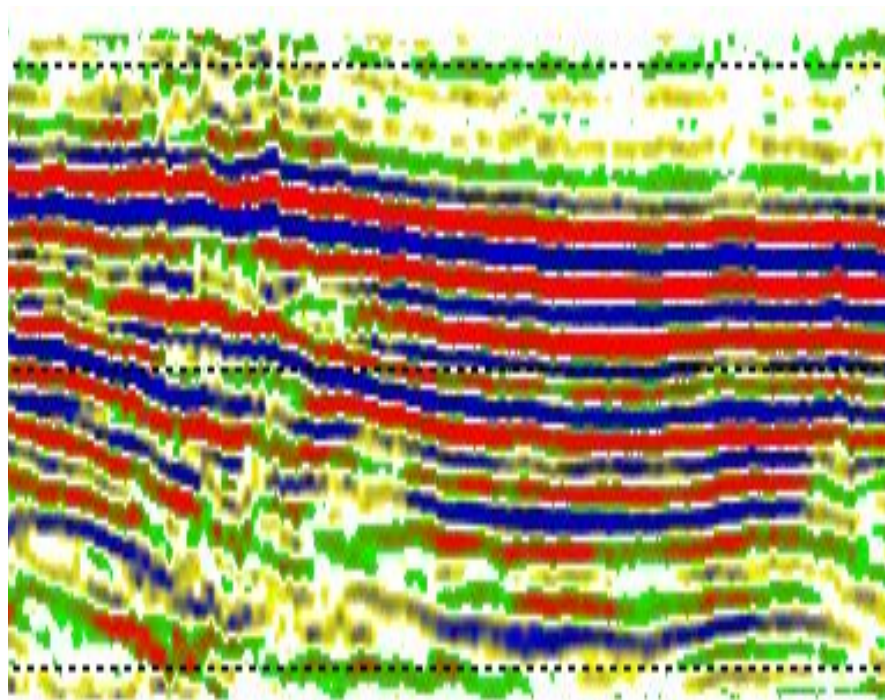
Изображения сейсмической информации полученной по технологии 3D

При обработке материалов сейсморазведочных работ полученных по технологии 3D, результаты могут быть визуализированы в виде *кубов в пространственном представлении* левый рисунок, при этом могут быть проведены различные *анимации этих кубов*, например на правом рисунке вырезана прямоугольная часть куба

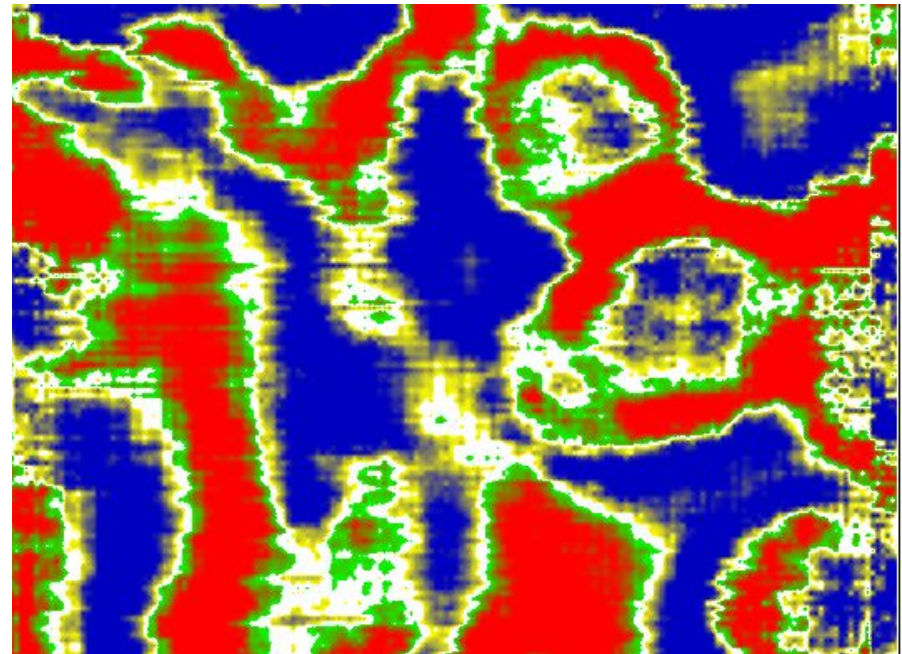


Изображения сейсмической информации полученной по технологии 3D

При работе с кубом сейсмических данных можно вывести для визуализации различные сечения куба. На рисунке показано вертикальное сечение куба по *in-line* и горизонтальное сечение, называемое на профессиональном жаргоне геофизиков *слайсом* (от англ. *time slices*)



вертикальное сечение куба по *in-line*



горизонтальное сечение - *слайс*