Сейсмическая разведка

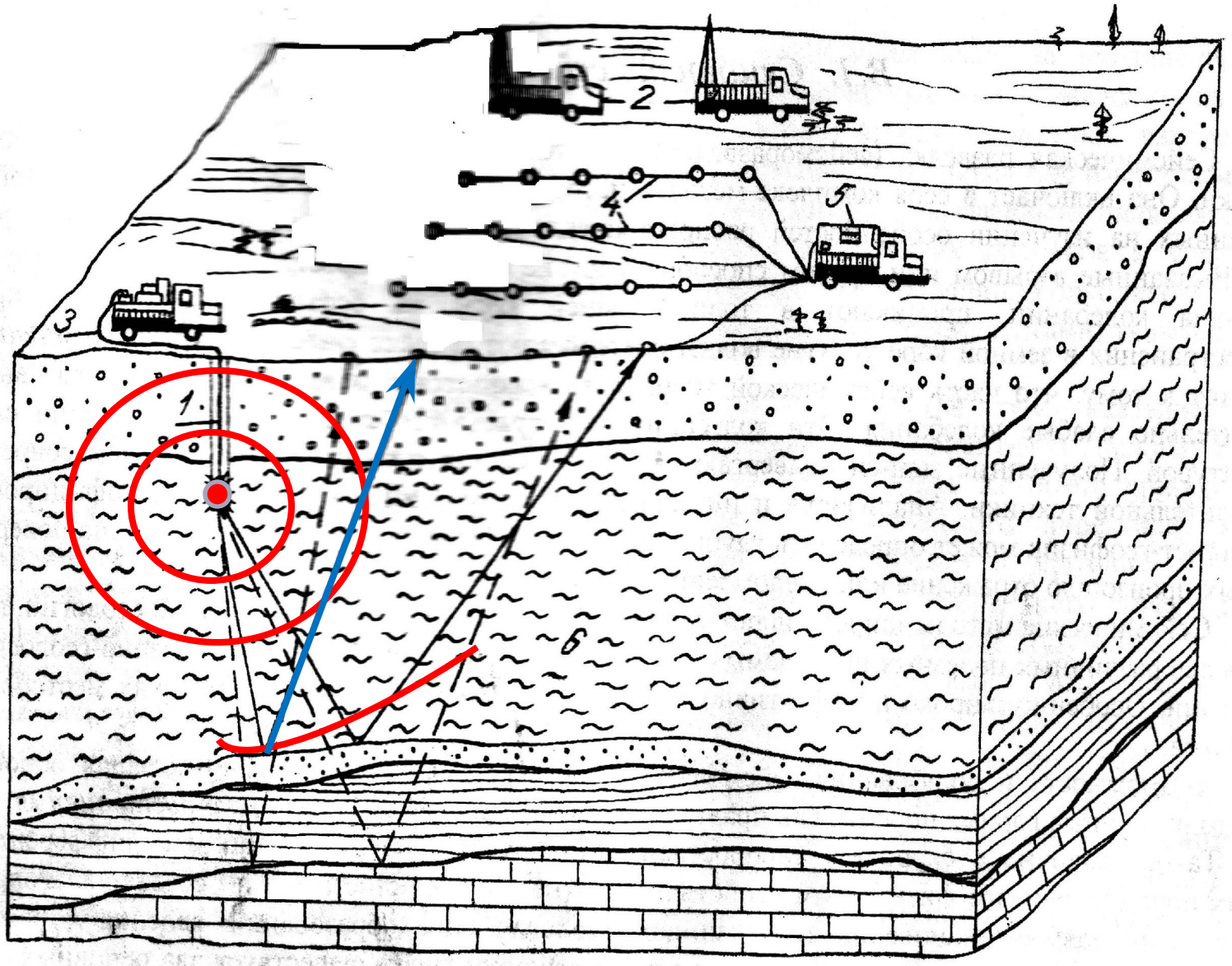
1. Бондарев В.И. Сейсморазведка. Кн.1,2. Екатеринбург, 2006.
2. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсмическая разведка: Учебник для ВУЗов. М., 1980.
3. Сейсморазведка: Справочник геофизика. В 2 кн. Под ред. В.П. Номоконова. М., 1990.
4. Урупов А.К. Основы трехмерной сейсморазведки. Уч. пос. для вузов. М., 2004
5. Спасский Б.А., Герасимова И.Ю. Сейсмостратиграфия. Уч. пос. Пермь, 2007

Сейсмическая разведка (сейсморазведка) включает в себя комплекс методов исследования геологического строения земной коры, основанных на **изучении особенностей распространения в ней искусственно возбужденных упругих волн.**

Вызванные взрывом или другим способом (ударом, вибрацией) упругие волны распространяются во все стороны от источника колебаний, проникают в толщу земной коры на большие глубины.

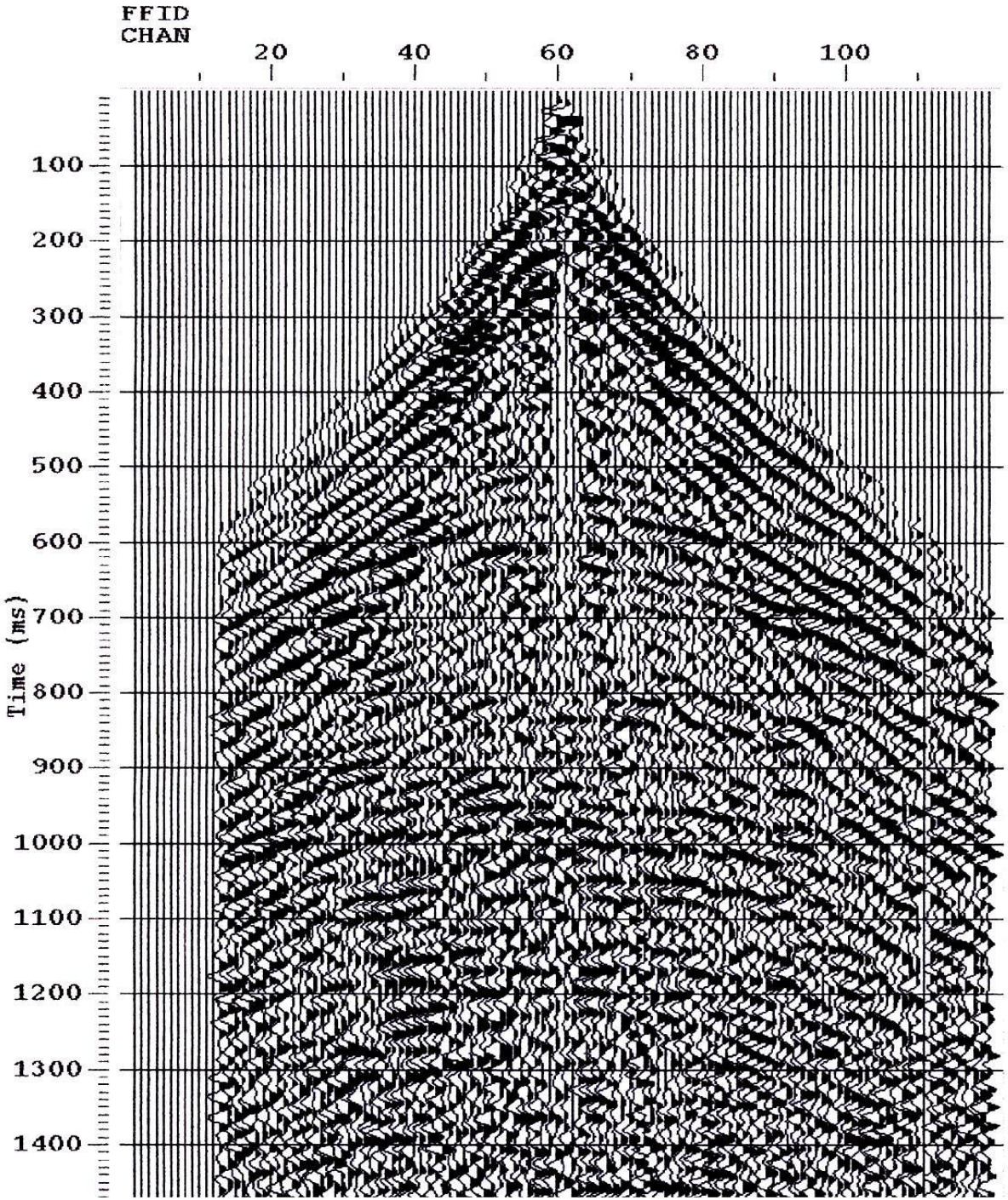
В процессе распространения в земной коре упругие волны претерпевают процесс отражения и преломления.

Часть сейсмической **энергии** возвращается к поверхности Земли, где вызывает слабые колебания. Эти колебания регистрируются специальной аппаратурой.



1 – скважина с источником возбуждения упругих колебаний,
2 – буровые установки,
3 – взрывная установка,
4 – сейсмические приемники, подключенные к сейсмическим косам,
5 – установка с регистрирующей сигналы аппрарурой,
6 – схематический разрез горных пород

Схематическое представление процесса проведения сейсмических исследований

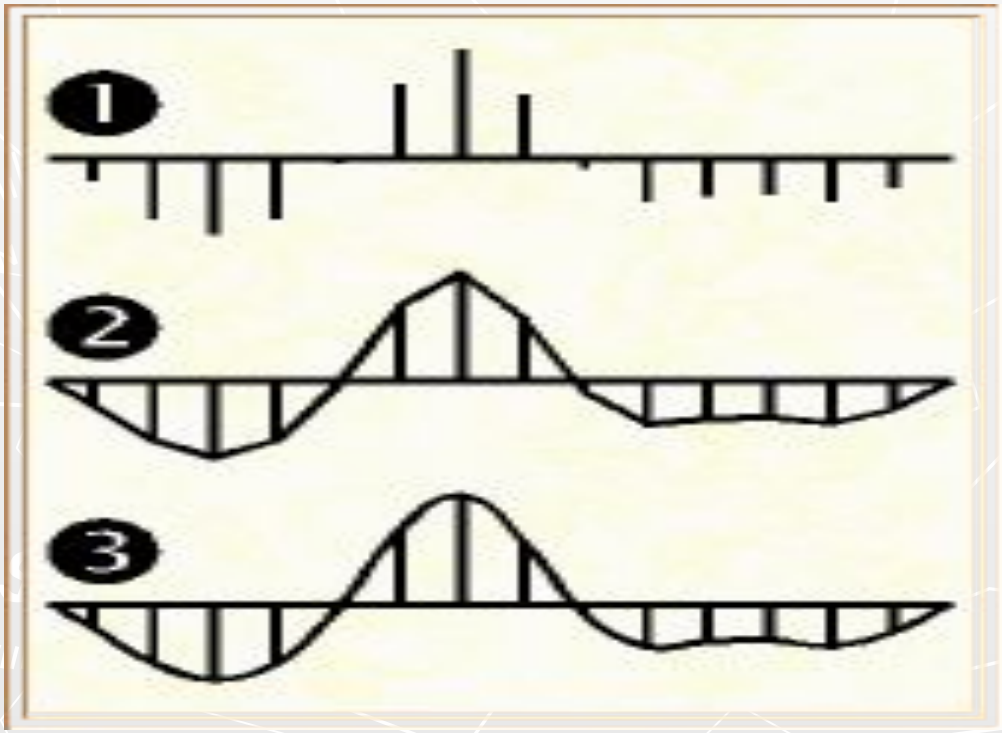


Пример типичной сейсмограммы

Данные, записанные от одного «взрыва» (одна детонация взрывного или невзрывного источника энергии) на одну точку приема, именуются **сейсмической трассой**, и записываются как функция времени (время с момента взрыва).
Т.к. это время представляет собой время, которое потребовалось энергии, чтобы пройти сквозь землю, отразиться и затем вернуться к поверхности, его было бы правильнее назвать «временем в оба конца».

Для изображения сейсмических трасс есть очень много способов. Когда имеют дело с коротким участком трассы и хотят проверить числа, которые создают цифровое представление о трассе, то

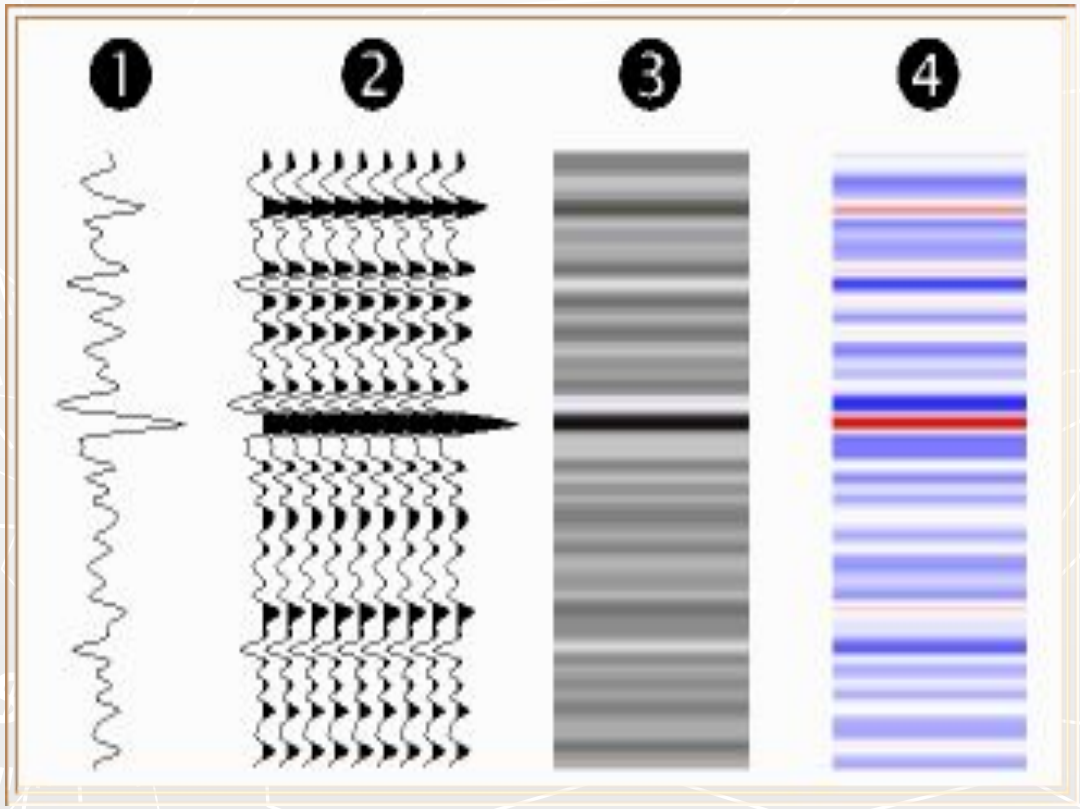
1) ее показывают как серию «пиков», представляющих числовое значение трассы в каждом дискрете.
2) показывают ту же серию, но с применением непрерывной вписанной линии.
3) показывают непрерывную сглаженную форму волны.



При этом предполагают, что значения выше линии нуля представляют положительные числа, тогда как значения ниже линии – отрицательные

Когда рассматривают набор трасс, переходят к более условным изображениям. Например,

1) показывают «трассу с не закрашенной положительной областью»,
2) показывают «трассы с закрашенной положительной областью»
3) показывают типы «меняющейся плотности»
4) показывают цветное изображение.



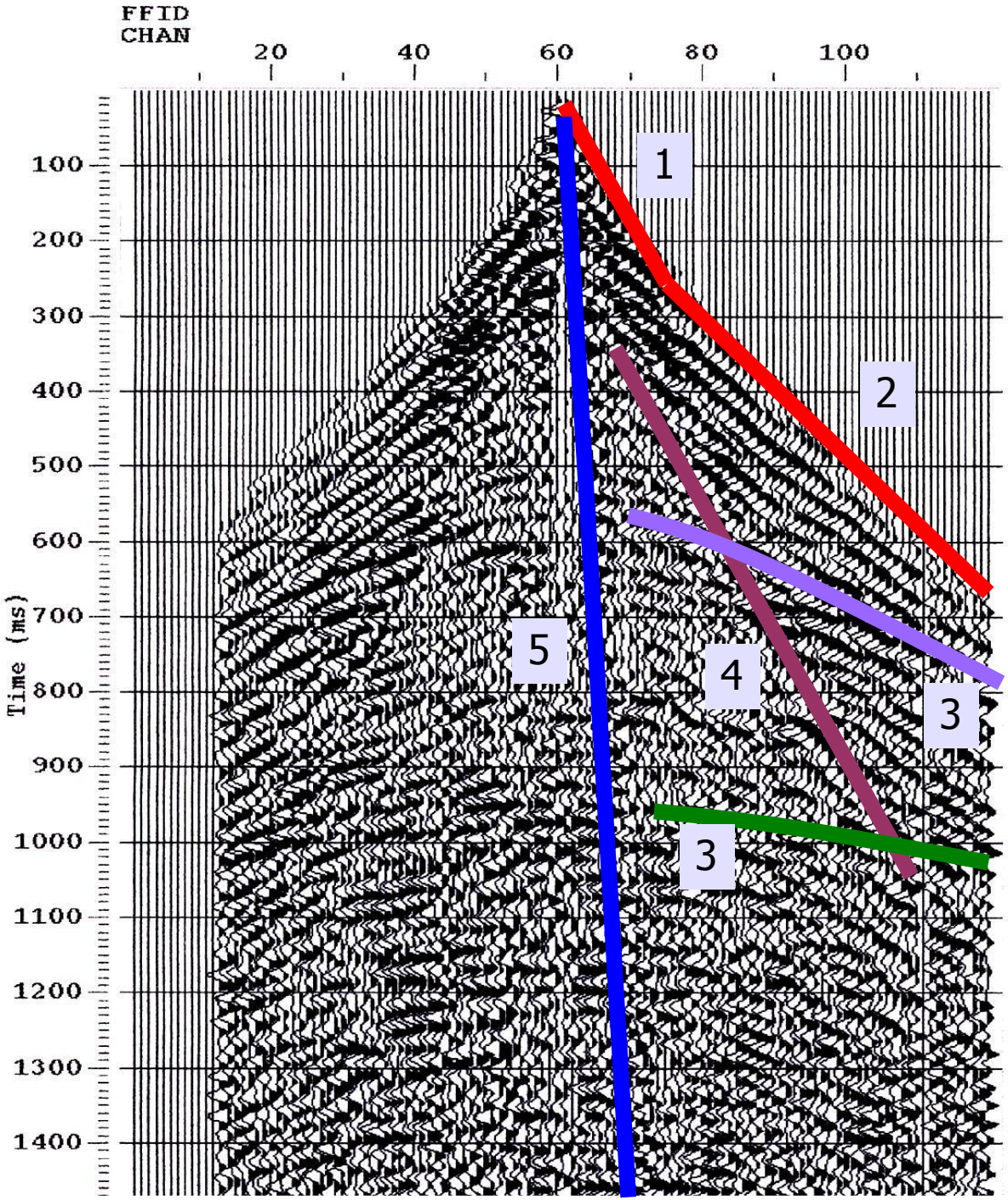
Для этих изображений положительные значения будут смещаться вправо, или будут изображаться черными или красными «пиками» на изображениях с меняющейся плотностью.

Изображения «трассы с закрашенной положительной областью» обычно имеют положительные пики черного цвета.

Во время обработки эти трассы комбинируются вместе различными способами, и изменяются с помощью достаточно сложных математических операций, но они всегда остаются «трассами».

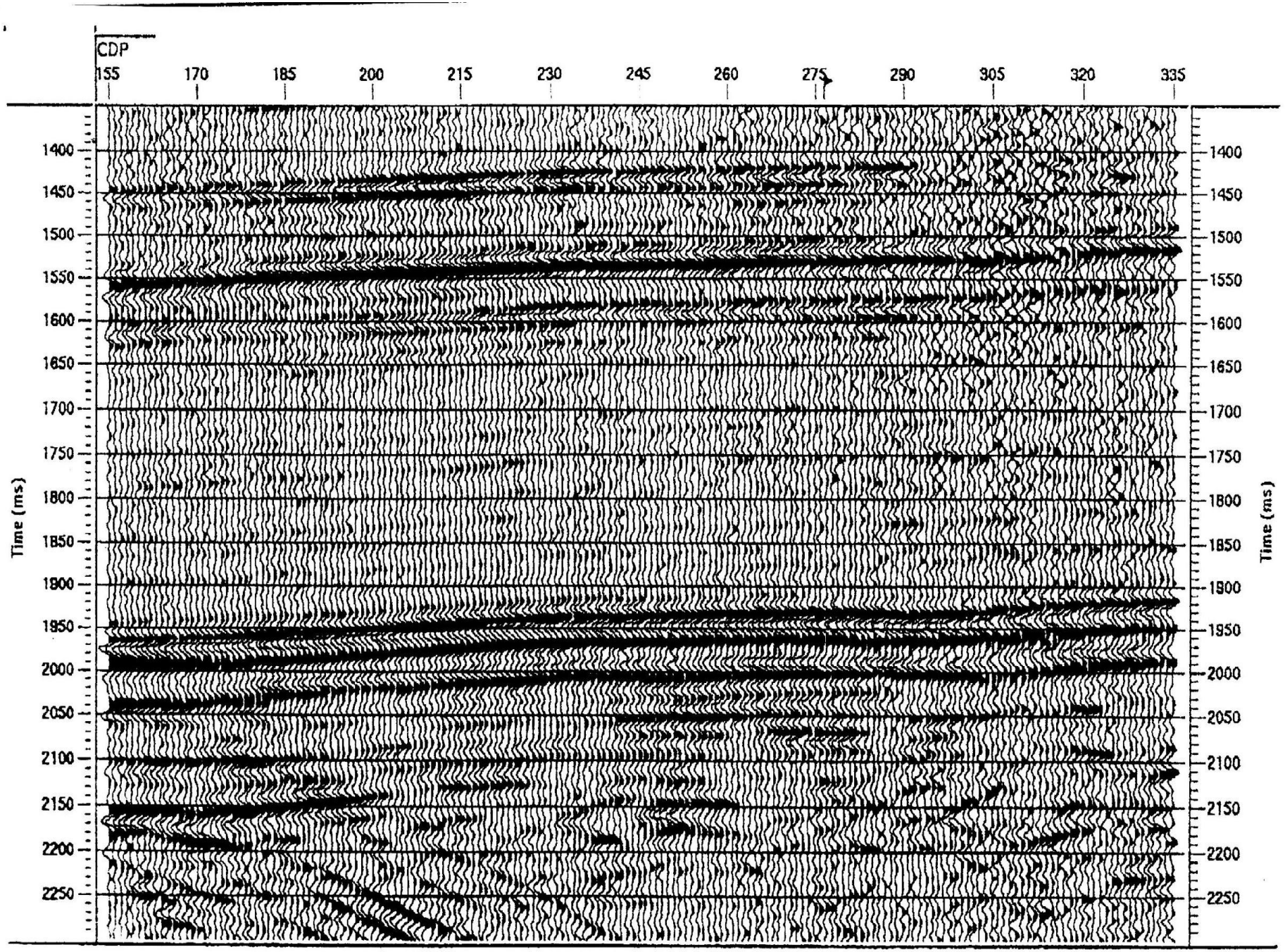
Набор нескольких сейсмических трасс, принято называть **сейсмограммой.** Именно сейсмограммы обычно являются исходными данными для обработки.

Полученные в результате обработки материалы анализируются и интерпретируются. В итоге можно определить глубину залегания, форму и свойства тех слоев, на границах между которыми произошло отражение или преломление упругих волн, скорости в различных толщах пород ...

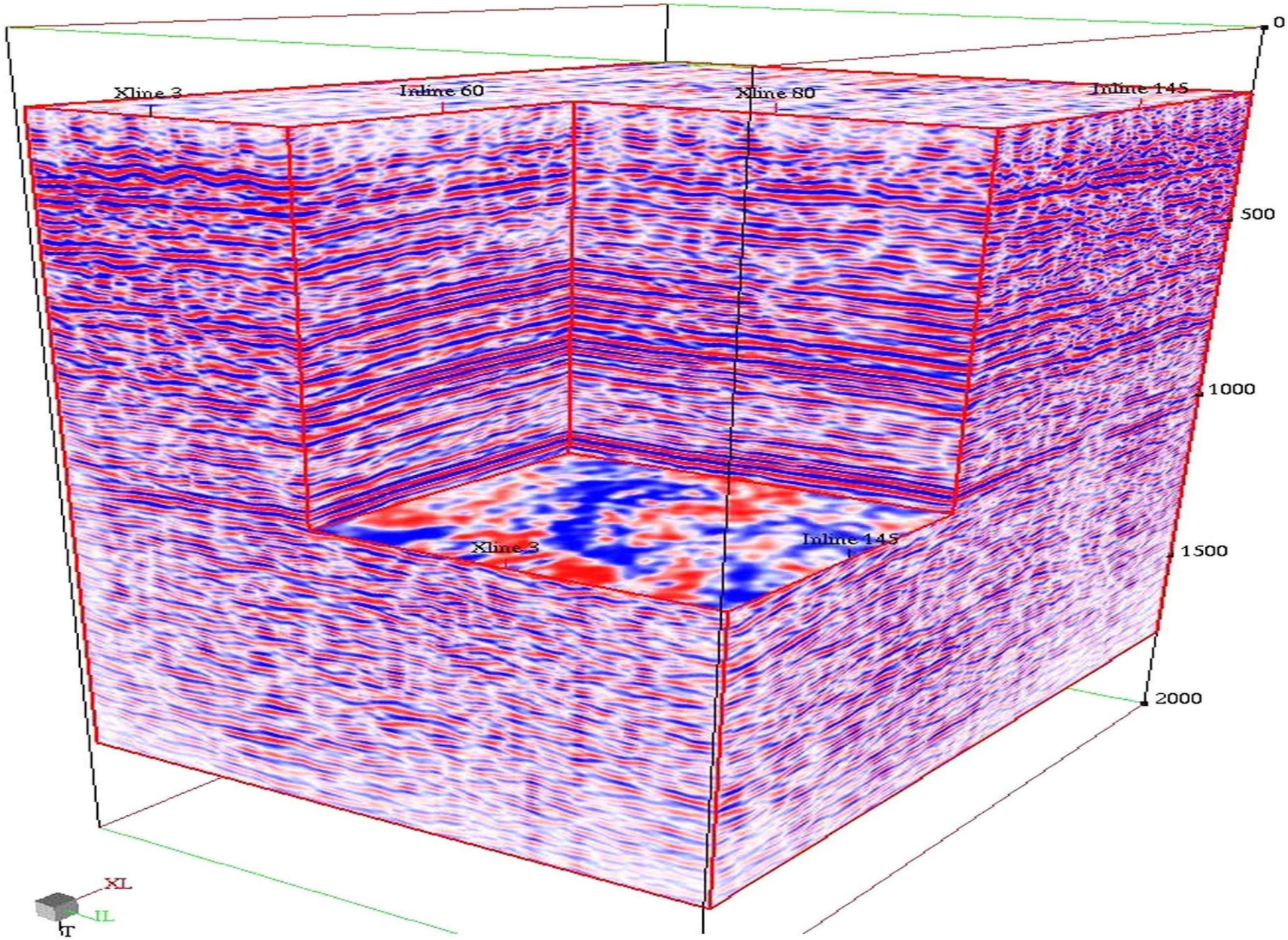


Пример типичной сейсмограммы

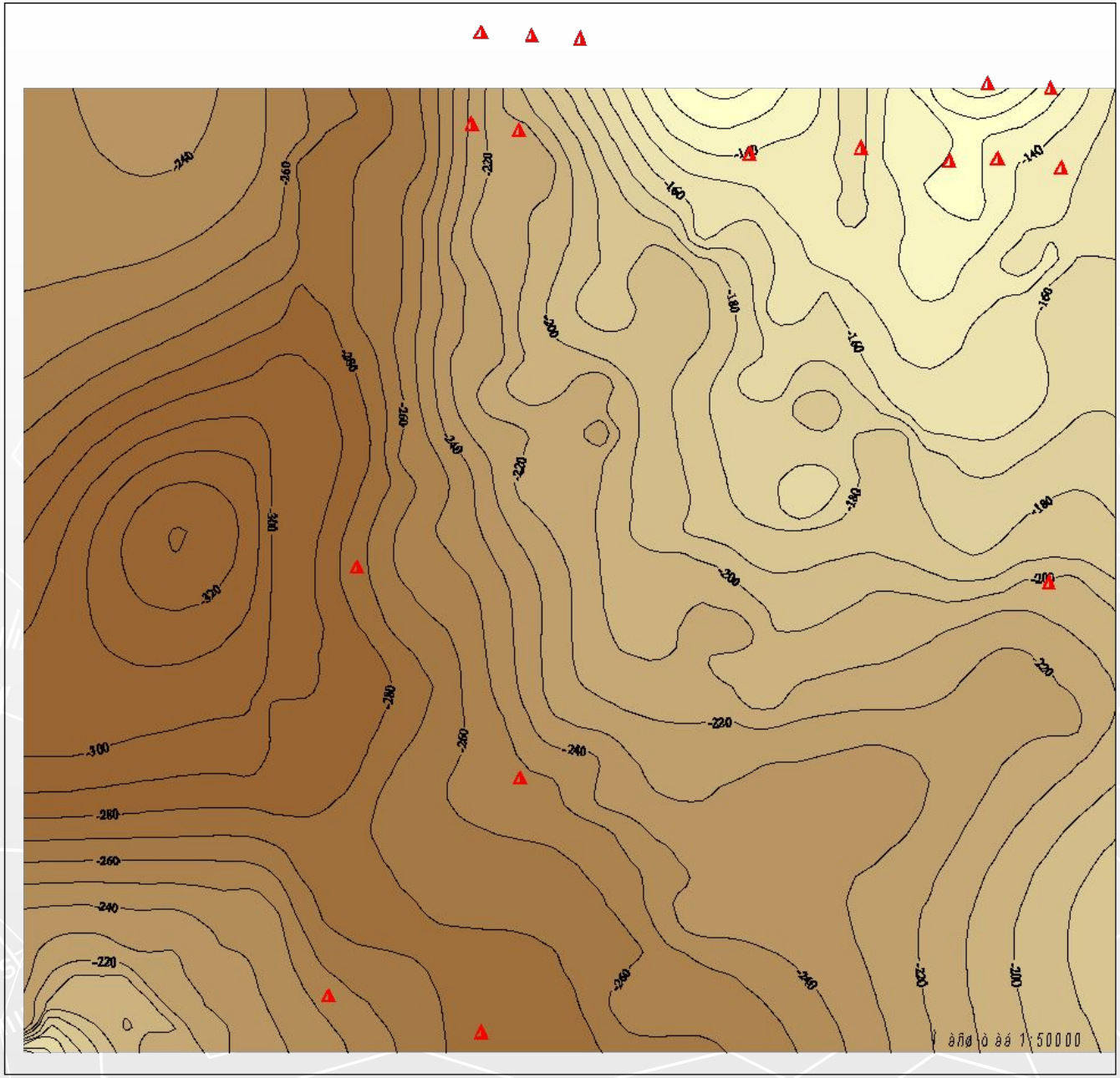
1 – прямая волна,
2 – преломленная волна,
3 – отраженная волна,
4 – поверхностная волна,
5 – звуковая волна



Пример суммарного временного разреза, полученного в результате обработки данных



Пример временного куба, полученного в результате обработки данных



Пример структурной схемы, полученной в результате обработки и интерпретации

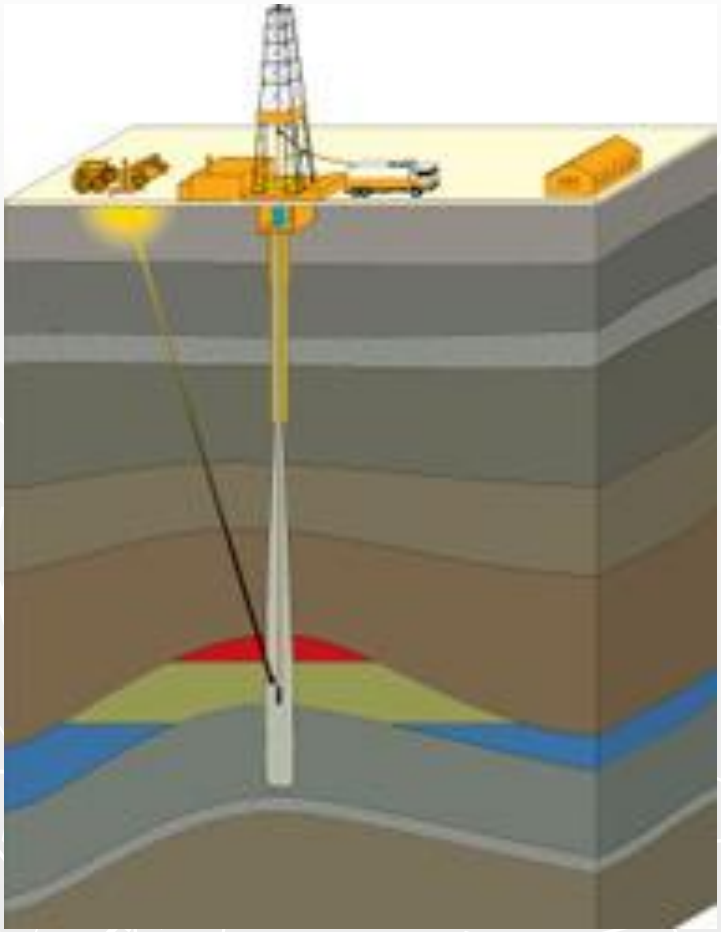
Метод сейсморазведки основан на изучении **кинематики** (**времени пробега**) различных волн от пункта их возбуждения до сейсмоприемников и их **динамики** (**интенсивности**).

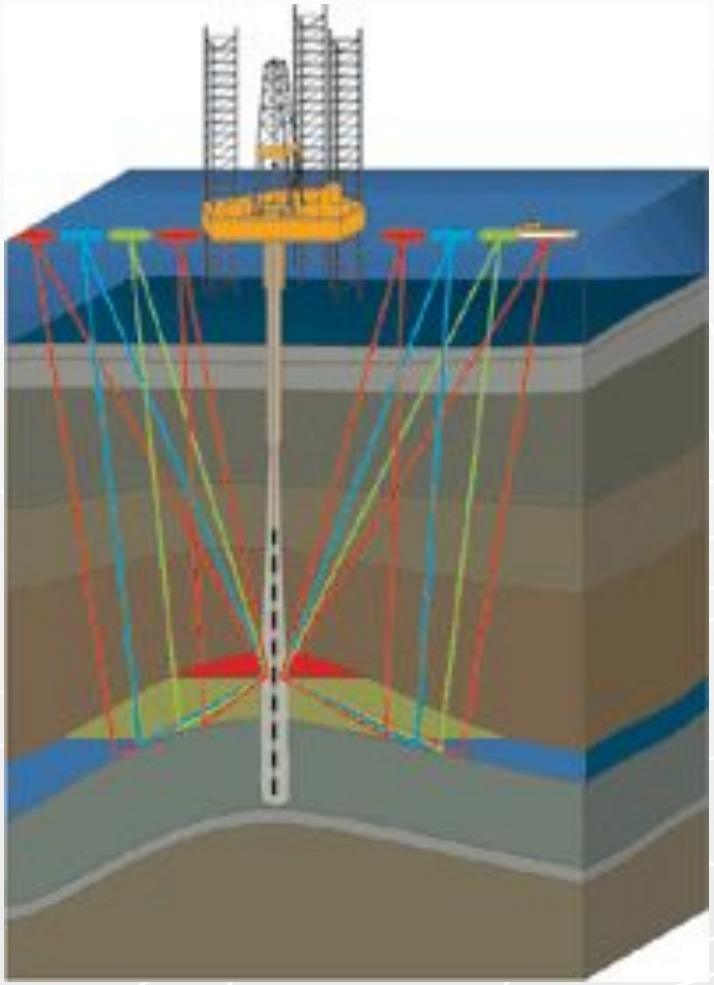
Возможность использования сейсморазведки для решения разнообразных задач основана на том, что различные горные породы имеют различные скорости распространения упругих волн.

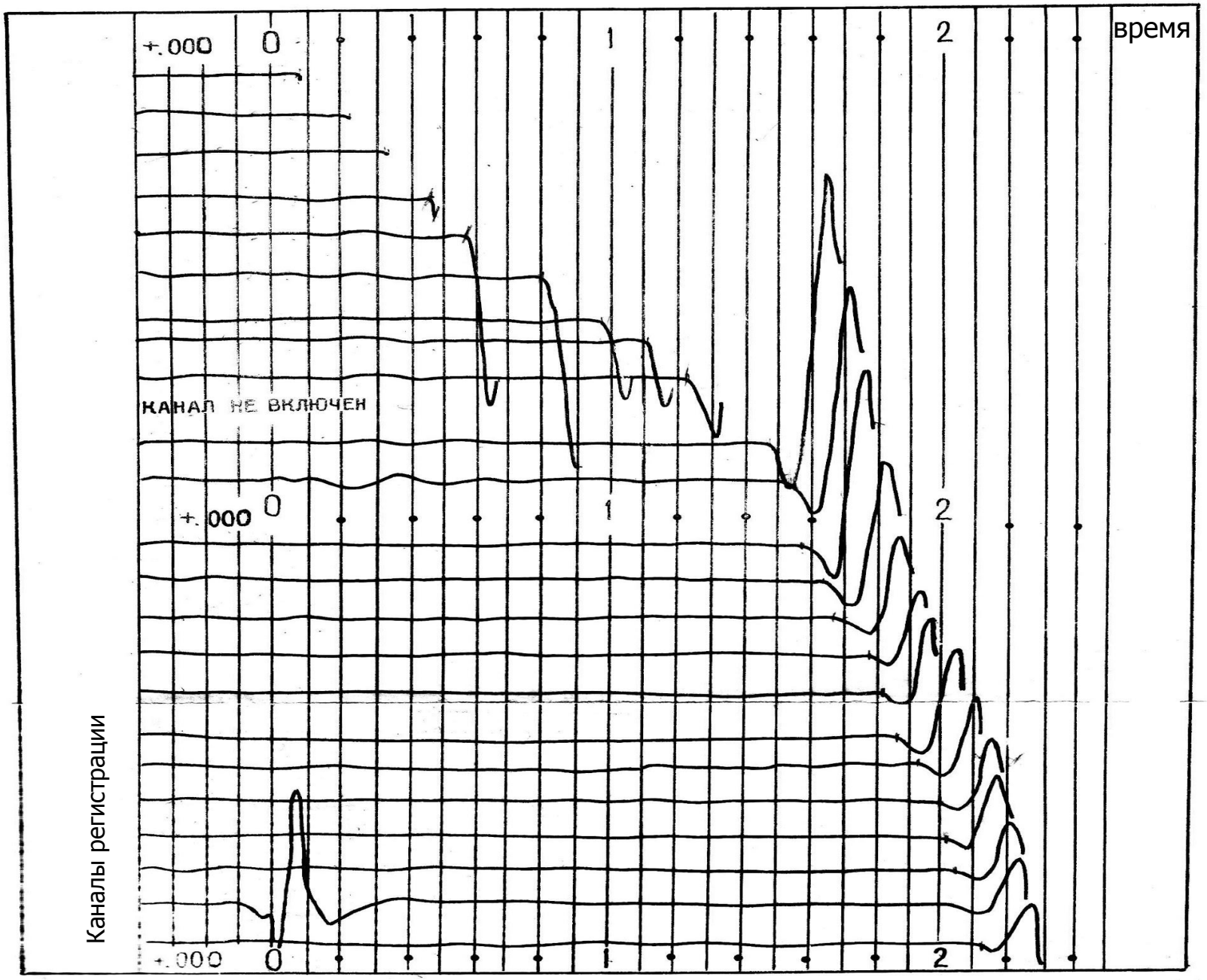
В результате создаются предпосылки для возникновения на границах геологических образований **явления** отражения и преломления упругих волн.

В соответствии с этим явлением в сейсморазведке существуют 2 основных метода – метод отраженных волн (МОВ) и метод преломленных волн (МПВ).

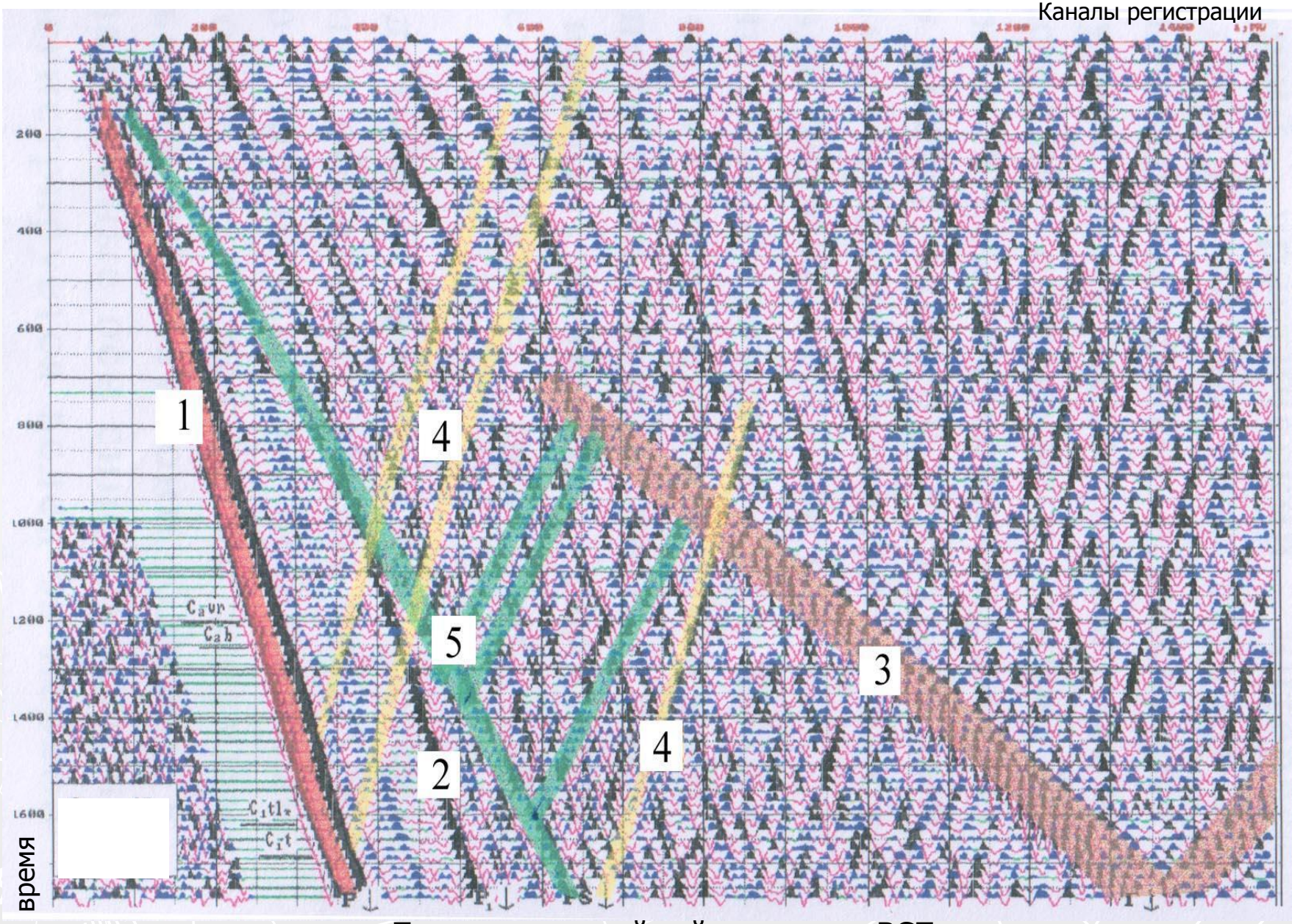
Используют также сейсмокаротаж (СК) – наблюдения прямых (проходящих) волн в скважинах и вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) – изучение прямых, отраженных, и др. волны в скважинах





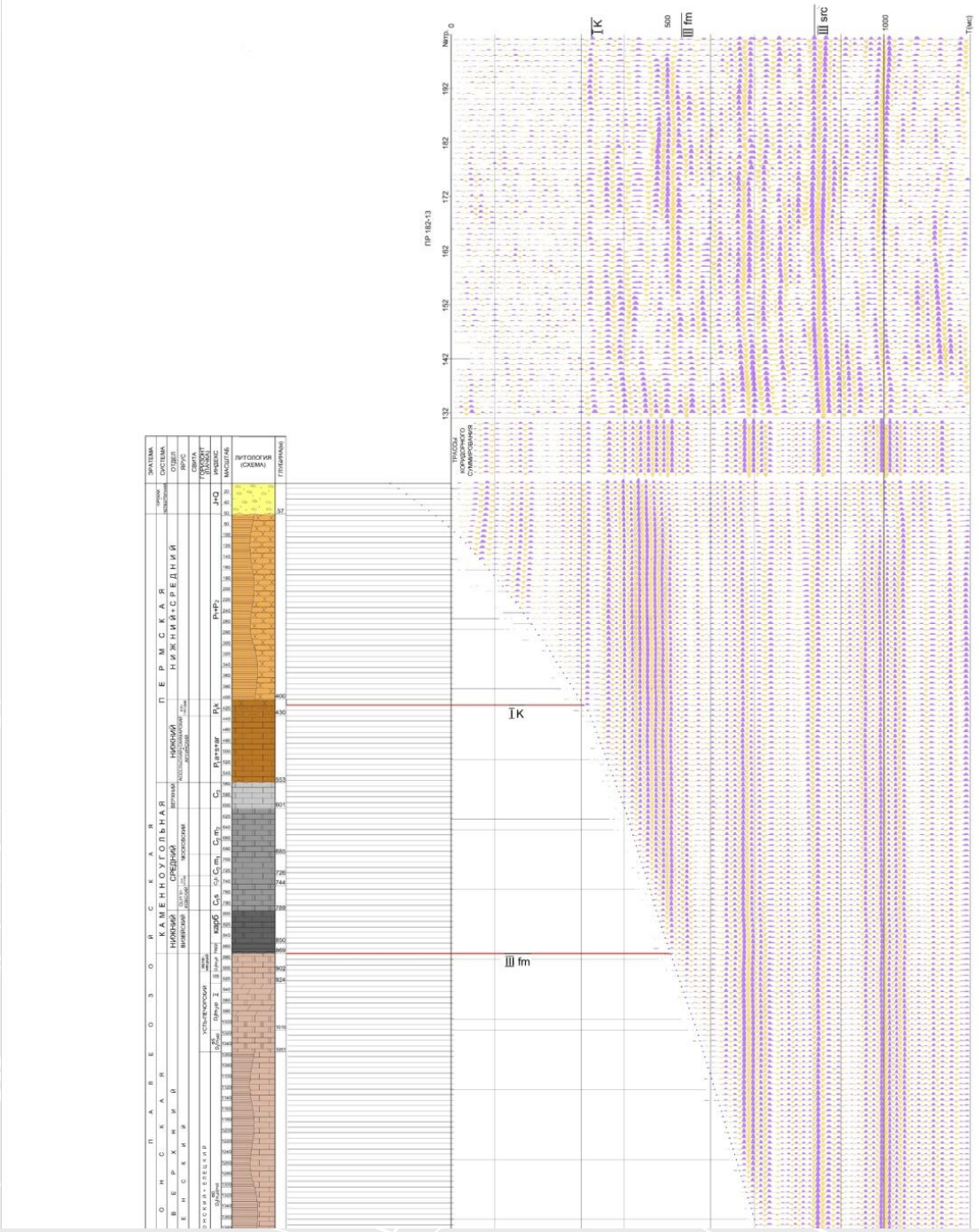


Пример типичной сейсмограммы СК



Пример типичной сейсмограммы ВСП

1 – прямая (проходящая) продольная волна, 2 – прямая (проходящая) поперечная волна, 3 – трубная волна, 4 – отраженная продольная волна, 5 – отраженная поперечная волна



Поле отражённых волн ВСП после выведения осей синфазности на вертикаль

Классификации методов сейсморазведки

Существует множество классификаций методов сейсморазведки по различным признакам и категориям. Рассмотрим некоторые из них.

1. По классу целевых (изучаемых) волн выделяют:

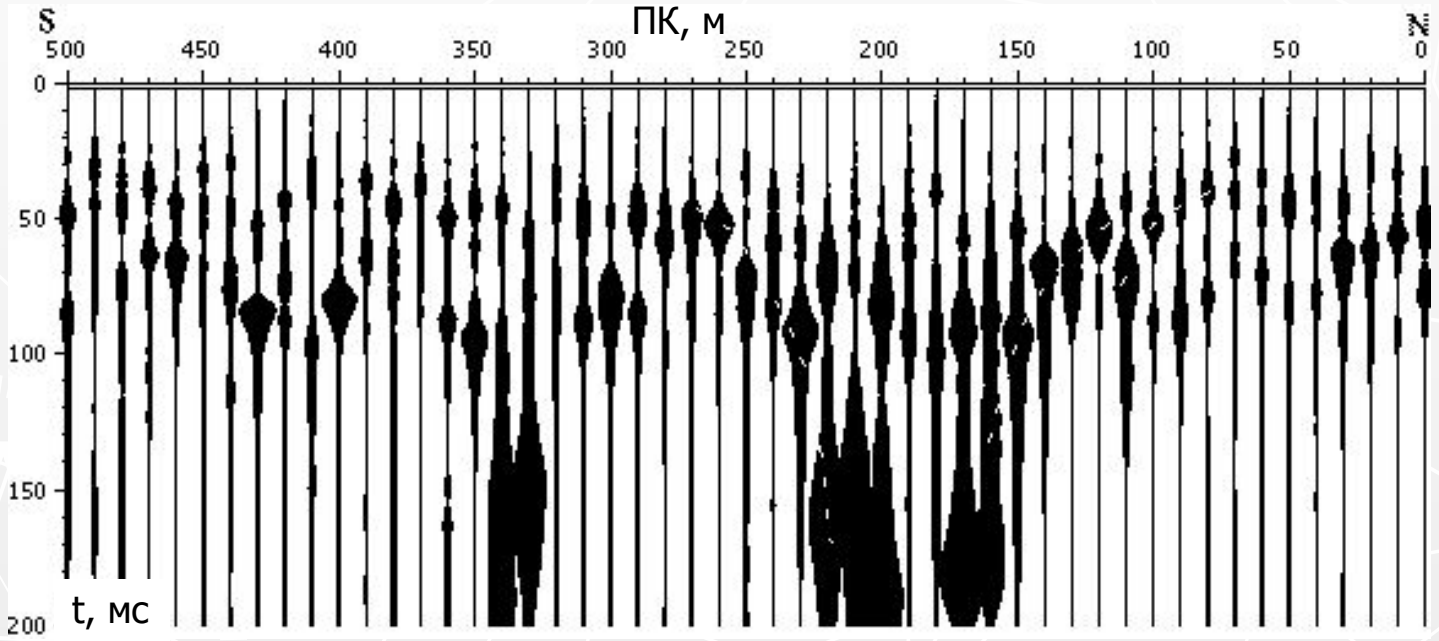
- Метод отраженных волн МОВ,
- Метод преломленных волн МПВ,
- Сейсмический каротаж СК
- Вертикальное сейсмическое профилирование ВСП

2. По типу целевых волн различают методы:

- продольных волн
- поперечных волн
- обменных волн

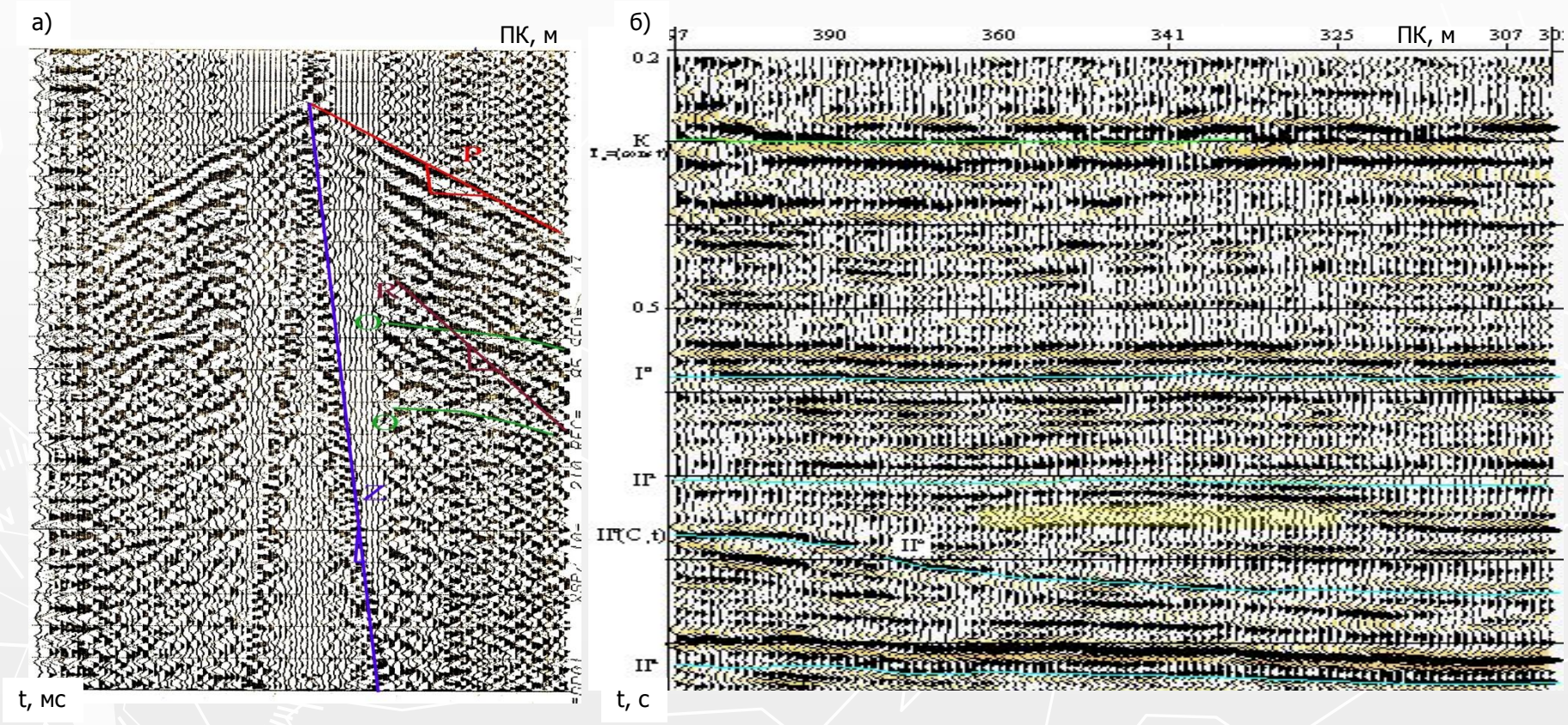
3. По мерности наблюдений изучения среды выделяется:

- Одномерная сейсморазведка 1D – вдоль ствола скважины или поверхности земли с регистрацией только времени прихода волн (t),



Пример записи данных одномерной сейсморазведки

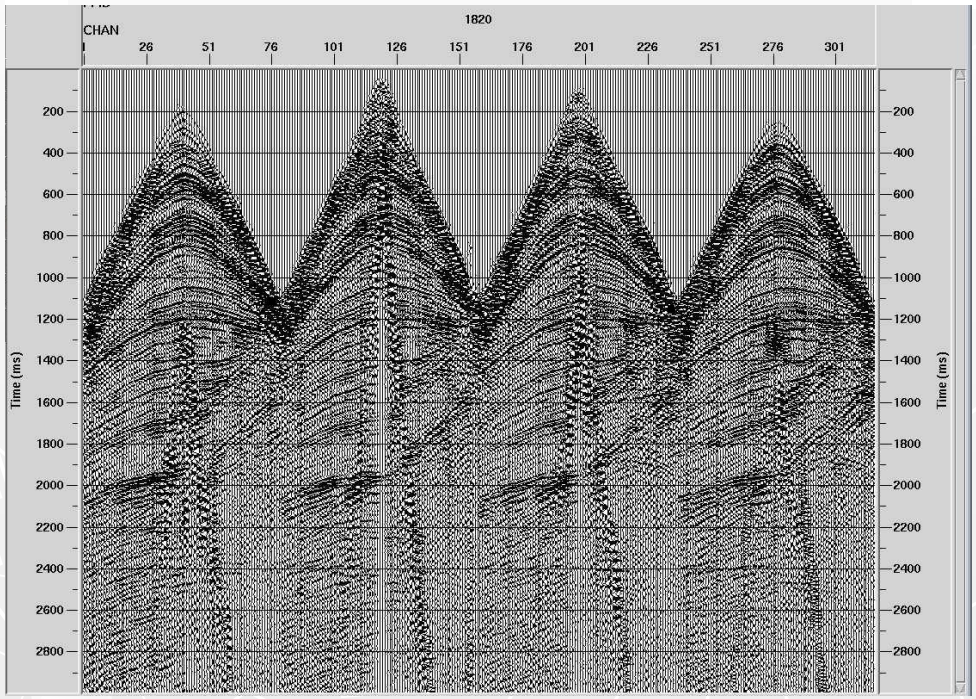
- Двухмерная сейсморазведка 2D – при расположении источников и приемников на линейном профиле (x, t),



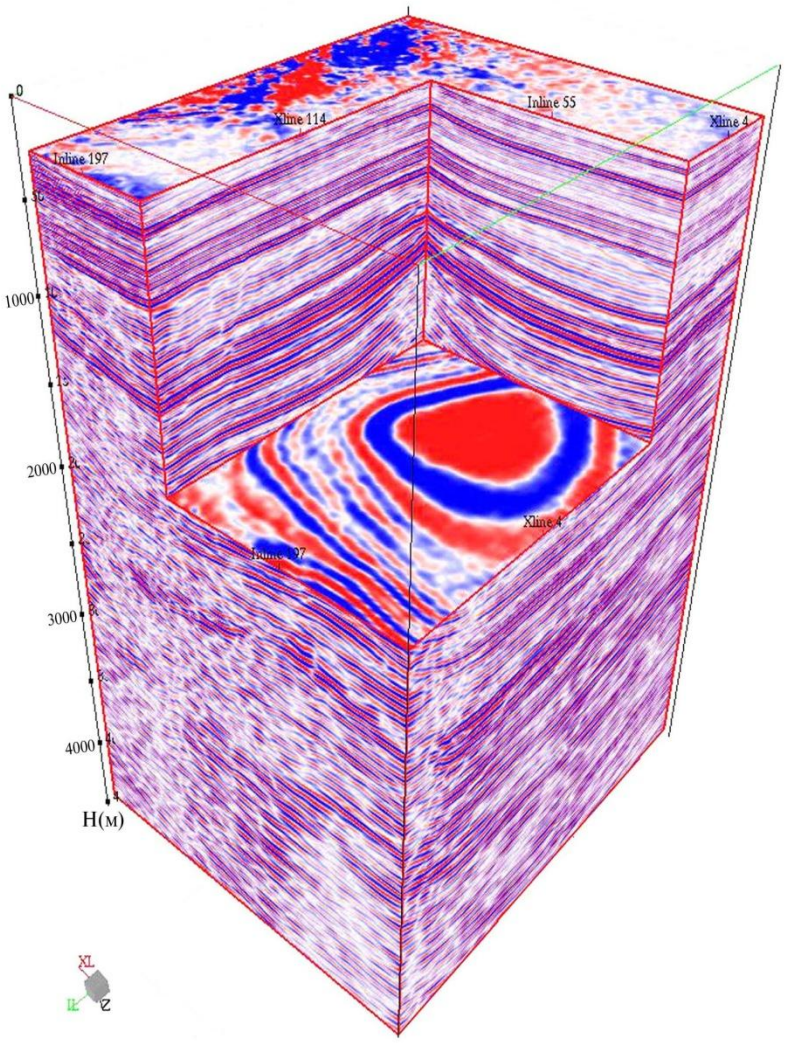
Пример полевых сейсмограмм (а) и результат интерпретации данных (б) двумерной сейсморазведки

- Трехмерная сейсморазведка 3D – при расположении источников и приемников на различных профилях (x, y, t),

а)



б)



Пример полевых сейсмограмм (а) и результат интерпретации данных (б) двумерной сейсморазведки

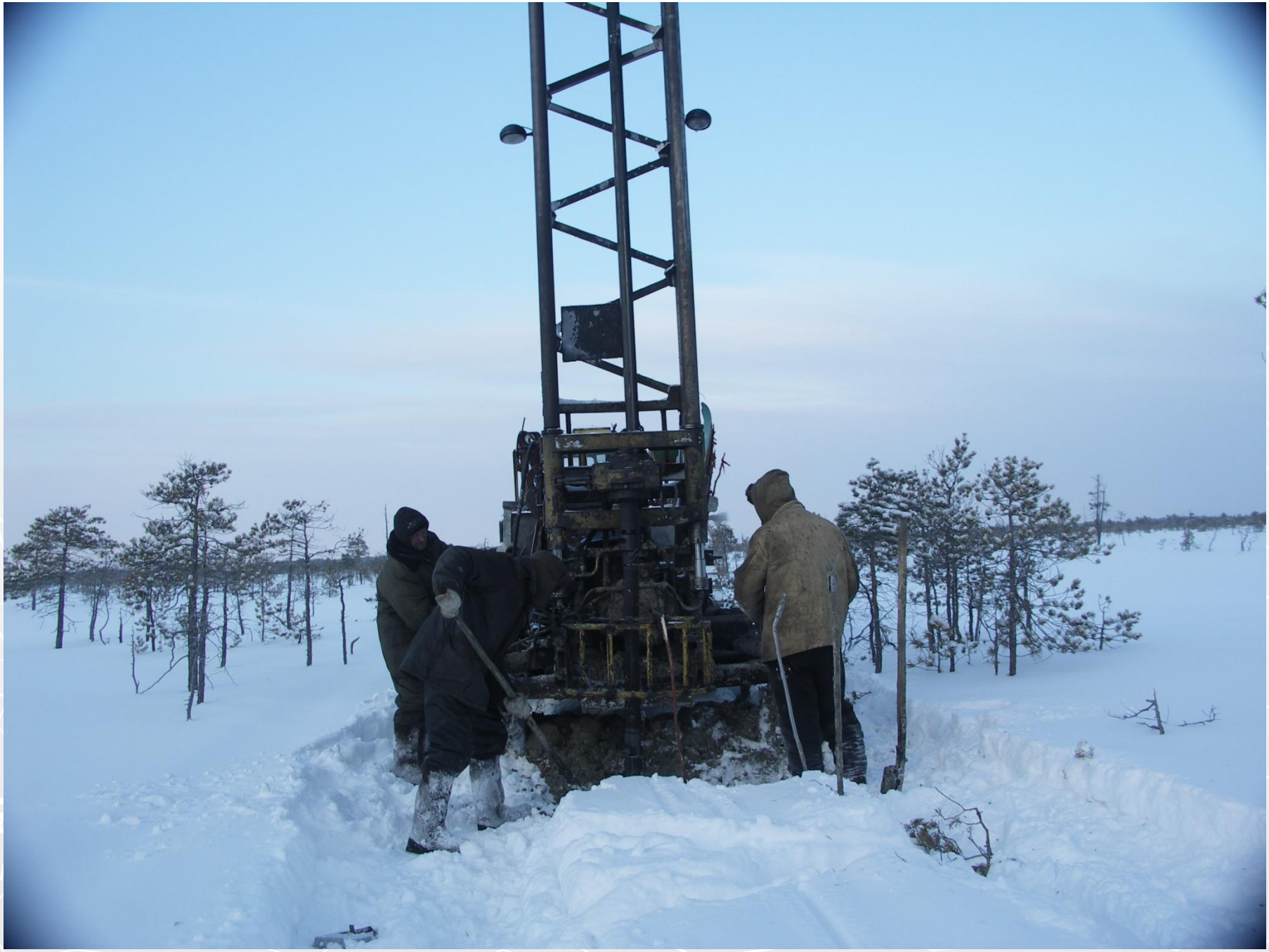
- Четырехмерная сейсморазведка 4D (мониторинг) – периодические наблюдения во времени при расположении источников и приемников на различных профилях (x, y, t, t),

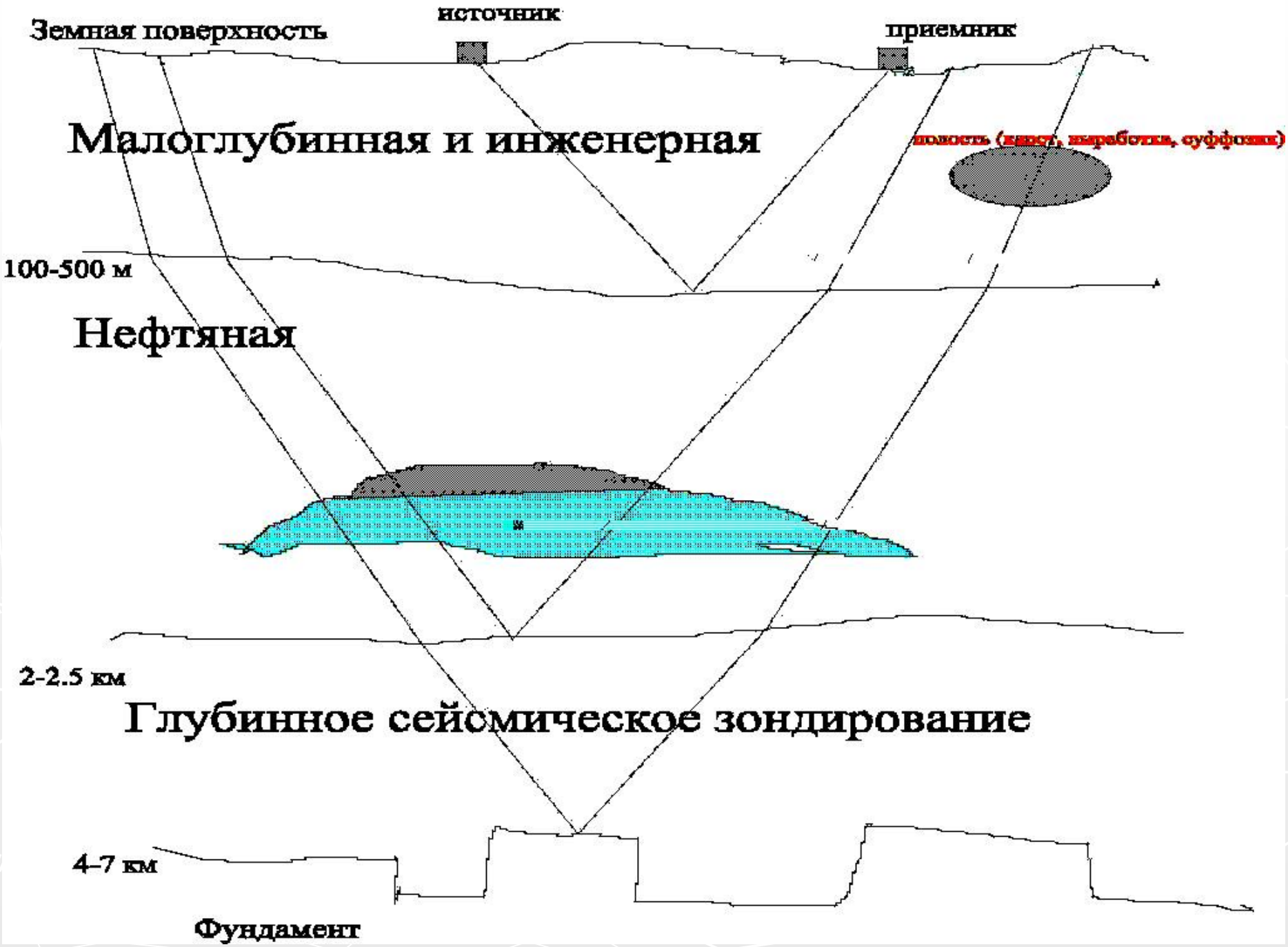
В настоящее время часто используются различные дополнительные модификации классификации по мерности наблюдений изучения среды:

3C – дополнительное измерение угла прихода волн и азимута в точку приема

9C - дополнительное измерение угла прихода волн и азимута в точке приема и точке возбуждения.

Поэтому в литературе часто встречаются такие символьные обозначения, как 3D/3C (сейсморазведка 3D в модификации 3C), 3D/9C, 4D/3C, 4D/9C (8D).



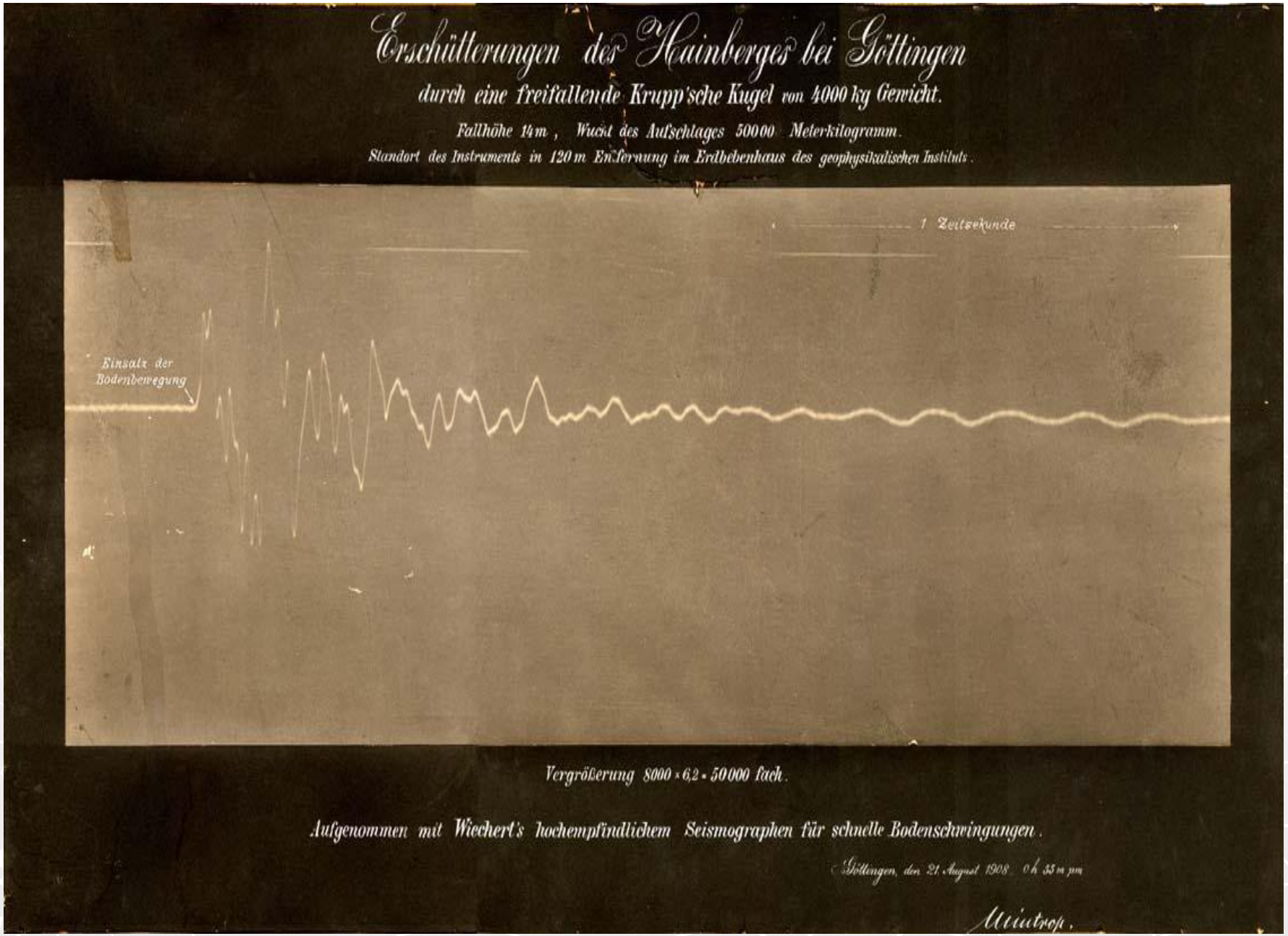

Земная поверхность
источник
приемник
Малоглубинная и инженерная
полость (карст, выработка, суффозия)
100-500 м
Нефтяная
2-2.5 км
Глубинное сейсмическое зондирование
4–7 км
Фундамент

6. Изучаемые свойства объекта:
- структурная СР,
-литосейсмика (вещественный состав и литология),
-прямые поиски (коллекторские свойства пород),
-палеоструктурная сейсморазведка,
-сейсмостратиграфия (характер процесса осадконакопления)

7. Детальность исследований:
- региональная СР
- поисковая СР,
- разведочная СР,
- эксплуатационная СР,

8. Частотный диапазон колебаний:
- Менее 20 Гц – низкочастотная СР,
- 10-100 Гц - среднечастотная СР,
- 100-1000 Гц – высокочастотная СР,
- 1-20 КГц – акустические исследования,
- Более 20 КГц – ультразвуковые исследования

История



при падении на землю железного шара массой 4 т

С 1920 - **практический этап** применения сейсморазведки - начало «золотых годов геофизики» .

1921 г.- первая в мире геофизическая разведочная компания - "Сейсмос, Гамбург".

В течение нескольких лет "Сейсмос, Гамбург" - самая крупная компания, успешно работавшая в США и открывшая множество соляных куполов.

Основной объем сейсморазведочных исследований выполнялся методом преломленных волн с использованием взрывчатых материалов

1929 г – СССР, П.М. Никифоров - первое применение МПВ (окрестности города Грозный)

Тогда же были обнаружены залежи нефти в Верхне-Чусовских городках, что положило начало нефтепоисковым геофизическим работам в регионе.

1922-23 гг - Ивенс и Уитни получают британский патент на метод отраженных волн, а В.С. Воюцкий - в СССР

1934 г. - Г.А.Гамбурцев и Л.А.Рябинкин, первые записи МОВ в СССР (оз. Байкал). В этом же году записи отраженных волн были получены в других районах СССР.

1935 г - начало промышленного применения МОВ при поисках месторождений нефти и газа.

Применяемые методики развивались в последующие годы довольно медленно, пока в 1950-х годах не была изобретена запись на магнитную ленту.

60-е годы – **новый этап** развития сейсморазведки:

-переход на работу по методу общей глубинной точки

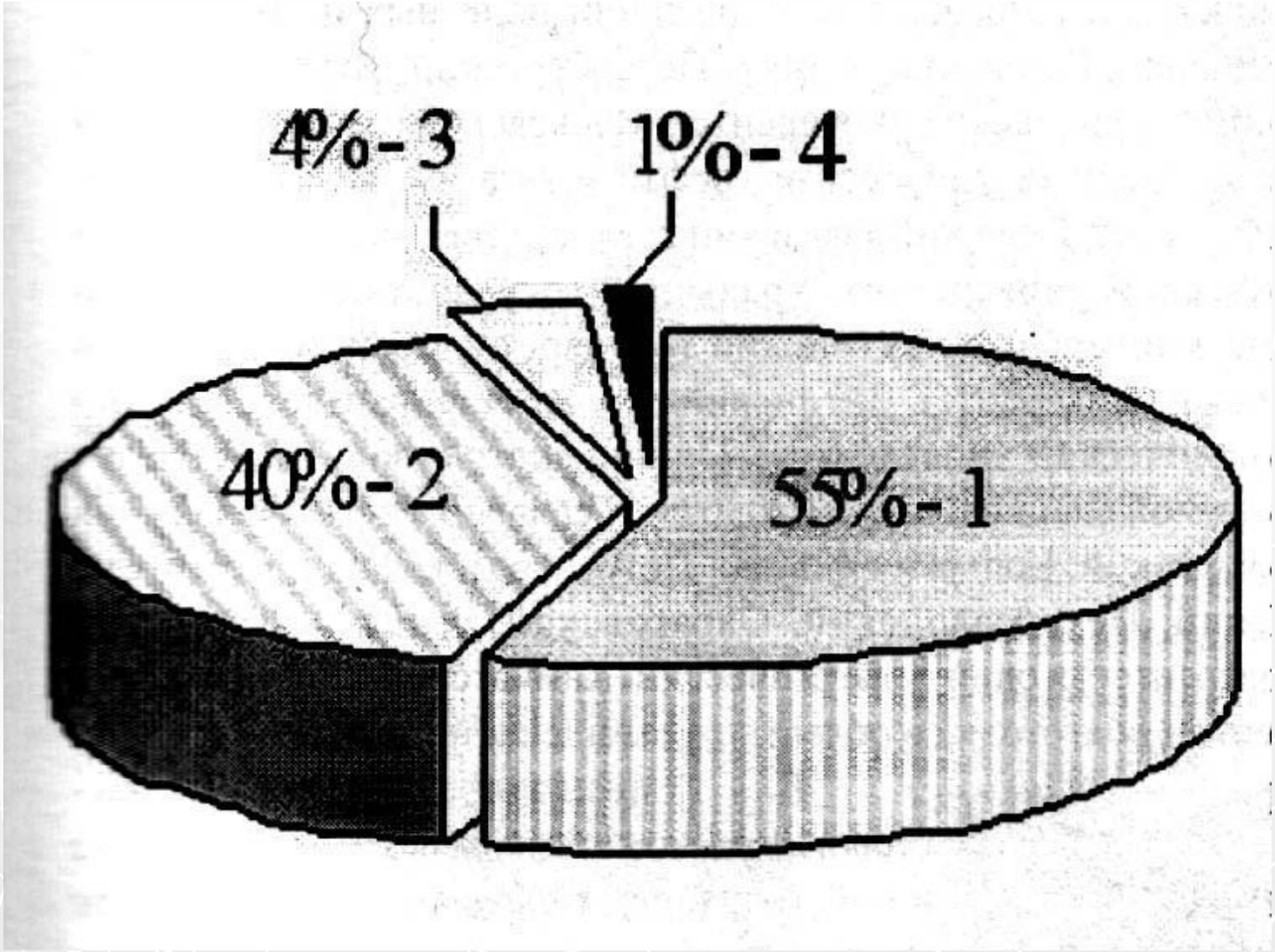
-переход на цифровую запись информации

-появление цифровой компьютерной обработки (открыто нефтяное мест-е под Парижем)

Полный переход на цифровую регистрацию полевой информации в СССР осуществлен в 1982-1983 годах.

С этого момента начинается еще один этап в развитии сейсморазведки и она становится наиболее технически оснащенным геофизическим методом.

Сейсмические достижения последних лет:
-наблюдения высокой кратности,
-увеличение канальности, технологичности работ и связанное с ними уменьшение стоимости
-использование пространственных трехмерных систем наблюдений,
-массовой переход на применение многоканальных телеметрических систем сбора информации,
-внедрение невзрывных источников возбуждения сейсмических волн;
-внедрение систем компьютерного проектирования, автоматизация системы координатной привязки и геометризации данных;
-совершенствование технологии обработки и интерпретации результатов полевых работ; и т.п.



Ресурсы запасов нефти и газа: 1 – Восточная Сибирь, 2 – Западная Сибирь, 3 – Волго-Урал, 4 – Европейский Север

Типы реальных сред

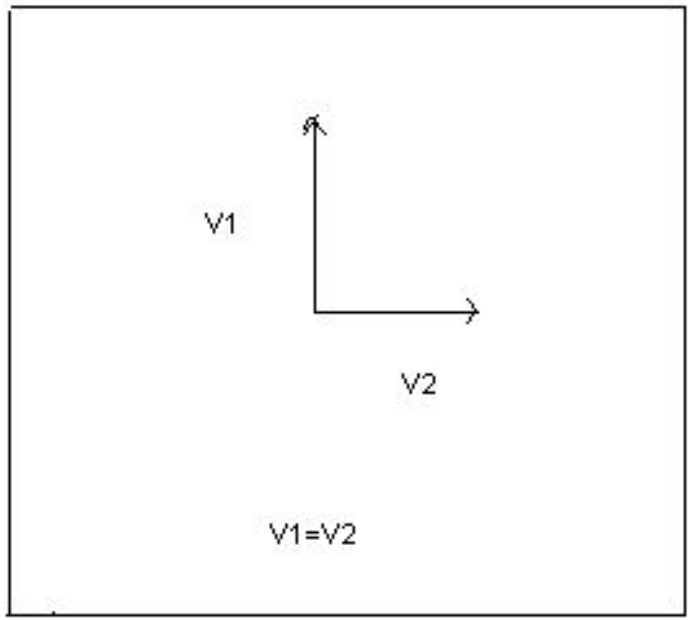
Упругие волны распространяются в реальных условиях. Пространственное распределение скоростей в реальных средах определяется рядом факторов, главные из которых — слоистость и горное давление.

Кроме этого, на численные величины скоростей влияют и другие факторы, связанные, например, с неравномерным распределением физических свойств и геологических характеристик пород по горизонтали и вертикали, с невыдержанностью литологических границ, разной степенью обводненности или нефтенасыщенности пород и др.

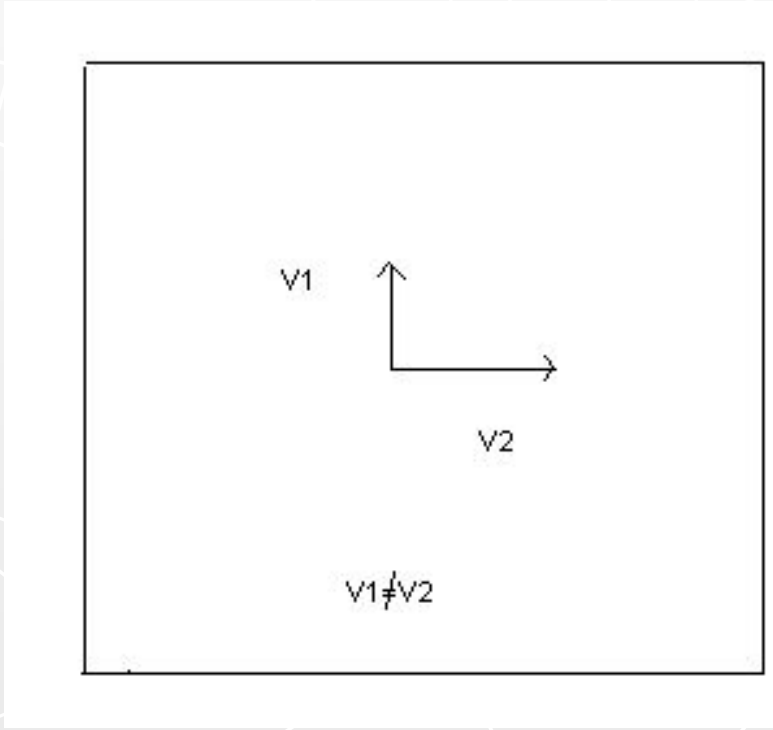
В результате распределение скоростей в общем случае представляет собой очень сложную функцию.
Для ее описания используют **аппроксимационные** функции.

В первом приближении сейсмические среды подразделяются на изотропные и анизотропные.

В **изотропной среде** упругие (и другие) свойства среды одинаковы по всем направлениям распространения упругих волн.

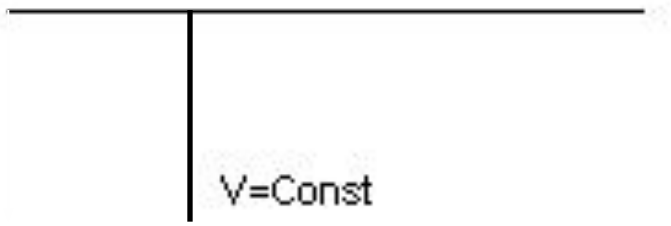


В **анизотропной среде** упругие свойства среды различны по различным направлениям распространения упругих волн.



Оба класса сред в свою очередь могут быть однородными, либо неоднородными.

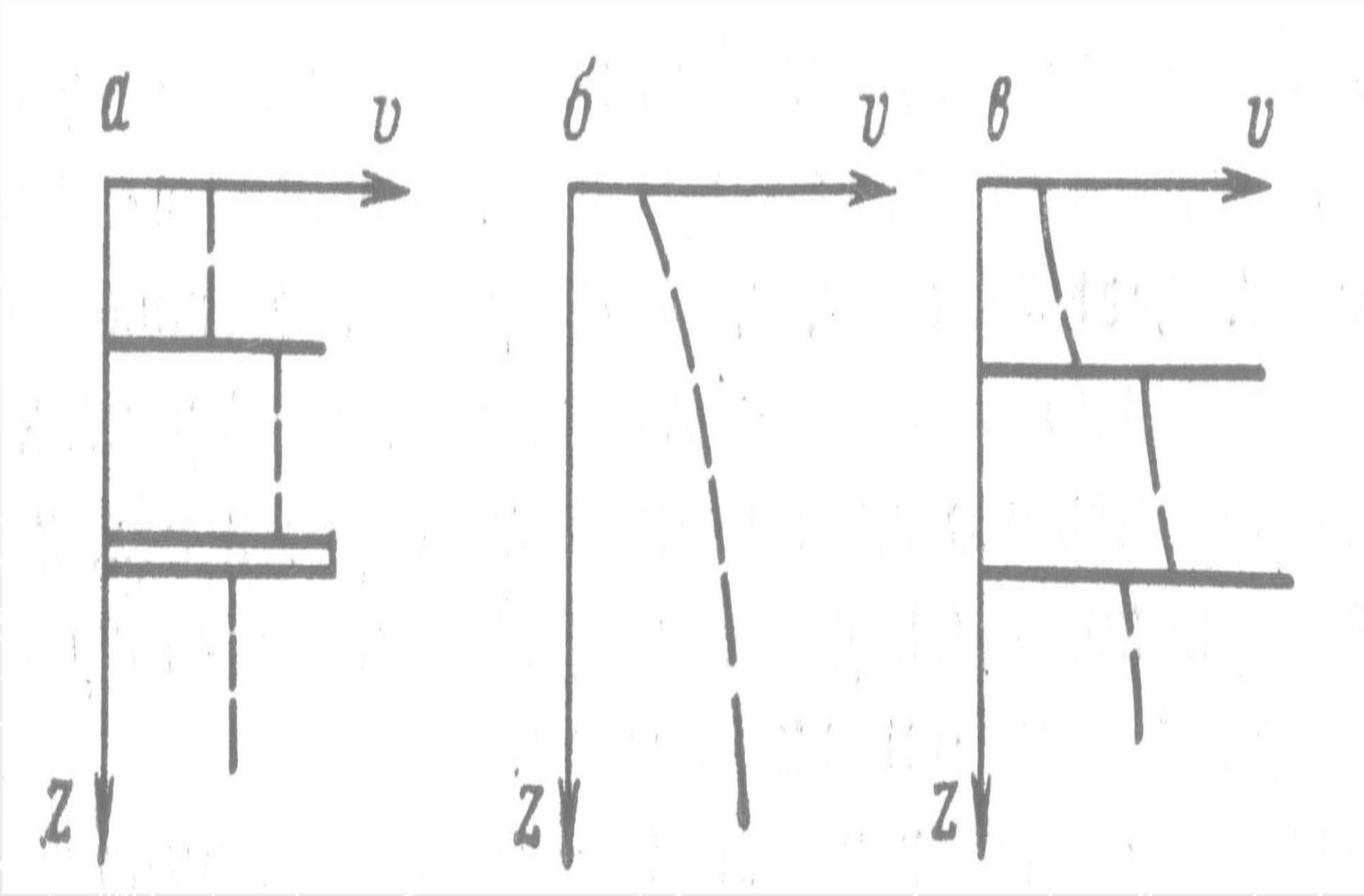
В **однородных средах** упругие свойства одинаковы во всех точках рассматриваемой части горных пород.



В **неоднородных средах** упругие свойства могут меняться от точки к точке. Реальные геологические среды, слагаемые породами разного состава, с различными упругими свойствами неоднородны.

Неоднородные среды подразделяются на три основных типа:

- слоисто-однородные,
- непрерывные (градиентные),
- и слоисто-непрерывные (слоисто-градиентные).



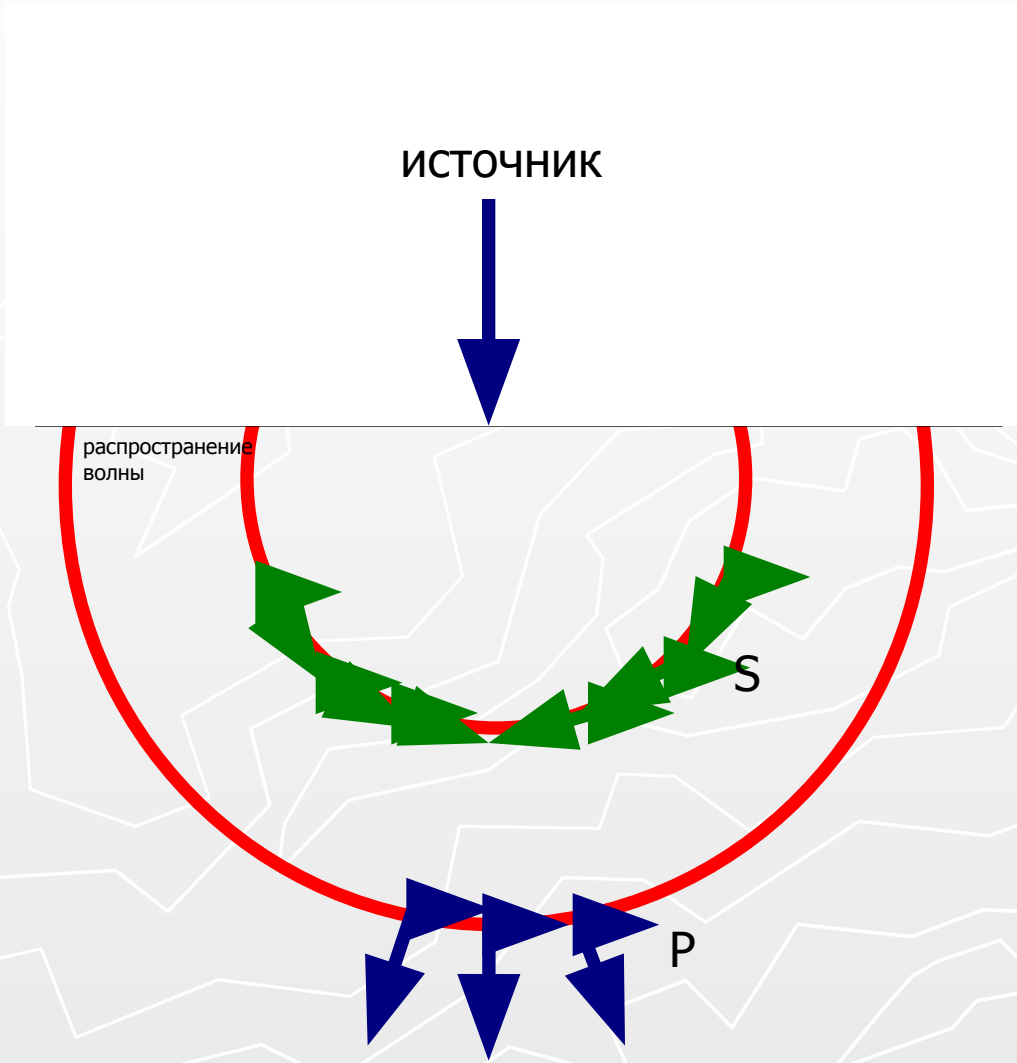
Примеры слоисто-однородной (а), градиентной (б) и слоисто-градиентной (в) сред

Общие сведения о распространении упругих волн

Типы волн различаются характером смещения точек среды в момент прохождения сейсмических волн.

Для продольных направление движения частиц среды совпадает с направлением распространения волны.

Для поперечных волн направление движения частиц среды перпендикулярно направлению распространения волны.



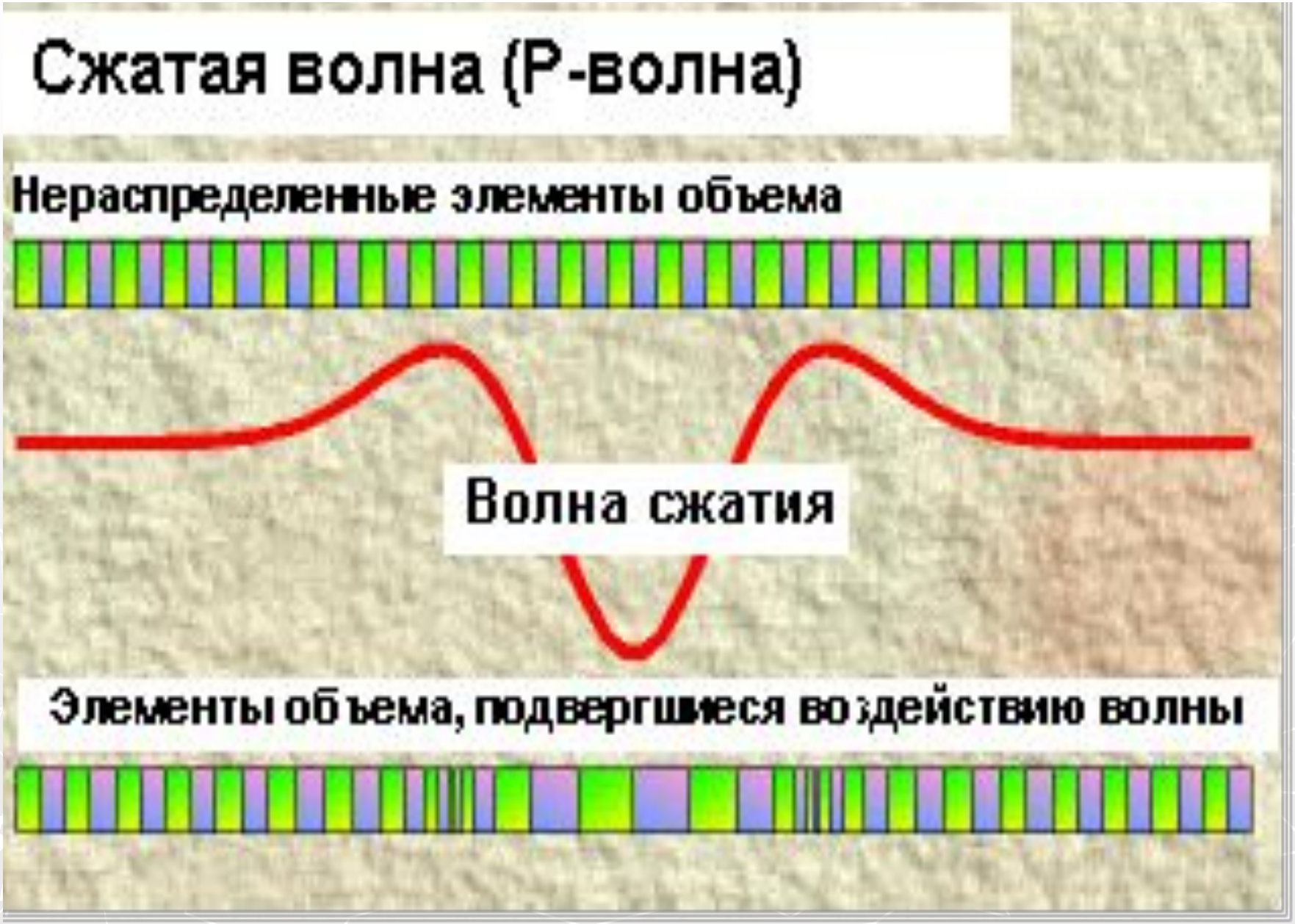
Особенностью продольной волны является изменения элементарных объемов вещества, которое создается при ее распространении, происходит сжатие или растяжение объема, поэтому волну называют **волной дилатации или волной растяжения**.

Уравнение распространения продольной волны:

$$\Delta \overline{Up} = \frac{\rho}{\lambda + 2\mu} \frac{d^2 Up}{dt^2} = \frac{1}{Vp^2} \frac{d^2 Up}{dt^2},$$

где $\mathbf{Vp^2 = (\lambda+2\mu)/\rho}$ – скорость распространения продольной dолны, ρ - плотность, λ и μ - модули упругости, U - составляющая смещения частиц среды по отношению к положению равновесия.

Сжатая волна (P-волна)



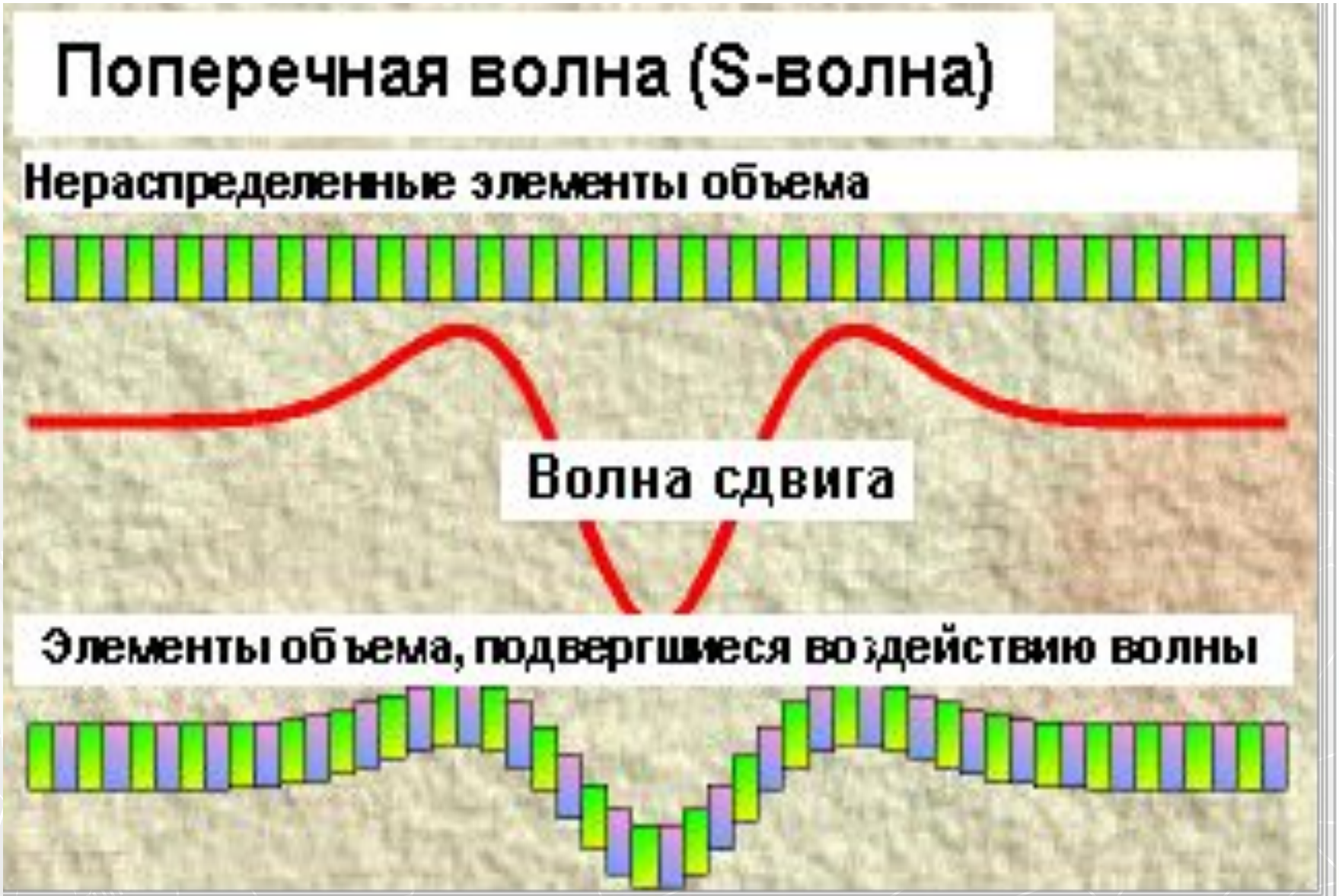
Особенностью поперечной волны являются малые повороты элементарных объемов, ее называют **волной сдвига**.

Уравнение распространения поперечной волны:

$$\Delta \overline{Us} = \frac{\rho}{\mu} \frac{d^2 Us}{dt^2} = \frac{1}{Vs^2} \frac{d^2 Us}{dt^2},$$

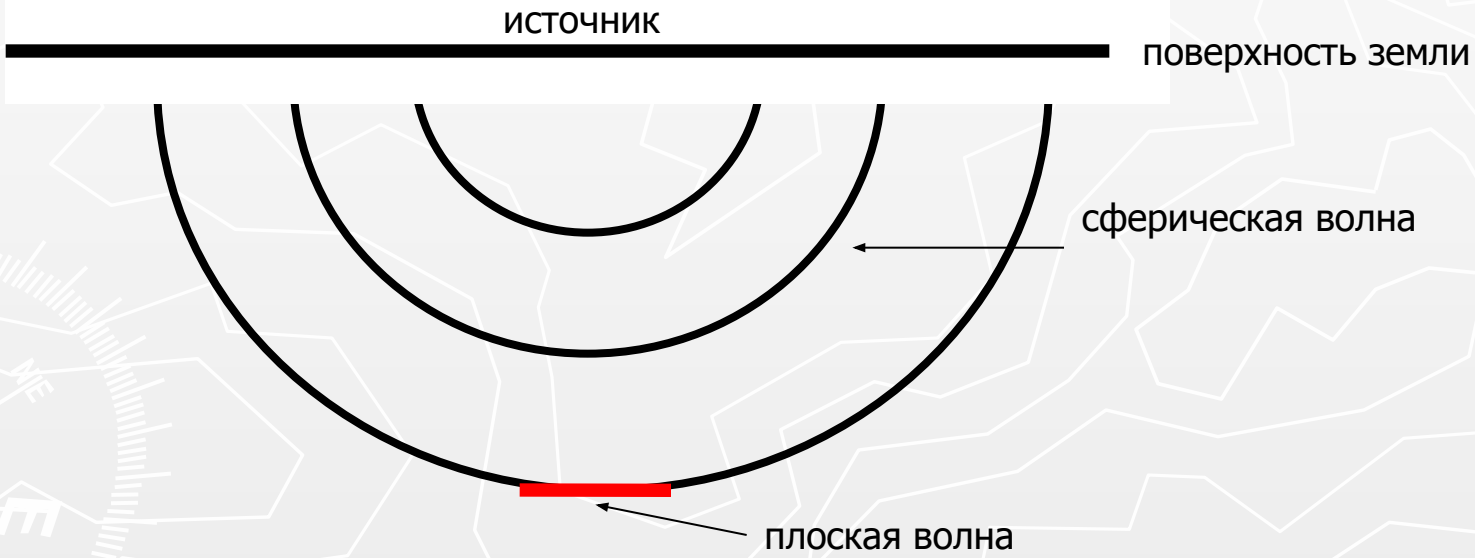
где $\mathbf{Vs^2 = \mu/\rho}$ – скорость распространения поперечной волны.

Поперечная волна (S-волна)



При возбуждении упругих колебаний в среде распространяются возмущения, затрагивающие определенный объем горных пород - **объемные волны**.

На удалениях, близких к источнику, такие волны имеют сферическую форму, а на очень больших расстояниях – принимают вид плоскости. Т.о. различают **сферические и плоские** волны.



Рассмотрим характер распространения сферической продольной волны в среде.

Пусть функция f(t), описывающая действие источника, отличается от нуля в течение ограниченного времени ∂t, которое назовем **временем действия источника**.

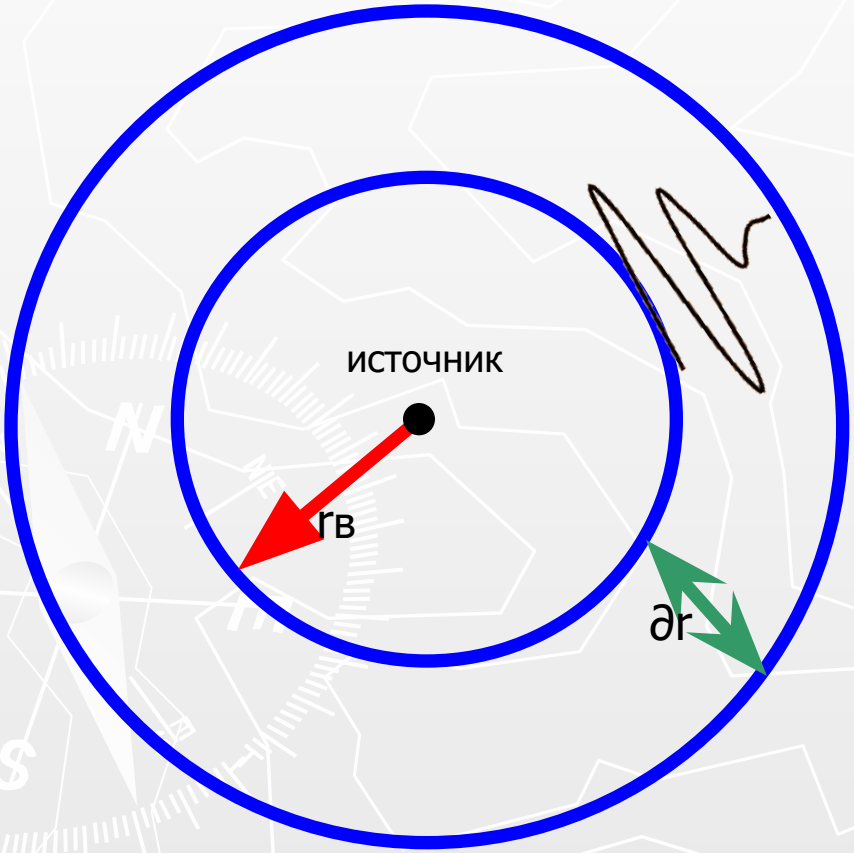
Рассмотрим распределение смещений в момент времени t >> ∂t.

Возмущение среды будет наблюдаться только в тех точках, где функция f(t) отличается от нуля, т. е. в пределах некоторого сферического слоя r:

$$Vp\ t \geq r \geq Vp\ (t-\partial t)$$

С увеличением времени t область существования возмущения перемещается.

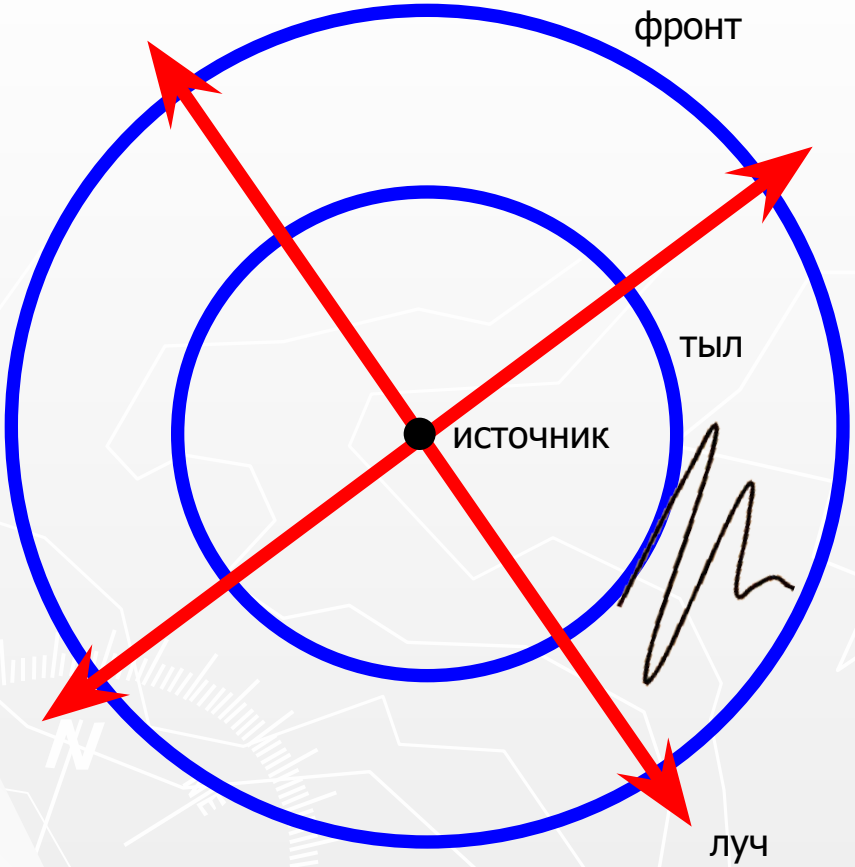
При этом все пространство, окружающее источник в каждый момент времени t>∂t, разделяется на три области:



1. внутреннюю область радиусом rв, в которой возмущения, вызванные источником, уже прекратились;

2. сферический слой толщиной ∂r = Vp ∂t в котором в рассматриваемый момент времени существуют возмущения;

3. наружную область, которую возмущения еще не достигли.



Поверхность, ограничивающая снаружи (относительно источника) слой, в котором существуют возмущения, называется **передним фронтом (фронтом) волны.**

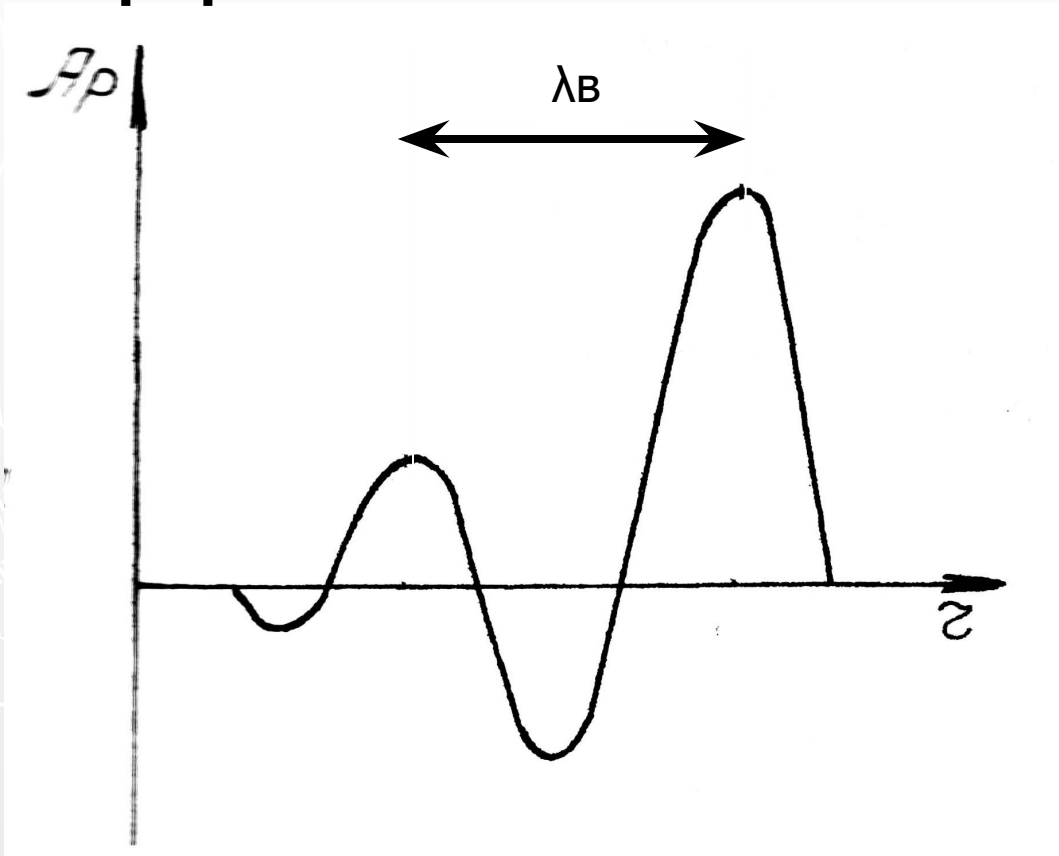
Поверхность, ограничивающая изнутри слой, в котором существуют возмущения, называется **задним фронтом (тылом) волны.**

Вблизи источника фронт упругих волн сферический, а вдалеке - практически плоский.

Линии, исходящие из источника и ортогональные волновым фронтам, называют **лучами**. Вдоль лучей переносится энергия упругой волны

Рассмотрим смещения вдоль одного из лучей, исходящих из источника О, при постоянном значении времени.

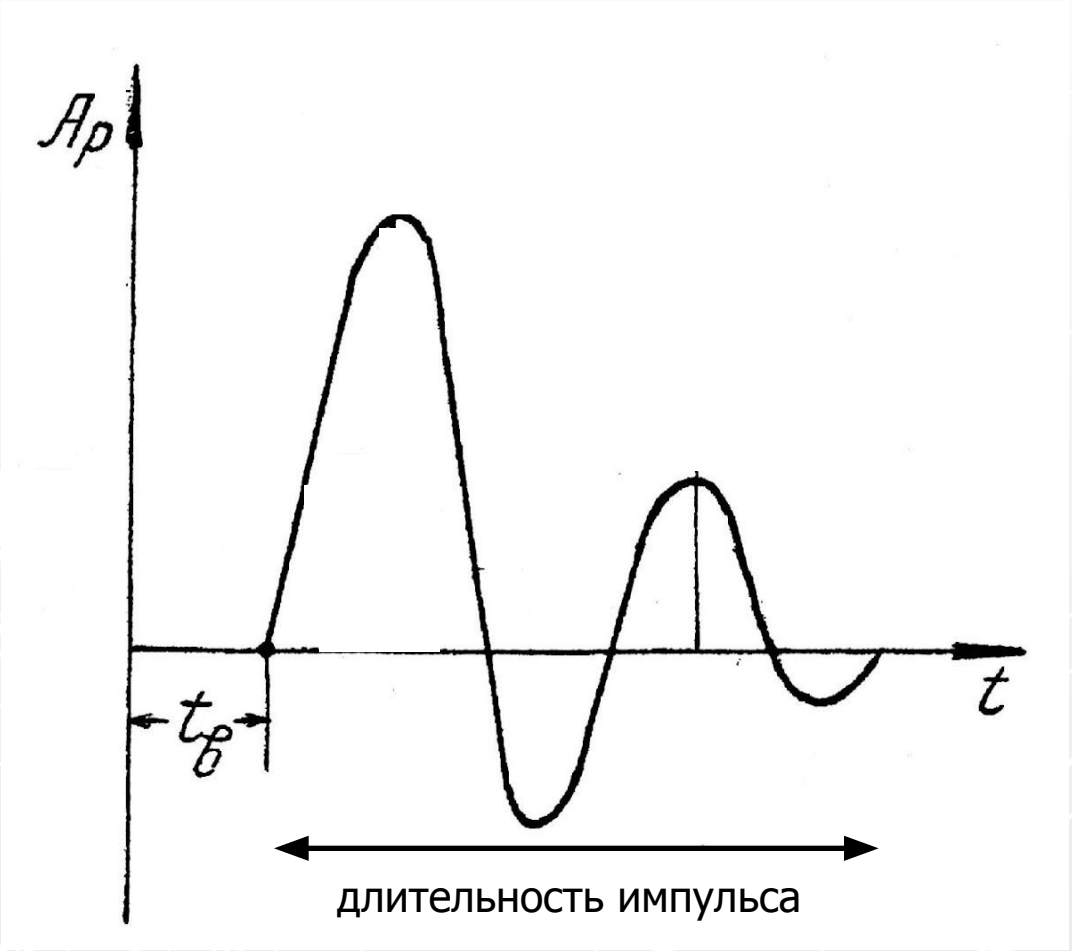
Если откладывать по оси абсцисс расстояния r, по оси ординат — смещения Ар частиц среды от их положения равновесия, то это **профиль волны**.



Точка, в которой в данный момент наблюдается наибольшее положительное (при выбранном направлении отсчета) смещение, называется **горбом волны**,
а точка, в которой наблюдается наибольшее отрицательное смещение, — **впадиной волны**.

Расстояние λв между двумя соседними горбами или впадинами называется **видимой (преобладающей) длиной волны**.

Если по оси абсцисс отложить время t, по оси ординат — смещение частиц среды Ар, то это **график колебаний.**

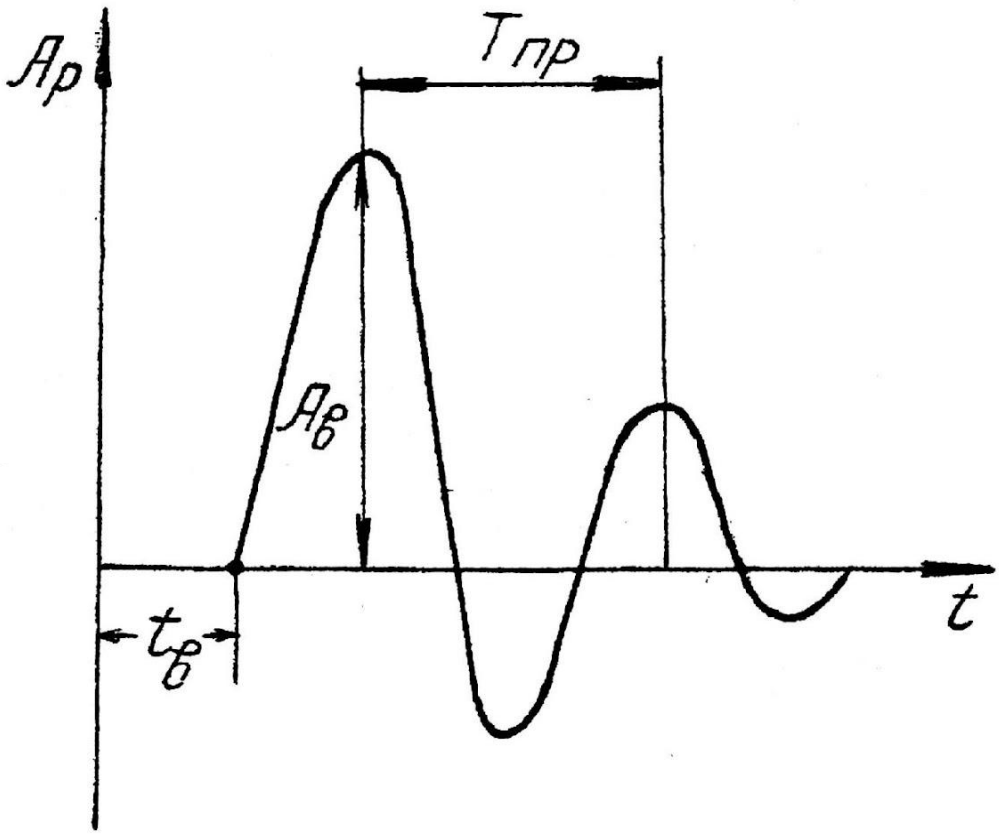


Время, когда к частице среды подходит фронт волны и она начинает колебаться - **время вступления волны** в данной точке.

Время прохождения через точку фронта и тыла волны – **длительность импульса**.

Наибольшее отклонение частицы среды от положения равновесия называют **видимой амплитудой колебаний Ав**.

Промежуток времени между двумя одноименными соседними экстремумами (максимумами или минимумами) смещений называют **видимым (преобладающим) периодом колебаний Тпр**.



Время Тпр между моментами прихода в произвольную точку среды соседних впадин (или горбов), разделенных в пространстве расстоянием λв, будет

$$Tпр = \frac{\lambda в}{Vp}.$$

Помимо видимого периода колебаний, в сейсморазведке также пользуются понятием **видимой (преобладающей) частоты (**число «волновых циклов в секунду»):

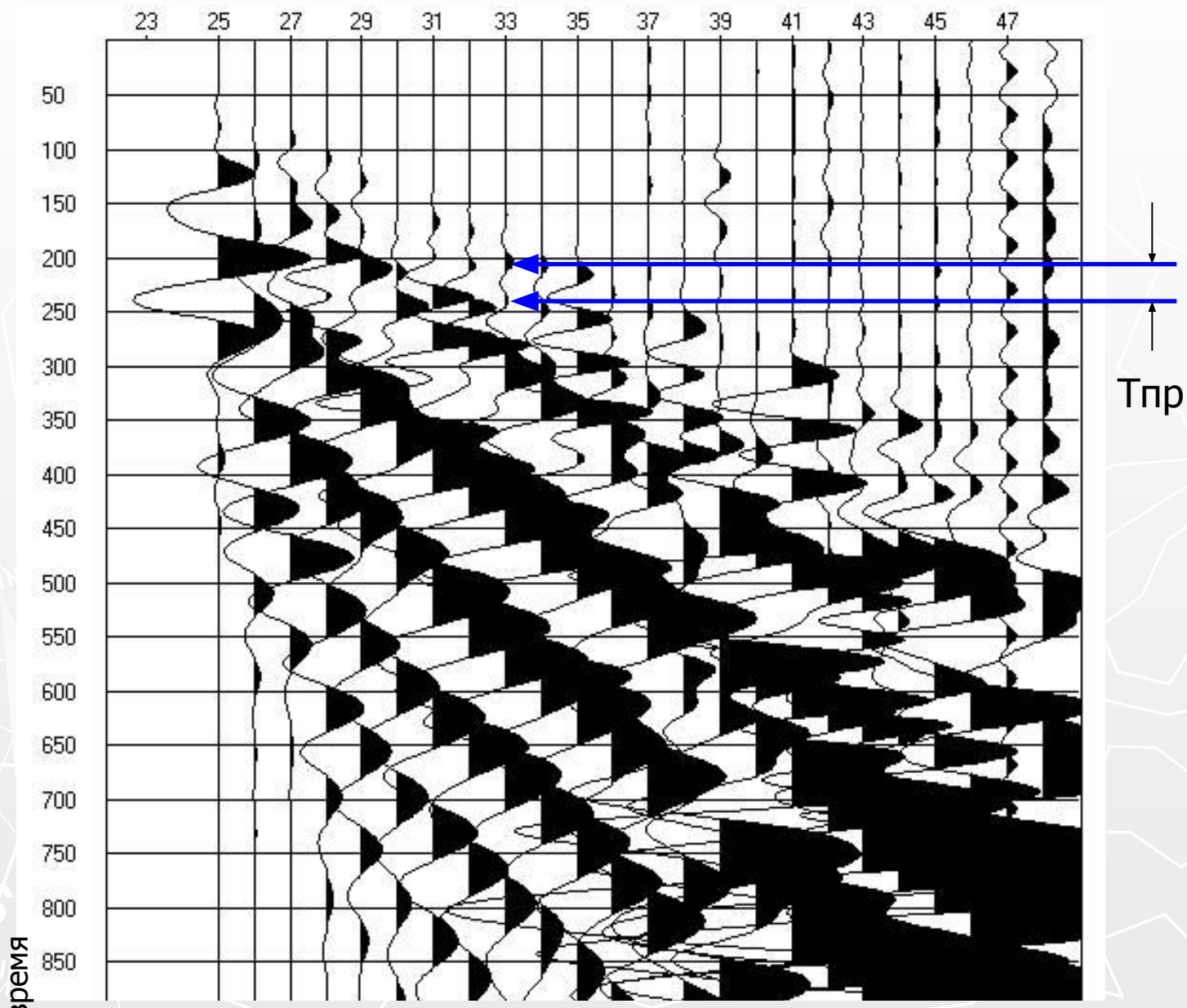
$$fnp = \frac{1}{Tnp}$$

и понятием **видимой (преобладающей) круговой частоты:**

$$\omega_{пр} = 2\pi f_{пр}$$

Кроме этого, часто используют понятие **волновое число** –

$$k = 2\pi/\lambda$$


Каналы регистрации
23
25
27
29
31
33
35
37
39
41
43
45
47
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
850
время
Тпр