

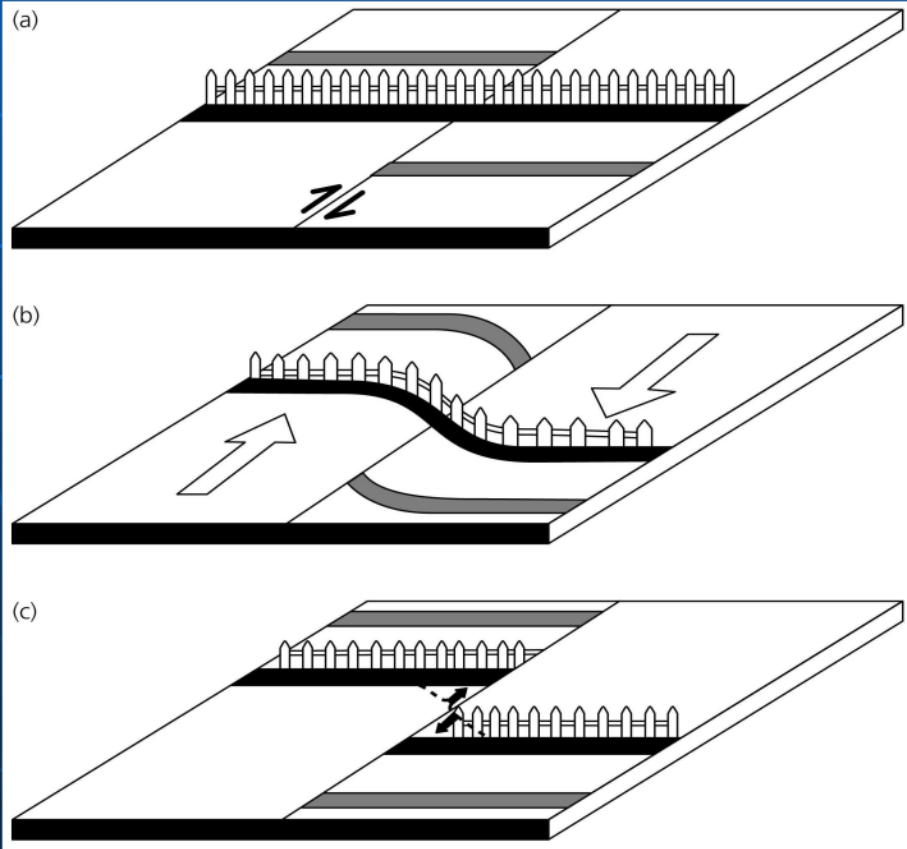
Магнитуда землетрясений.

Лекция 2
Воронина Е.В.



Теория упругой отдачи

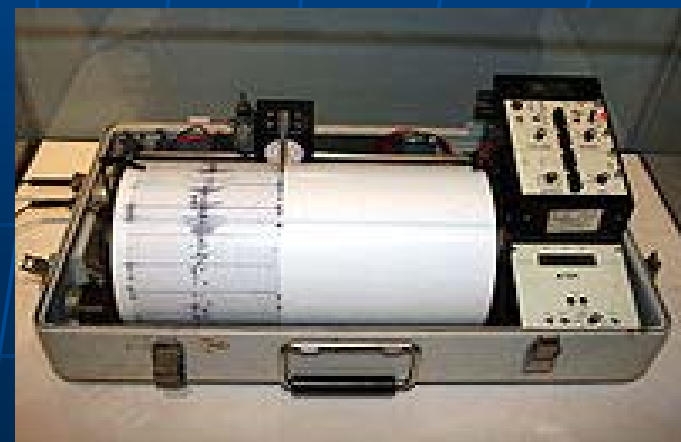
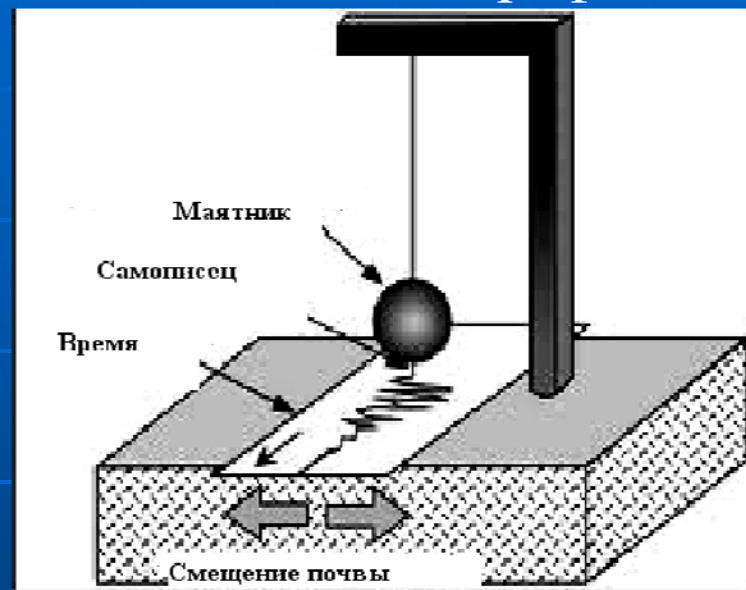
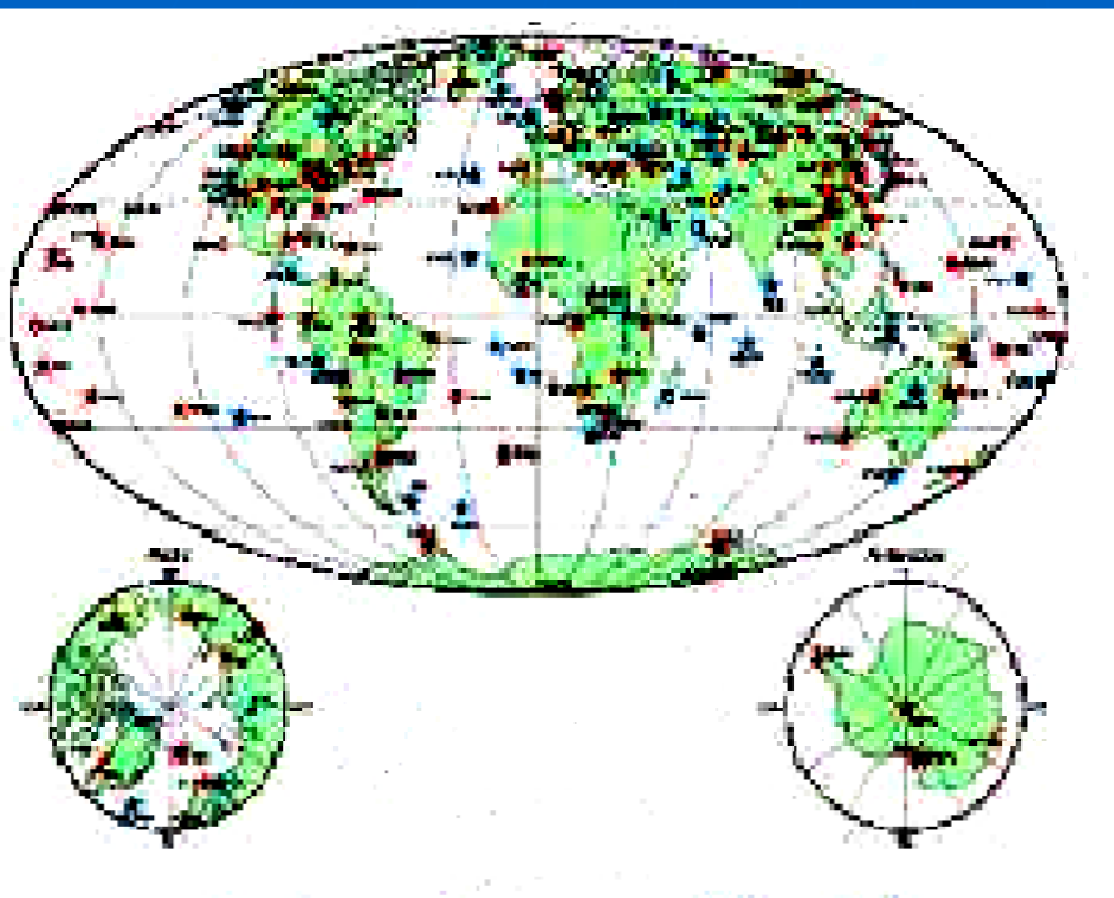
Г.Ф.Рейда, 1911г.



- Очаг землетрясения – **разрыв** сплошности среды.
- Разрыв возникает когда величина внешних **напряжений превосходит предел прочности горных пород**
- Разрыв сопровождается **сдвигом**
- Разрыв распространяется в среде со скоростью, **меньшей скорости S волн**
- Сложный очаг состоит из нескольких разрывов.

Регистрация землетрясений

Схема сейсмографа



Мировая сейсмическая сеть насчитывает около
2000 станций



Магнитуды землетрясения.

Магнитуда — характеризует энергию, выделившуюся при землетрясении в виде сейсмических волн.

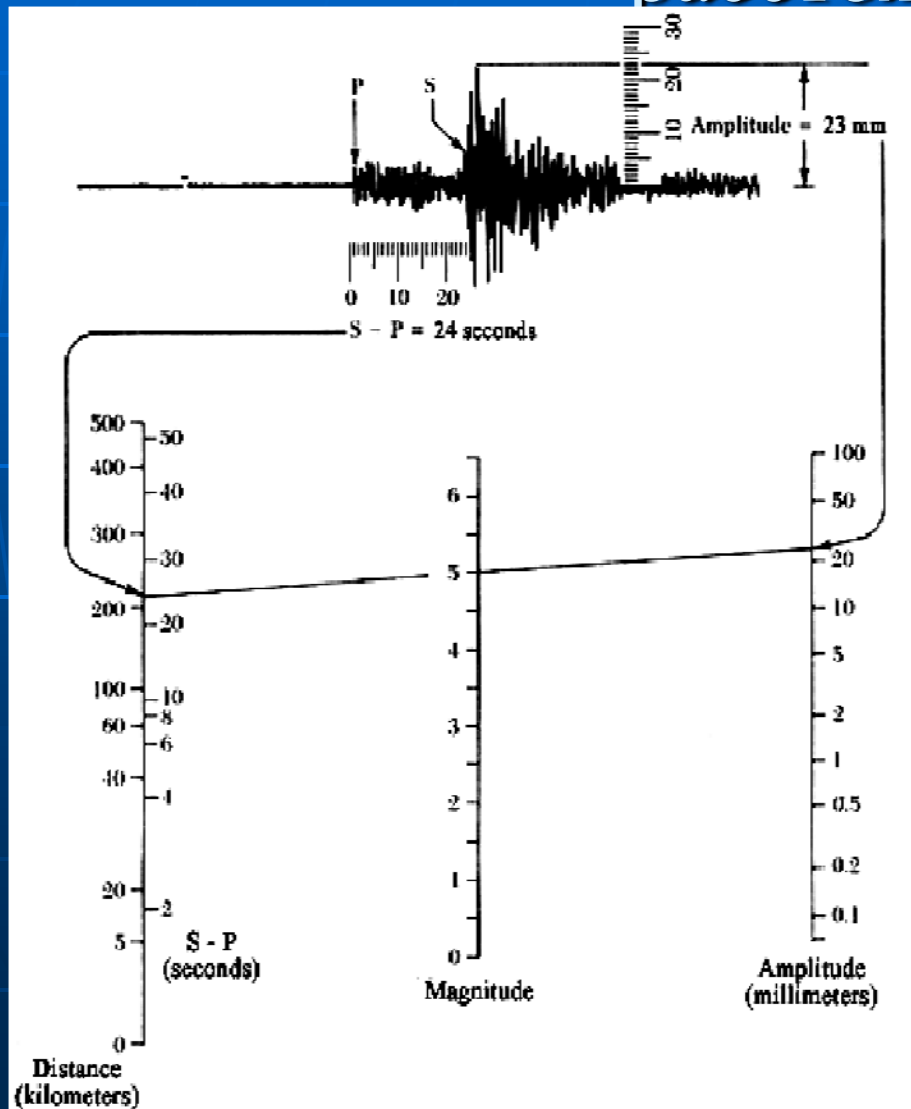
Магнитуда — инструментальная оценка землетрясения.

Первоначальная шкала магнитуды была предложена американским сейсмологом Чарльзом Рихтером в 1935 году

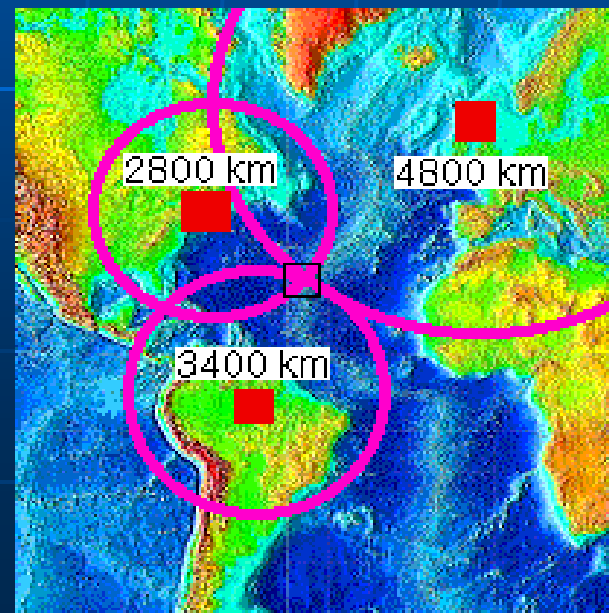
$$M_L = \lg A_{\max} - \lg A_0; \quad \Delta \leq 600 \text{ км}$$

За нулевую магнитуду принимается амплитуда смещения почвы, зарегистрированная сейсмометром Вуда-Андерсена с периодом 0,8 с., затуханием 0,8 и увеличением 2800, на эпицентральной расстоянии 100 км., равная 1 миллиметру.

Определение локальной магнитуды землетрясения и эпицентрального расстояния.



- Эпицентральное расстояние – расстояние от эпицентра до регистрирующей станции
- Разность моментов вступления P и S волн определяет эпицентральное расстояние
- Максимальная амплитуда волн определяет магнитуду землетрясения



Локальные магнитуды

Для Японии – **длительная** магнитуда (формула Ииды):

$$M_L = \lg A + 1,5 \lg(t_S - t_P) + 1,2;$$

$(t_S - t_P)$ - Разность моментов вступления Р и S волн

$$130 \text{ км} \leq \Delta \leq 250 \text{ км}$$

$$A = \sqrt{A_{NS}^2 + A_{EW}^2}$$

Ближняя зона – эпицентральная область, равная 2-3 линейным размерам очага.

Телесеismicческие расстояния – область вне ближней зоны.

Общая формула для определения магнитуды землетрясения.

$$M = \lg \left(\frac{A}{T} \right)_{\max} + f(\Delta, h) + C_R + C_S$$

A – амплитуда в микрометрах;

T – период волн в секундах;

Δ - эпицентральное расстояние;

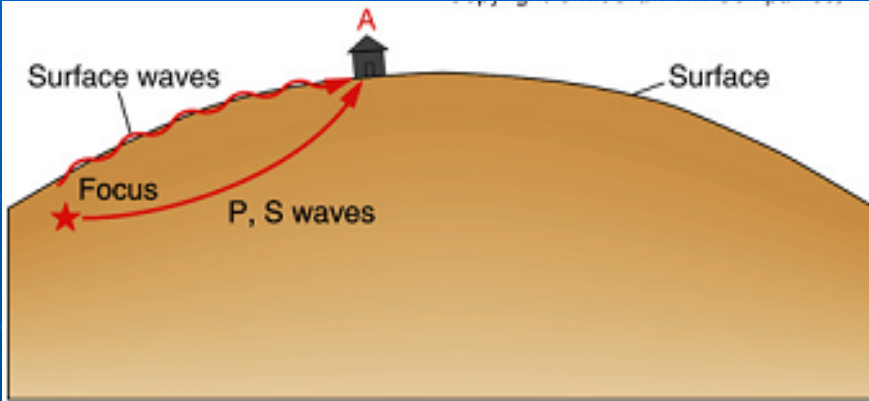
h – глубина землетрясения;

f, C_R, C_S – корректирующие функции:

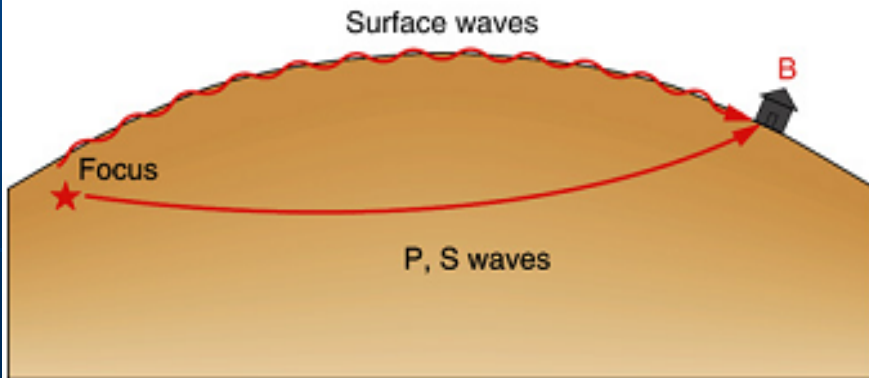
C_R – функция направленности излучения,

C_S – фильтрующие свойства среды

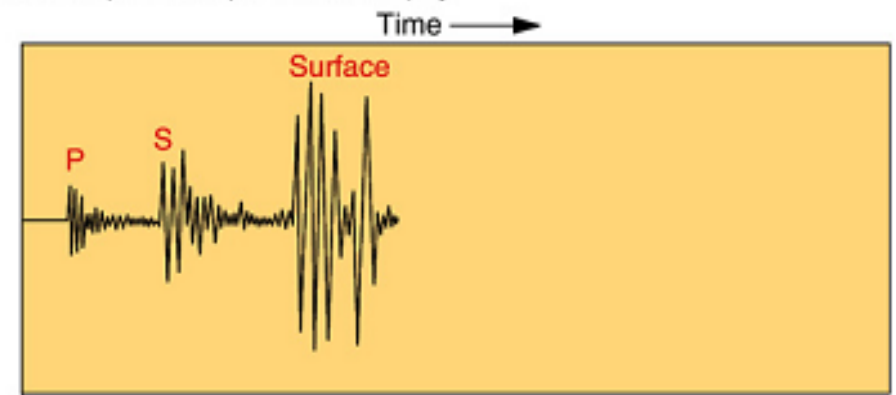
Регистрация сейсмических волн на разных эпицентральных расстояниях



A Station near focus

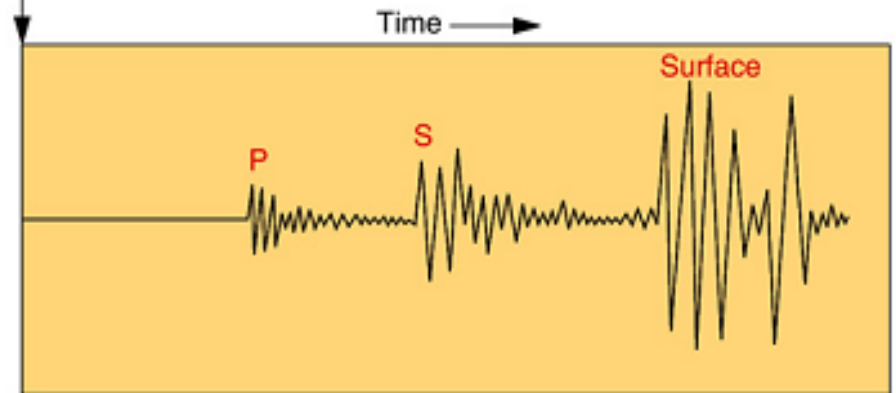


B Station far from focus



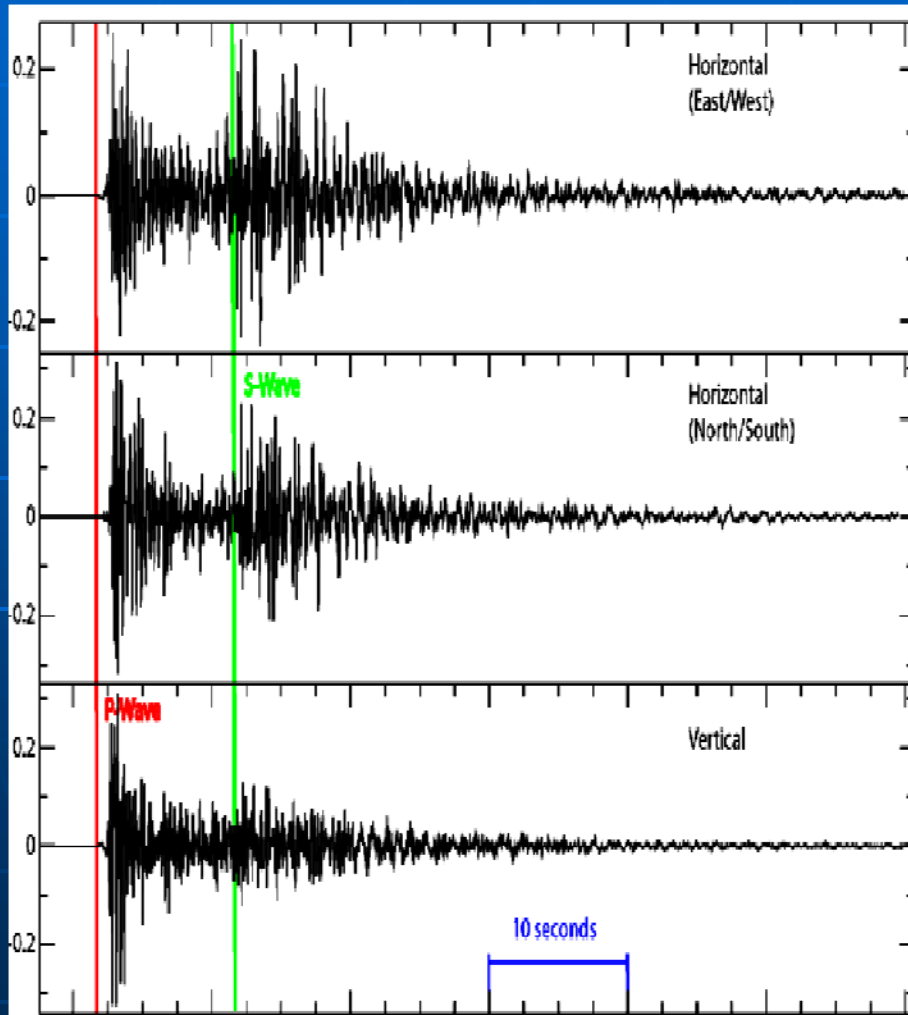
Seismogram from station A

Time of earthquake

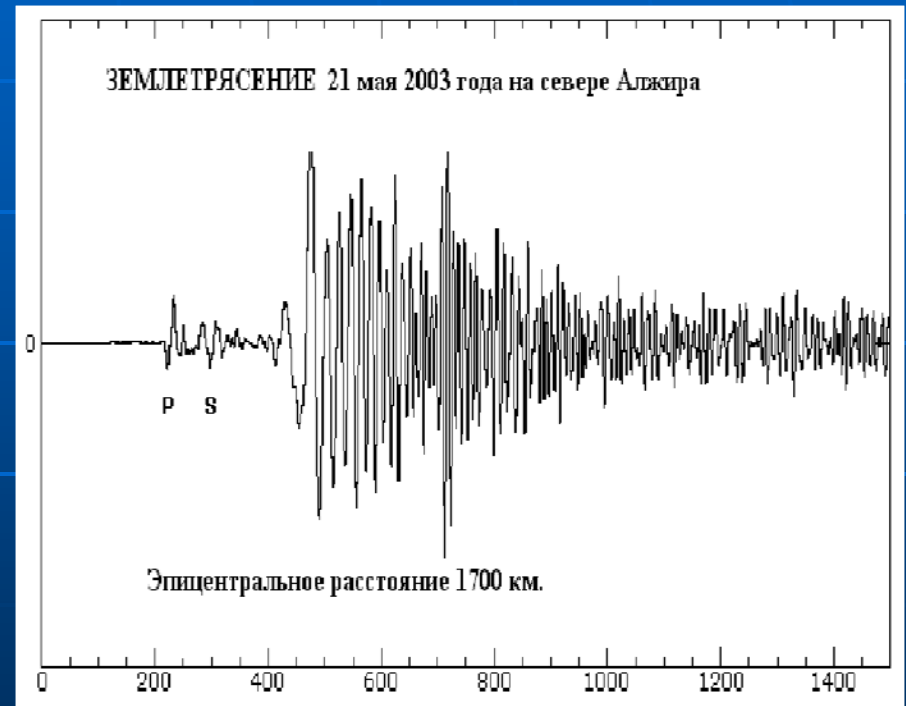


Seismogram from station B

Пример записи объемных и поверхностных волн на сейсмограммах.



Глубокофокусный очаг



Очаг вблизи поверхности Земли

Характеристики шкалы магнитуд.

- Магнитуда пропорциональна отношению амплитуды волны к ее периоду, то есть – скорости смещения почвы.
- Максимальное значение отношения амплитуды к периоду является наиболее стабильной оценкой магнитуды.
- На региональных расстояниях необходима коррекция на функцию направленности излучения из очага
- На всех расстояниях – коррекция на фильтрующие свойства среды

Амплитудно-частотные характеристики стандартизированной аппаратуры

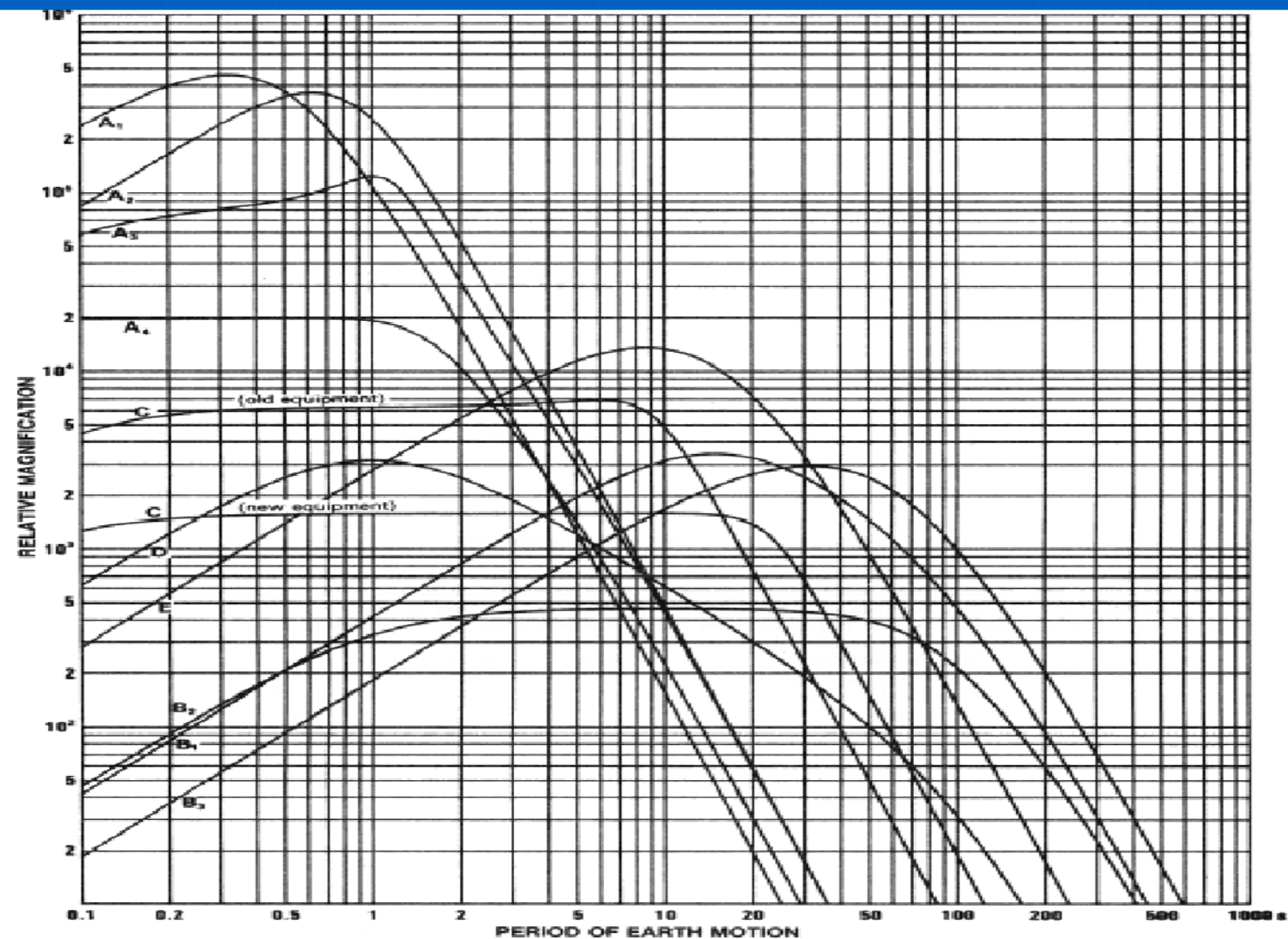


Figure 1.1 Magnification curves for standard classes of instrument, including overlay for acceleration and velocity sensitivity.

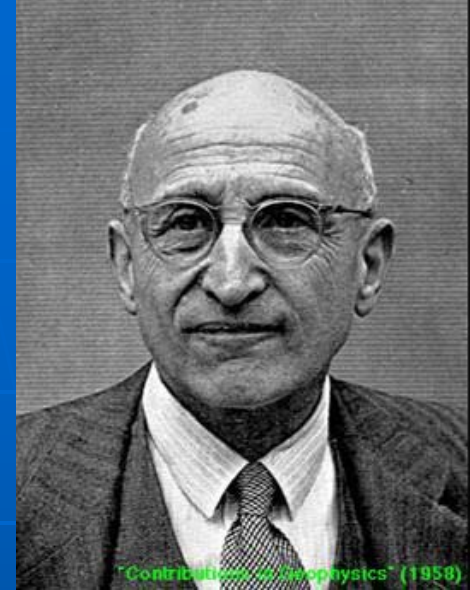
Телесейсмические магнитуды

Магнитуда по **объемным** волнам
– (формула Гутенберга)

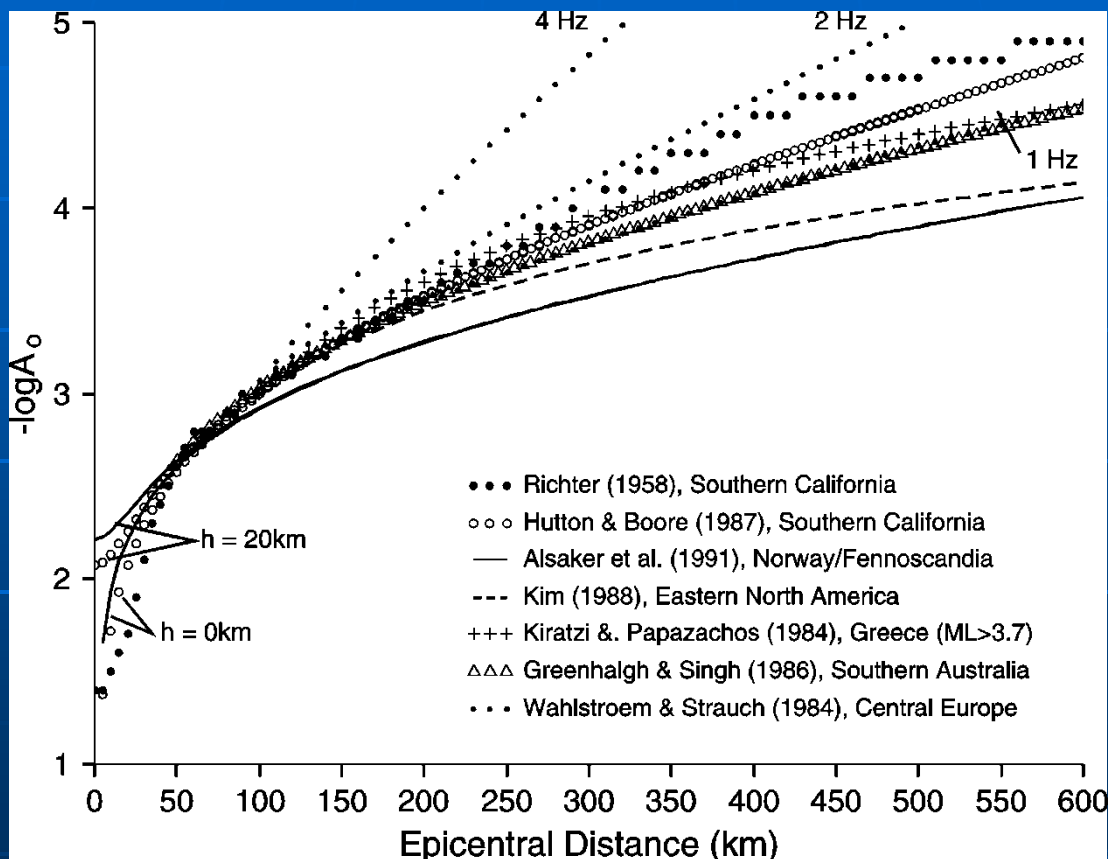
$$m_b = \lg \left(\frac{A}{T} \right)_{T=1c} + Q(\Delta, h);$$

$Q(\Delta, h)$ -Калибровочная функция

Амплитуды Р волн измеряются в микрометрах:
1мкм=10⁻⁶метра



Калибровочные функции для определения локальных магнитуд.



Калибровочные функции определяют изменение смещения в зависимости от эпицентрального расстояния, глубины, геометрического расхождения и затухания.

Калибровочная функции для определения магнитуд по z-компоненте объемных Р волн.

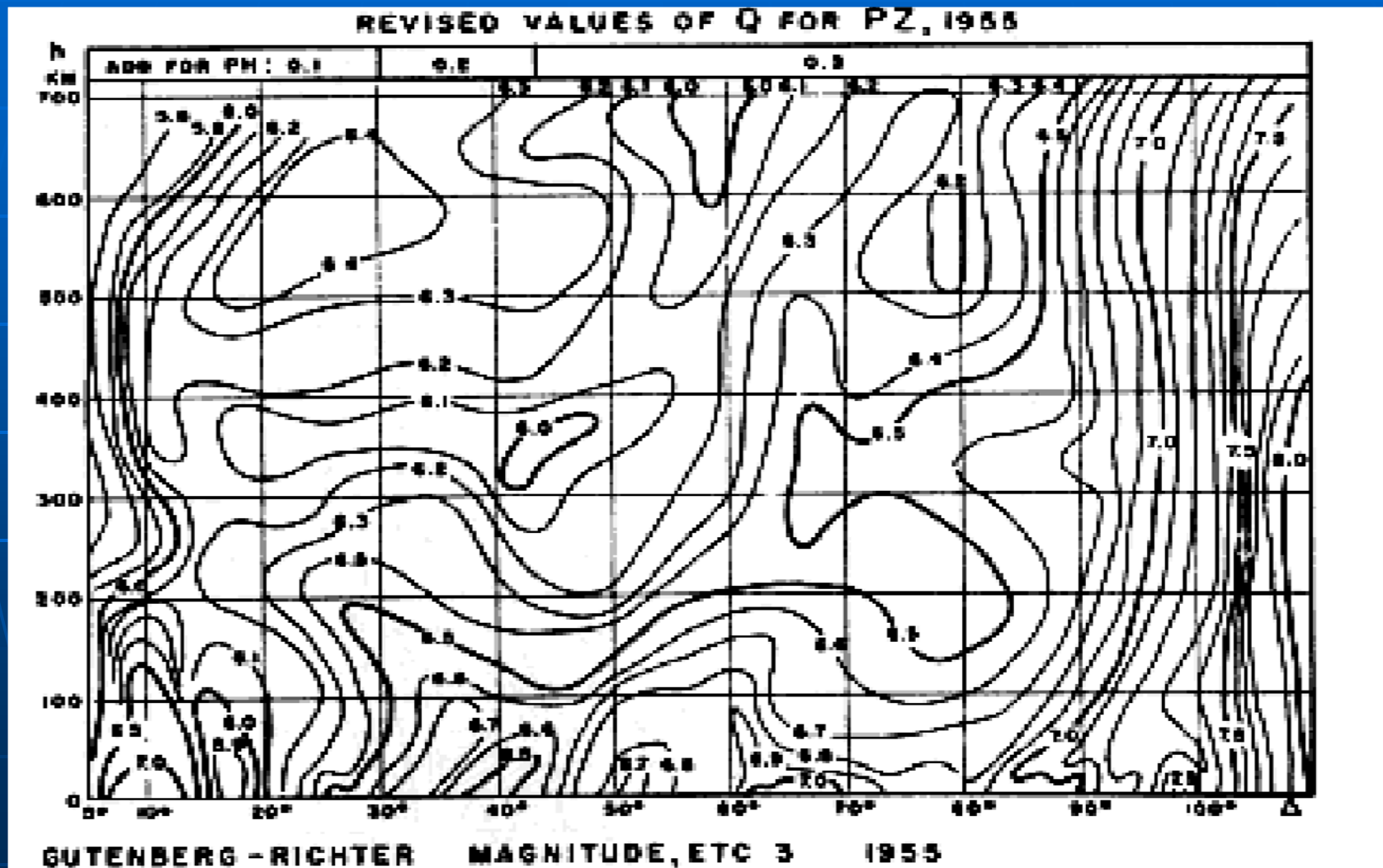


Figure 3.2.1.2a Values of $Q(\Delta)$ for PZ (Gutenberg and Richter, 1956).

Телесеismicкие магнитуды

Магнитуда по **поверхностным** волнам

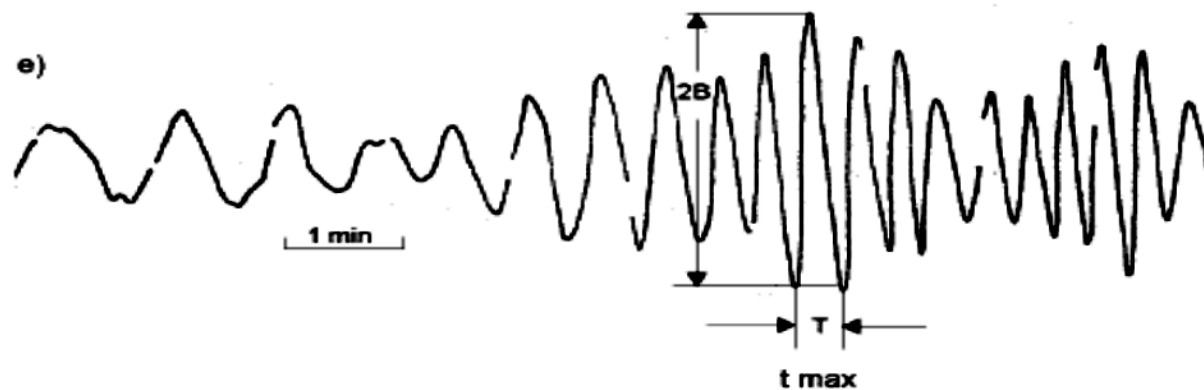
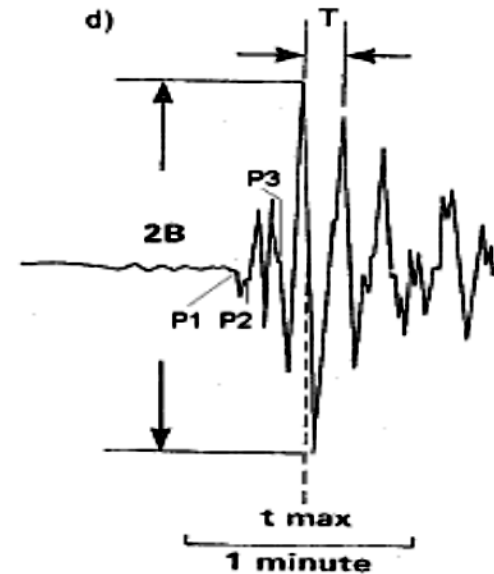
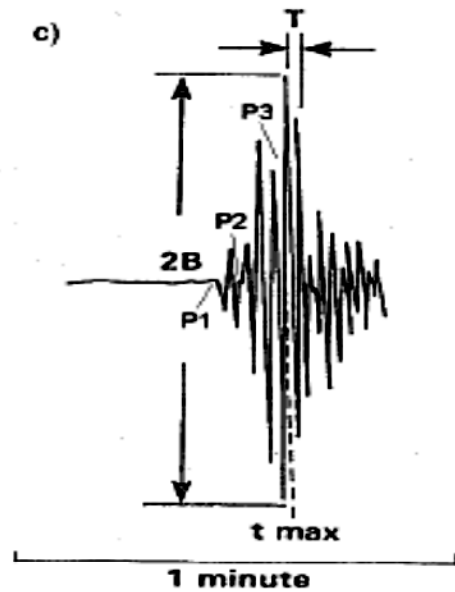
$$M_s = \lg \left(\frac{A}{T} \right)_{T=20c} + 1,66 \lg \Delta + 3,3;$$

$$20^{\circ} \leq \Delta \leq 180^{\circ};$$

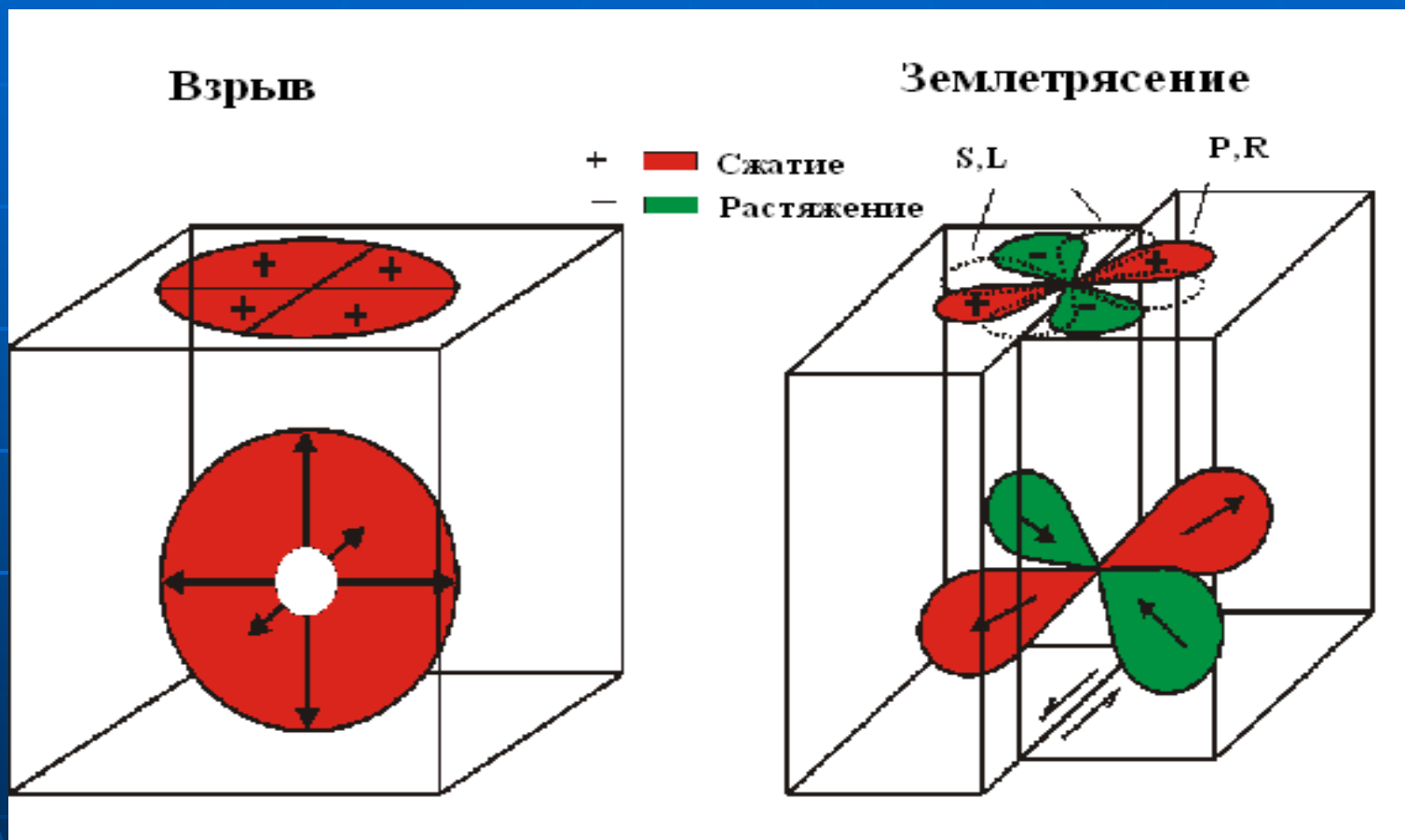
$$1^{\circ} = 111,1 \text{ км};$$

$$M_{S(JMS)} = \lg \sqrt{A_{NS}^2 + A_{EW}^2} + 1,73 \lg \Delta - 0,83$$

Пример измерения амплитуд и периодов для определения магнитуды землетрясения.

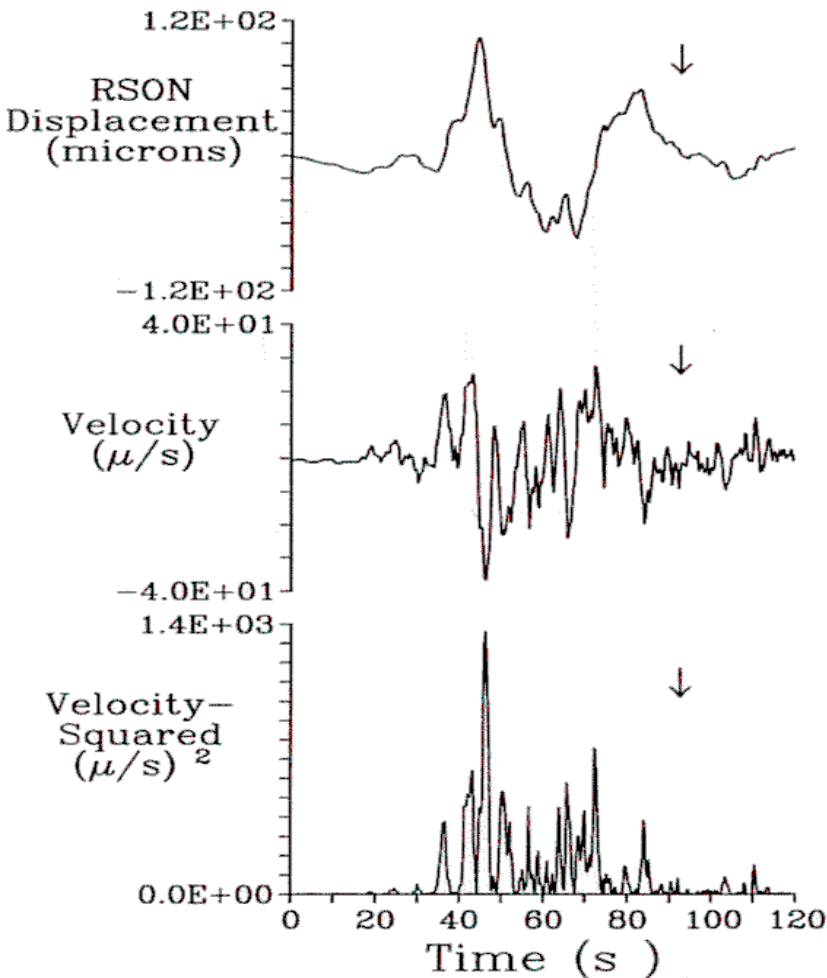


Излучение сейсмических волн при взрыве и землетрясении.

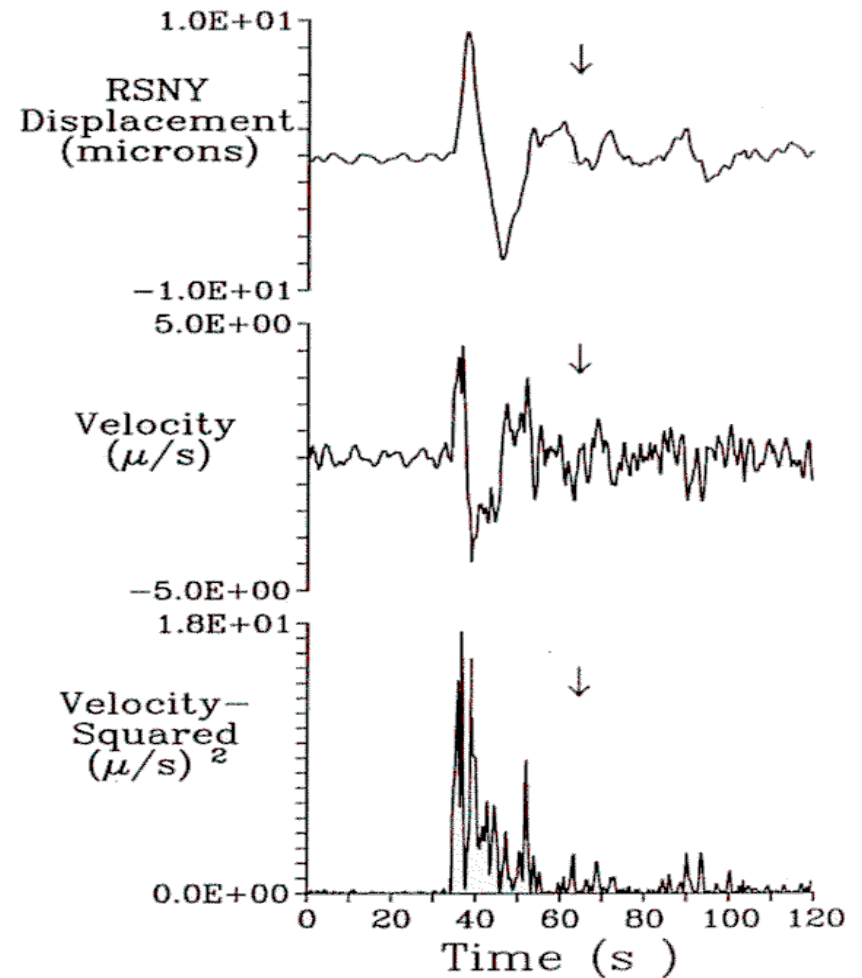


$$\frac{m_b}{M_s} > 1 - \text{взрыв};$$

Запись основного толчка чилийского землетрясения 3 марта 1985 года с магнитудой 7.7 и афтершока 17 марта с магнитудой 6.6.

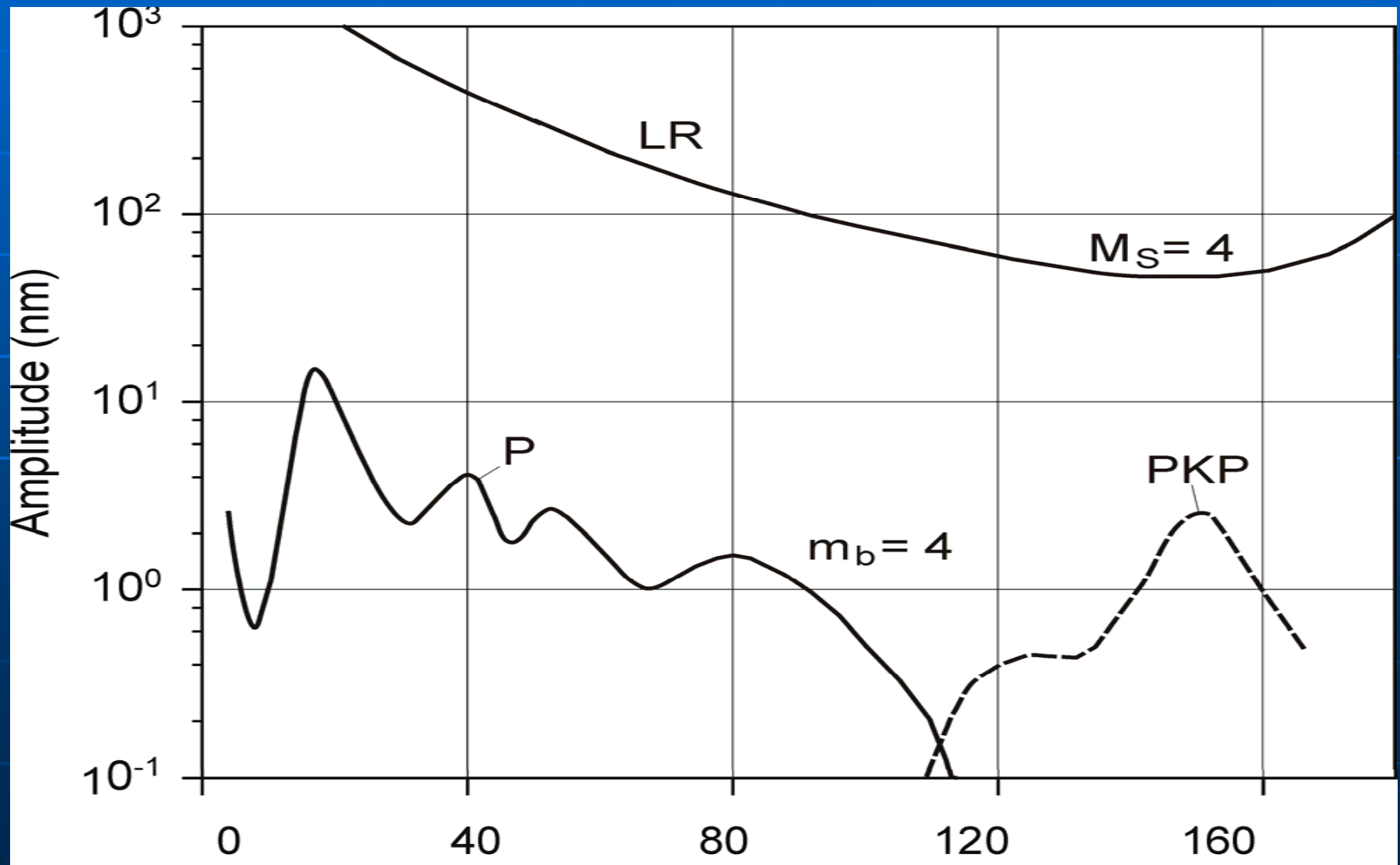


Typical Main Shock Waveform



Typical Aftershock Waveform

Изменение амплитуды волн в зависимости от эпицентрального расстояния.



Телесеismicкие магнитуды

- Моментная магнитуда:

$$M_w = \frac{2}{3} M_0 - 10,7;$$

Сейсмический момент:

$$M_0 = \mu \cdot \bar{u} \cdot S$$



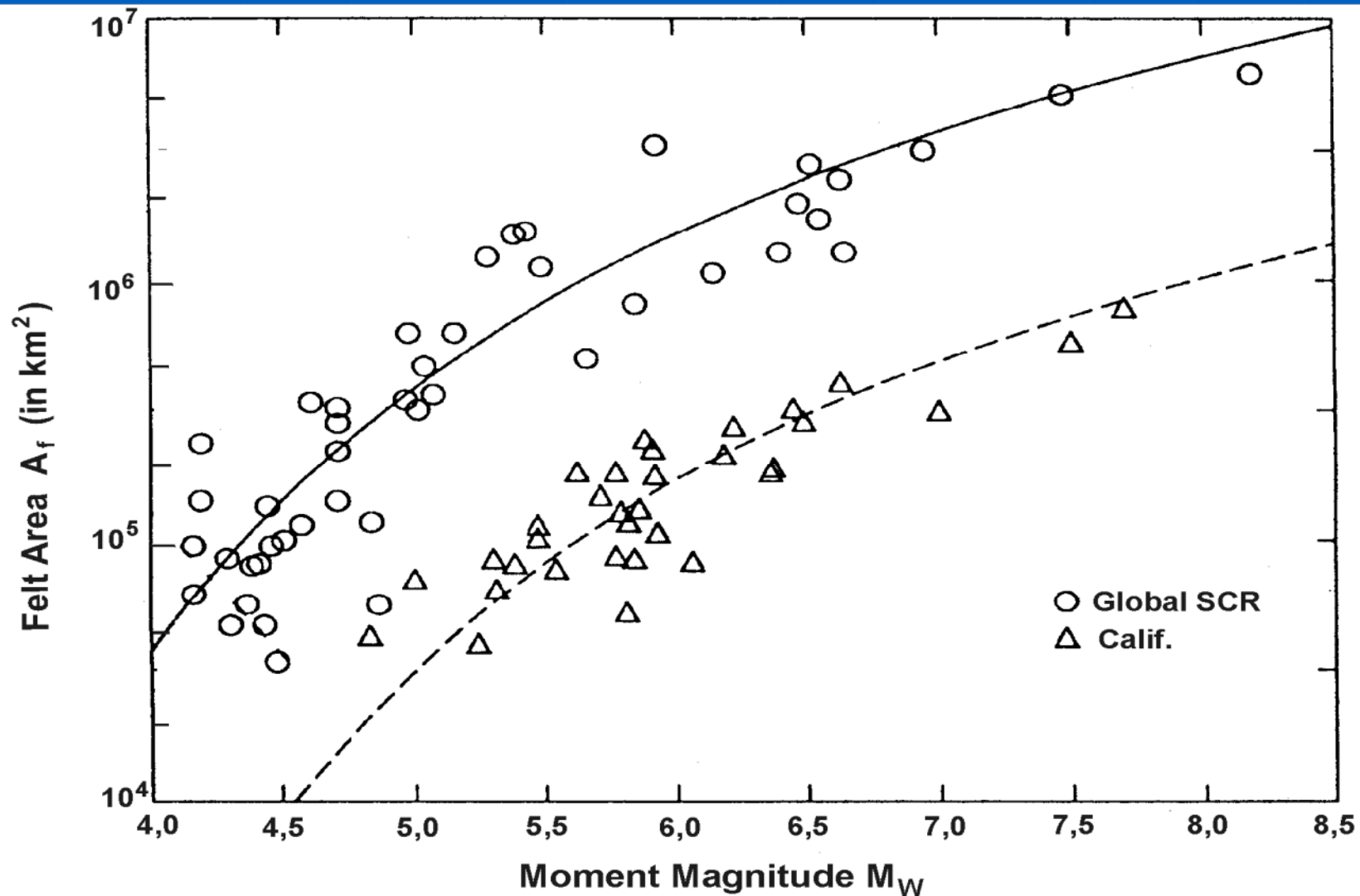
μ - Модуль сдвига

\bar{u} - Средняя подвижка по разрыву

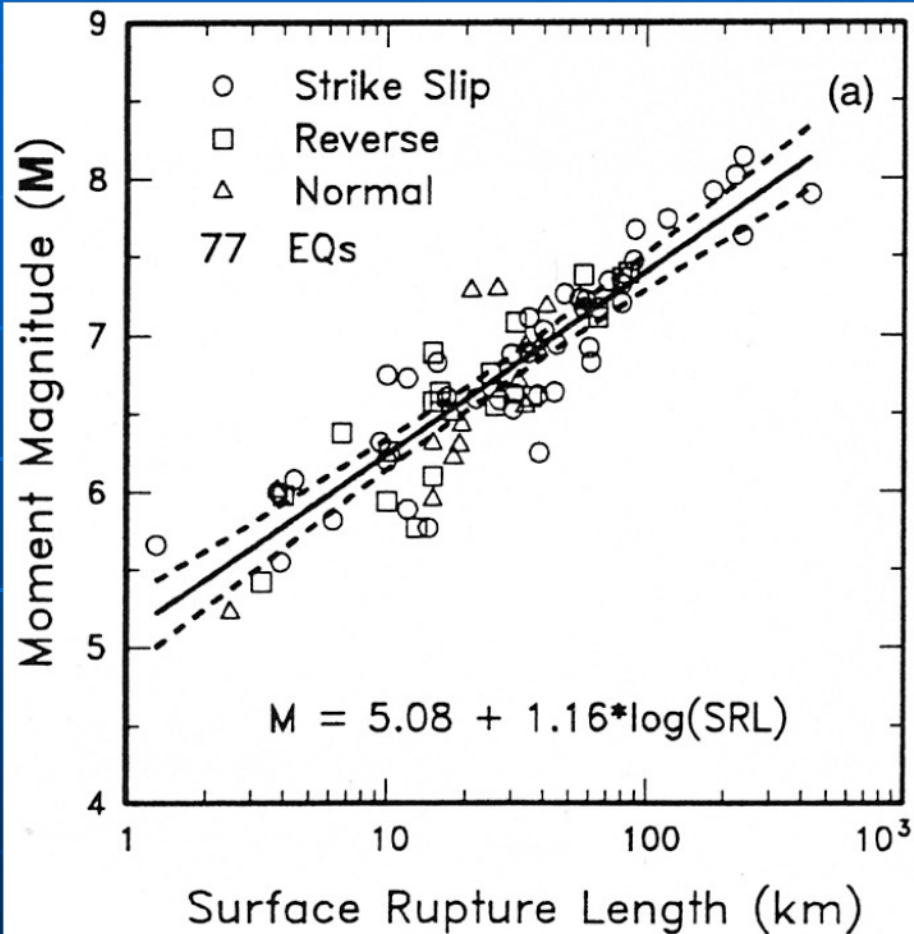
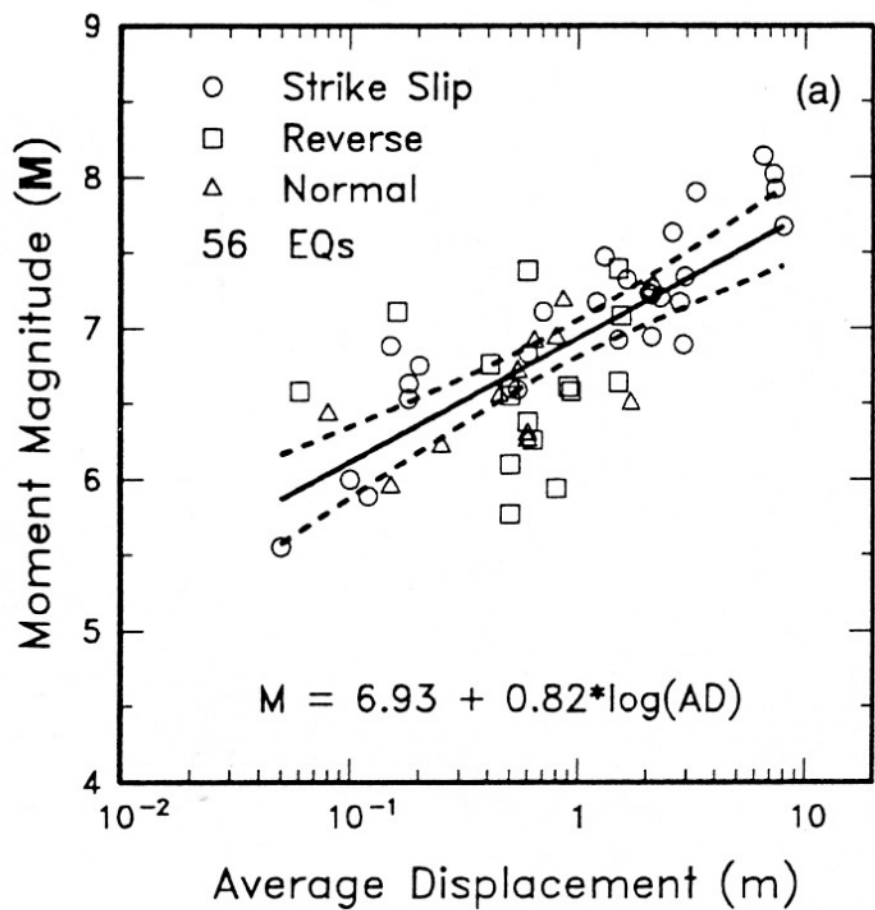
S - Площадь разрыва

$$M_w \cong M_s$$

Соотношение между размером области очага и моментной магнитудой.



Зависимость средней подвижки по разрыву и длины разрыва от моментной магнитуды.



Телесеismic магнитуды

- Энергетическая магнитуда:

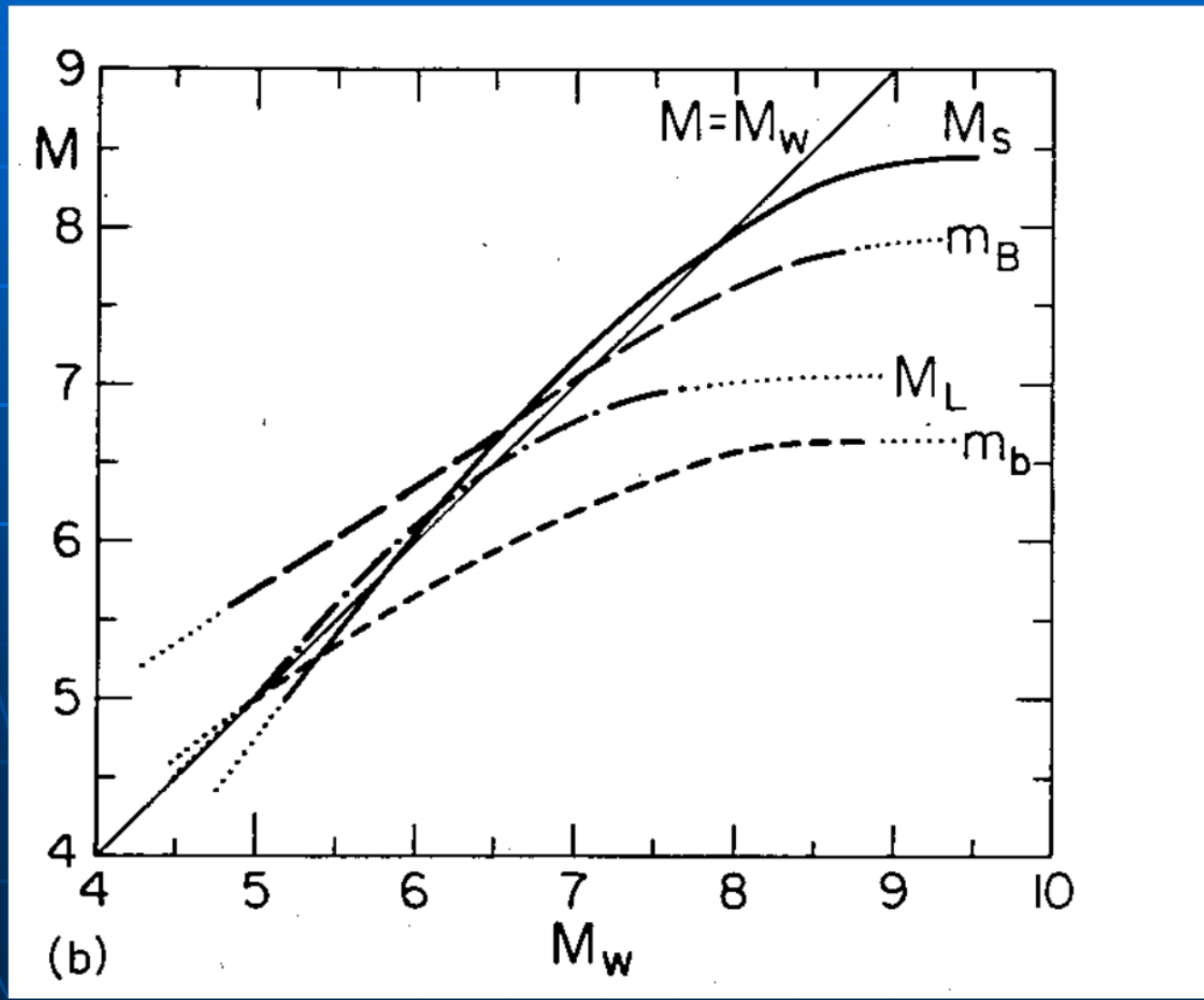
$$M_E = \frac{2}{3} \lg E_s - 2,9;$$

$$\lg E_s = 4,4 + 1,5M_s$$

Высота волны цунами:

$$M_{th} \cong M_w = \lg H_{\max} + \lg \Delta + 5,8$$

Соотношения между различными шкалами магнитуд.



Классификация событий по магнитудам.

Магнитуда	Характеристика	Эффект	Повторяемость
до 2.0	микро	Не ощущается	8000 в день
2-3,9	растрескивание	регистрируются	1000 в день, 49000 в год
4-4,9	слабые	Дрожание стекол	6200 в год
5-5,9	умеренные	Трещины в зданиях	800 в год
6-6,9	сильные	Локальные разрушения 200 км	120 в год
7-7,9	разрушительные	Региональные разрушения 1000 км	18 в год
8-8,9	катастрофические	Разрушения на несколько тыс. км.	1 в год
9-9,9	великие	Глобальные разрушения	1 в 20 лет

Энергетический класс и интенсивность землетрясения.

$$K = 4 + 1,8M$$

$$0 < K < 22$$

$$E_s = 10^K \text{ (Дж)}$$

Интенсивность – не инструментальная
оценка, зависит от эффектов на
поверхности, измеряется в баллах.

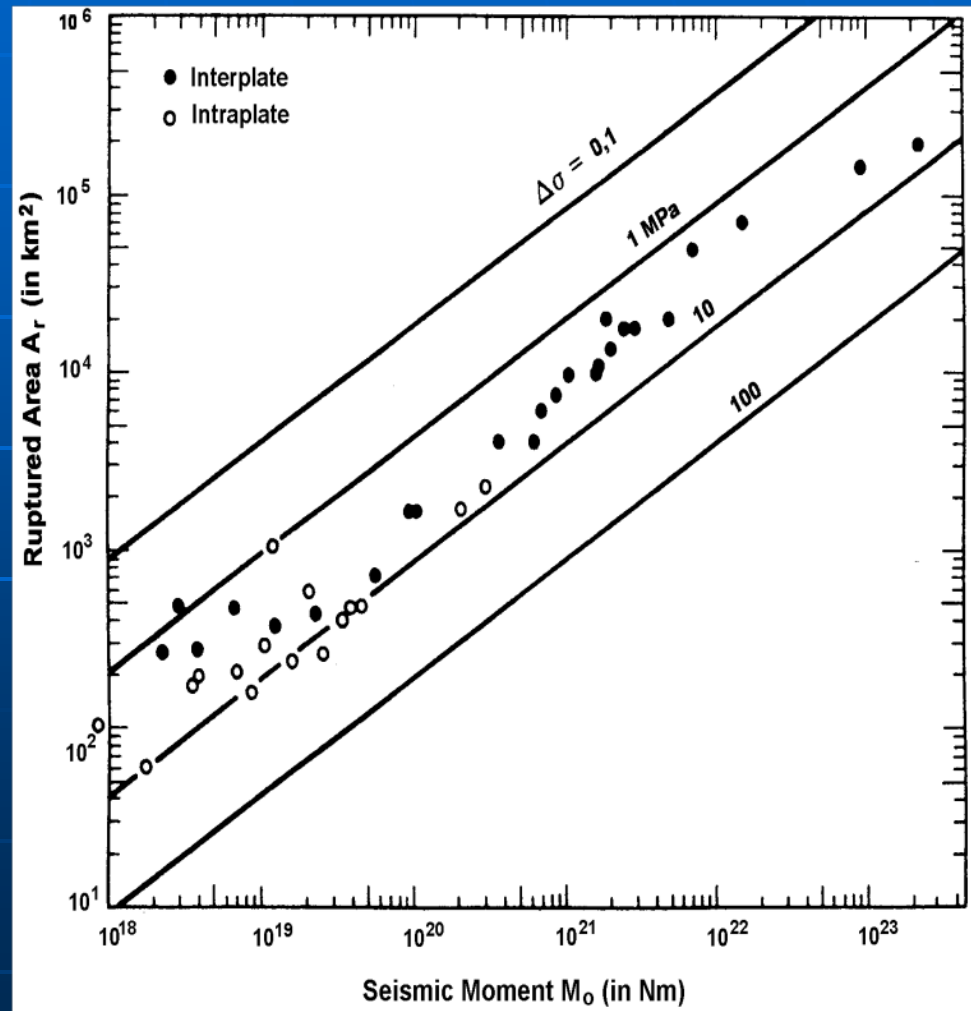
Напряжения, снимаемые на разрыве.

$$\Delta\sigma = 2\mu \frac{E_s}{M_0};$$

$$\frac{E_s}{M_0} \cong 1,6 \times 10^{-5}$$

$$\mu \approx (0,3 - 0,6) \times 10^5 \text{ МПа}$$

$$0,03 \leq \Delta\sigma \leq 6,69 \text{ МПа};$$



Параметры очага землетрясения:

■ Статические:

1. длина L

2. ширина W

3. площадь очага S

4. средняя подвижка \bar{D}

5. среднее напряжение

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{2}(\sigma_0 + \sigma_1)$$

6. снимаемое напряжение $\left(\frac{\bar{D}}{L} \right)$

$$\Delta\sigma = \mu C \left(\frac{\bar{D}}{L} \right)$$

7. сейсмический момент

$$M_0 = \mu S \bar{D}$$

■ Динамические

1. время нарастания

разрушения τ

2. скорость вспарывания v

3. длительность вспарывания

$$t_c = \frac{L}{v}$$

μ -модуль сдвига

C -константа формы очага

σ_0 -начальное напряжение

σ_1 -конечное напряжение