

# Землетрясения и цунами

- ◆ **СП 14.13330.2011.** СТРОИТЕЛЬСТВО В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ
- ◆ СП 115.13330. ГЕОФИЗИКА ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
- ◆ ГОСТ Р 53166-2008 (МЭК 60721-2-6:1990) Воздействие природных внешних условий на технические изделия. Общая характеристика. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

# Определения (ГОСТ Р 22.0.03-95)

- ◆ Землетрясения- подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней части мантии Земли и передающиеся на большие расстояния в виде упругих колебаний
- ◆ Очаг землетрясения- область возникновения подземного удара в толще земной коры или верхней мантии, являющегося причиной землетрясения.

Часто землетрясениям предшествуют толчки слабой силы (**форшоки**), основная же энергия землетрясений передается с вторичными толчками-**афтершоками**.

Энергия землетрясений передается сейсмическими волнами.

# Генетическая классификация

- ◆ Тектонические- землетрясения, протекающие в результате подвижек блоков земной коры и \или верхней мантии (преобладают)
- ◆ Вулканические- землетрясения, сопровождающие вулканические извержения
- ◆ Денудационные- землетрясения, вызванные обвалами (сотрясения при ударе обвалившейся массы о землю)
- ◆ Техногенные:
  - подземные взрывы при ядерных испытаниях, сейсмических работах и т.п.
  - землетрясения, вызванные изменением полей напряжений в толще пород при проходке шахт, нефтедобыче, откачках подземных вод

# Очаги землетрясений

Очаги землетрясений расположены в основном в активных тектонических зонах (горно-складчатых поясах), активным зонам океанической коры, а также по периферии платформ. В основном очаги приурочены к разломам в земной коре

Глубина залегания очага называется фокусом. По глубине залегания землетрясения подразделяются на:

- ◆ Мелкофокусные- до 50км
- ◆ Среднефокусные- 50-300км
- ◆ Глубокофокусные- более 300км

Наиболее частыми, опасными и разрушительными являются короткофокусные землетрясения.

Эпицентр землетрясения- проекция очага на земную поверхность

Плейстосейстовая зона- территория, в пределах которой происходят разрушения

# Графическое изображение

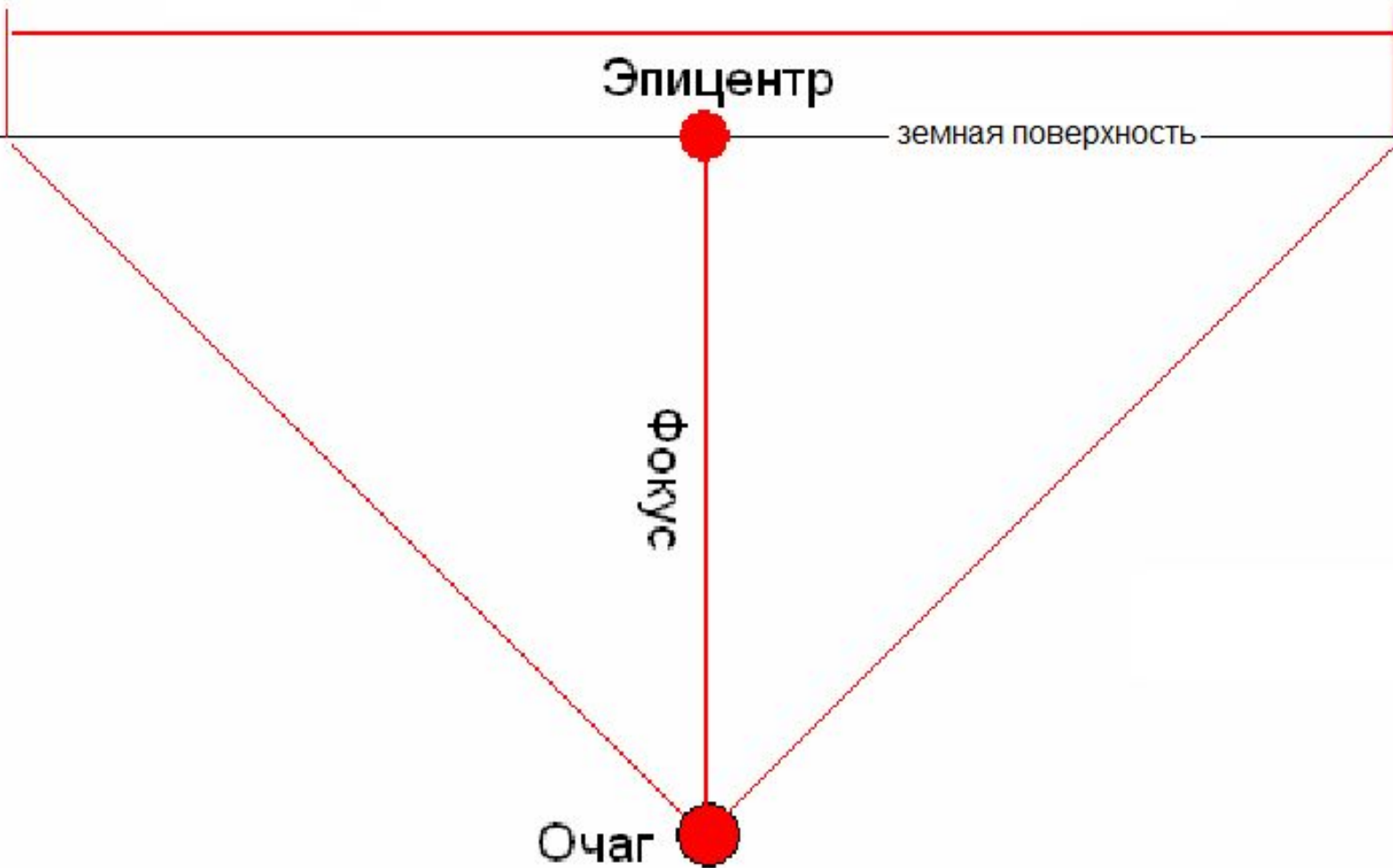
Плейстосейстовая зона

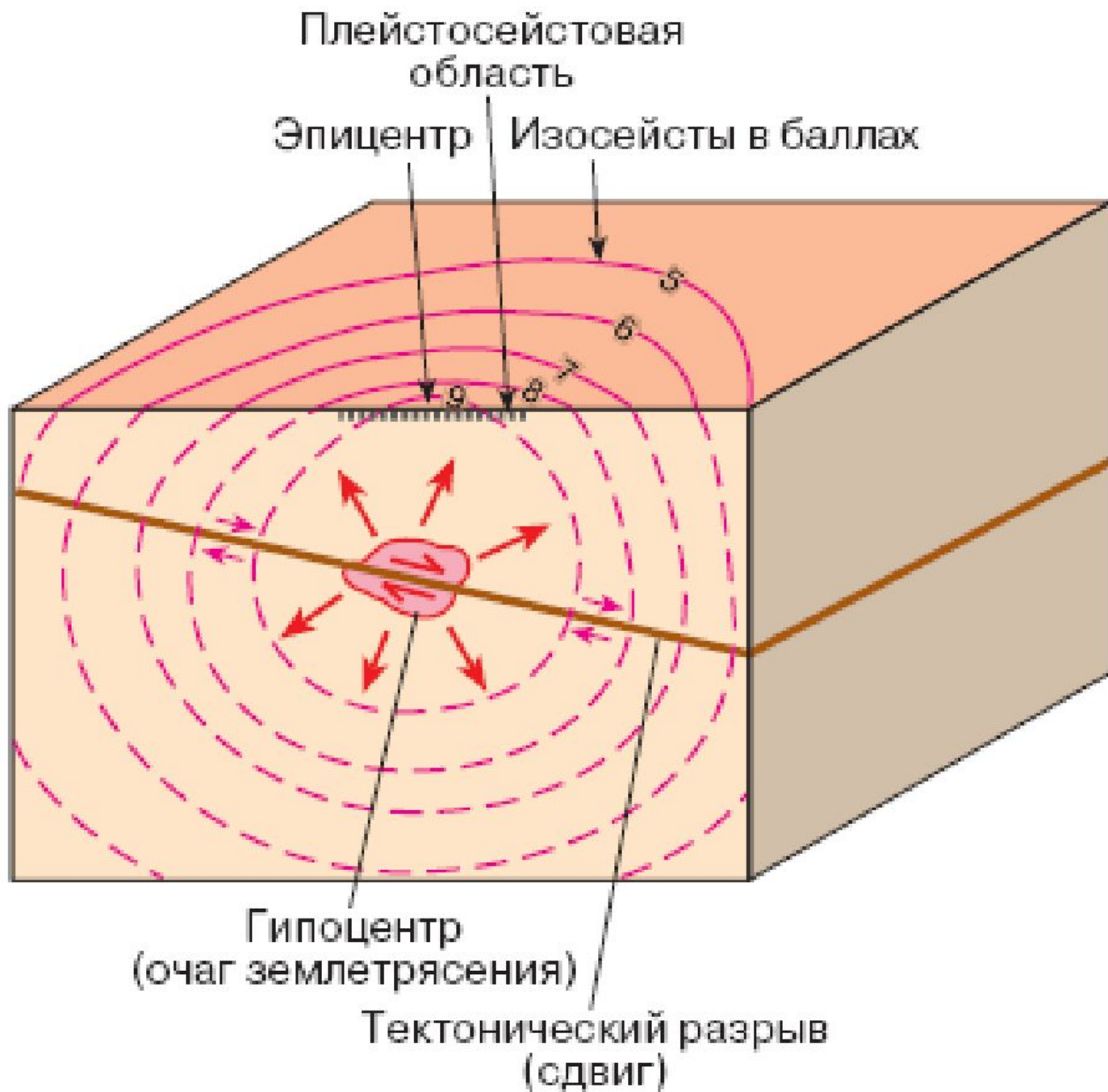
Эпицентр

земная поверхность

Фокус

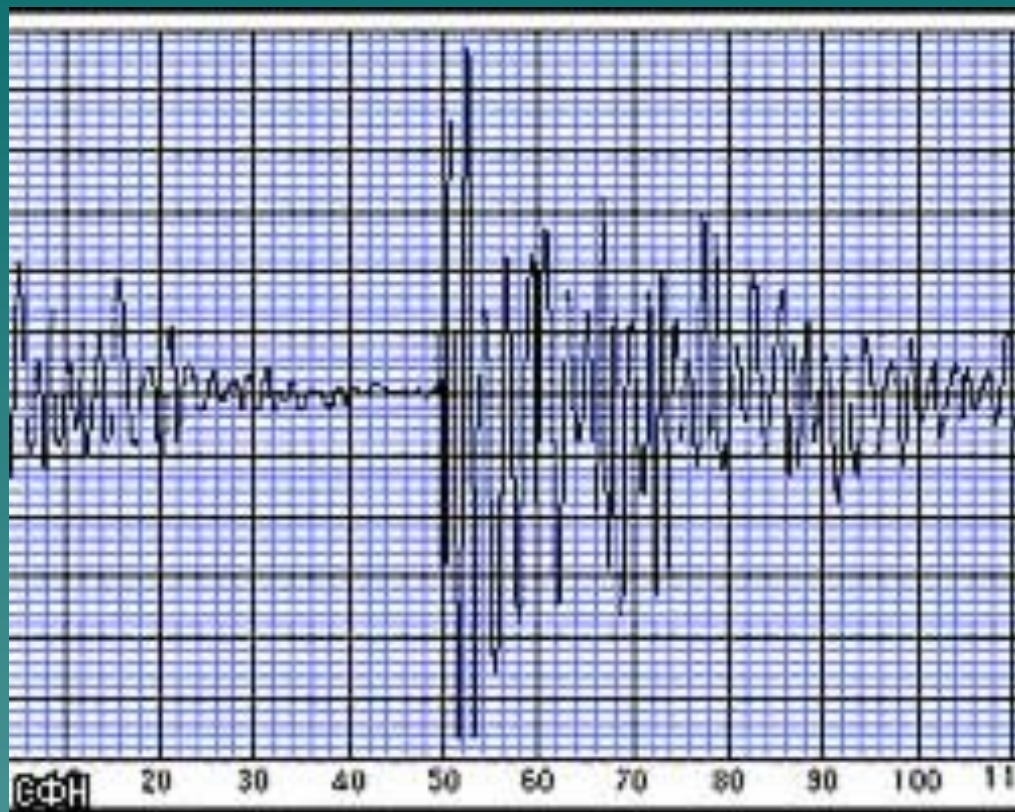
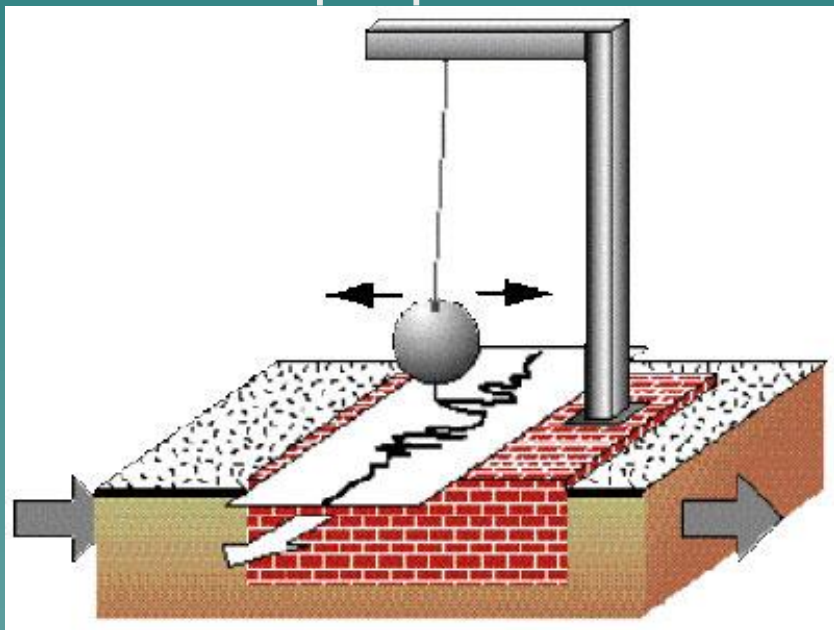
Очаг





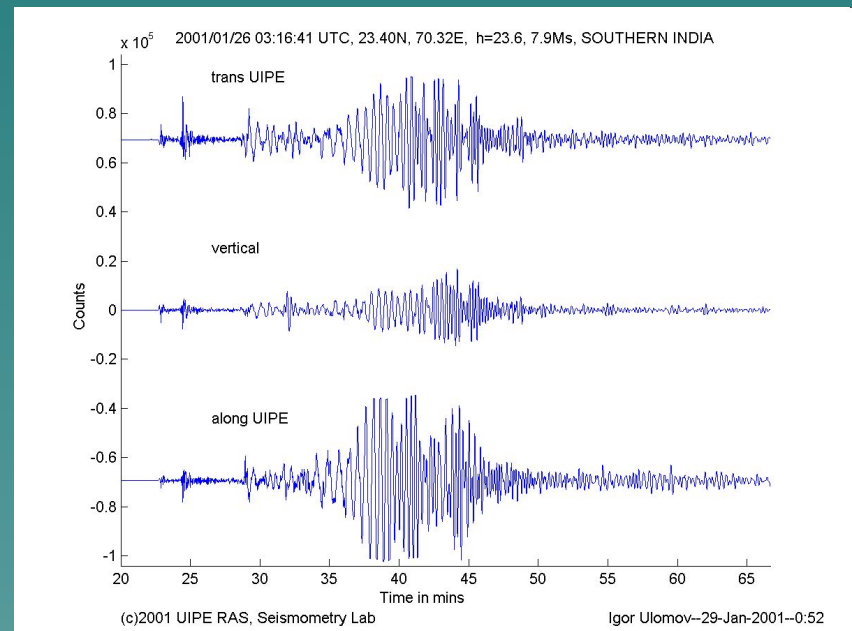
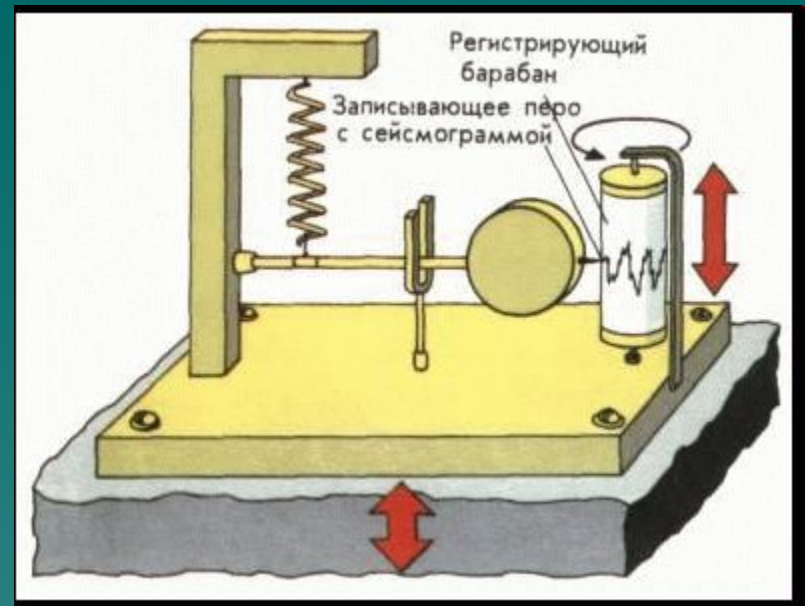
# Регистрация землетрясений

Регистрация землетрясений производится с помощью маятниковых приборов-сейсмографов.



<http://blocs.aquiosona.com/wp-content/uploads/2011/05/sismograf-ca-sola-web.jpg>

- ◆ Отмечая время первого вступления волн, т.е. появления волны на сейсмограмме и зная скорости их распространения, определяют расстояние до эпицентра землетрясения. В наши дни на земном шаре установлены многие сотни сейсмографов, которые немедленно регистрируют любое, даже очень слабое землетрясение и его координаты.





## Сейсмические волны

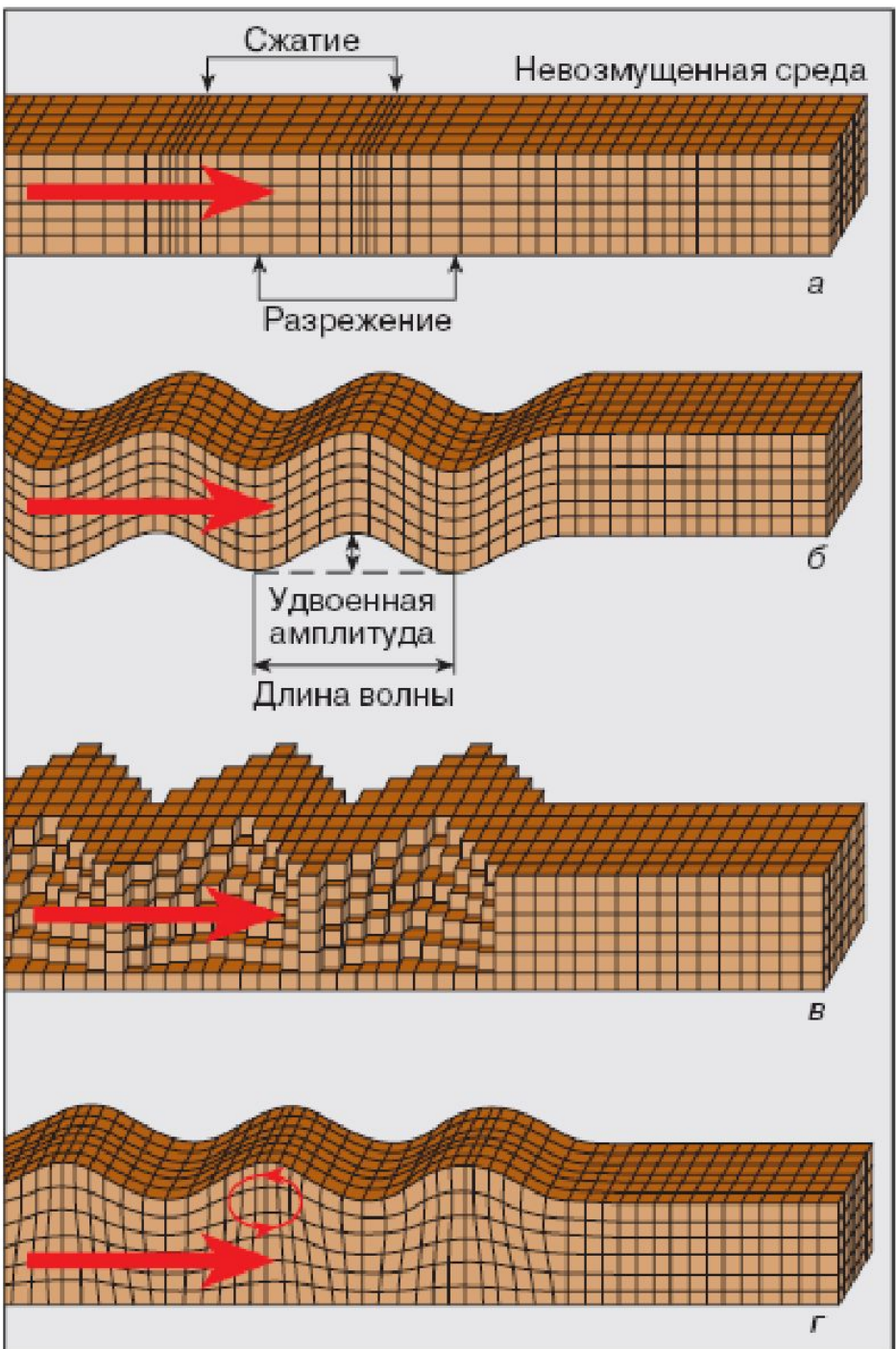
- ◆ Энергия землетрясений передается упругими колебаниями или сейсмическими волнами.

Выделяются следующие типы сейсмических волн:

Продольные волны (р-волны)- с ними передается основная часть энергии землетрясения

Поперечные или сдвиговые волны (s-волны)

Поверхностные волны (волны Лява и Рэлея)



## Поперечные волны

## Классические продольные волны

## Поверхностные волны Лява

## Поверхностные волны Рэлея

# Энергия землетрясений

Энергия вычисляется по ф-ле Голицина:

$$E = \pi * \rho * v * (A/T)^2$$

E- энергия

$\rho$ - плотность слоев

v- скорость распространения  
сейсмических волн

A- амплитуда смещения частиц грунта

T- период колебаний

## Сила и интенсивность землетрясений

- ◆ **Сила землетрясений** измеряется по шкале Рихтера в магнитудах.
- ◆ Магнитуда – абсолютная единица измерений- М: Количественная характеристика излучаемой очагом сейсмической энергии, отнесенному к расстоянию от эпицентра, десятичному логарифму амплитуды наибольших колебаний грунта, записанных при прохождении сейсмических волн
- ◆ Магнитуда при удалении от эпицентра 100км вычисляется как логарифмическое отношение

$$M = \lg (A / (A * A_0))$$

M- магнитуда

A- максимальная амплитуда колебаний частиц грунта

A<sub>0</sub>- эталонная амплитуда стандартного землетрясении

**Интенсивность землетрясений**- относительная субъективная единица- оценивается в баллах по 12-ти бальной шкале MSK-64.

# 12-ти бальная шкала MSK-64

Баллы	Проявления
0-1	Толчки не ощущаются, а регистрируются только приборами
2-3	Толчки ощущаются только людьми, находящимися в спокойном состоянии в изолированных помещениях
4	Толчки отмечаются многими людьми, наблюдается дребезжание стекол и посуды
5	Висящие предметы (люстры, занавески и т.п.) раскачиваются, спящие люди просыпаются
6	Легкие повреждения зданий, мелкие трещины в штукатурке
7	Трещины и откалывание штукатурки, тонкие трещины в стенах

# 12-ти бальная шкала


Баллы	Проявления
8	Большие трещины в стенах, падение карнизов и дымовых труб, отдельные разрывы стыков трубопроводов и рельс
9	В некоторых зданиях происходит обрушение стен, кровли, перекрытий, массовые разрывы стыков трубопроводов и рельс
10	Обрушение многих зданий, образование в земле трещин шириной до 1м
11	Массовые разрушение построек, многочисленные трещины на поверхности земли, обвалы горных склонов
12	Изменения рельефа на больших площадях, пульсации всего земного шара

# Соотношение между магнитудой, интенсивностью и фокусом

Соотношение между магнитудой и интенсивностью землетрясений

Магнитуда (M)	Интенсивность (сила) землетрясений в баллах при глубине очага в километрах		
	5 км	20 км	40 км
8,5 - 7,5	-	9-10	8-9
7,25 - 6,5	10-11	8-9	7-8
6,25 - 5,25	8-9	7-8	5-6
5,0 - 4,25	7-8	5-6	-

*Сейсмическая опасность и сейсмостойкое строительство в  
РФ, Москва, [1996](#)*





На застроенных территориях землетрясения могут вызывать разрушение зданий и сооружений

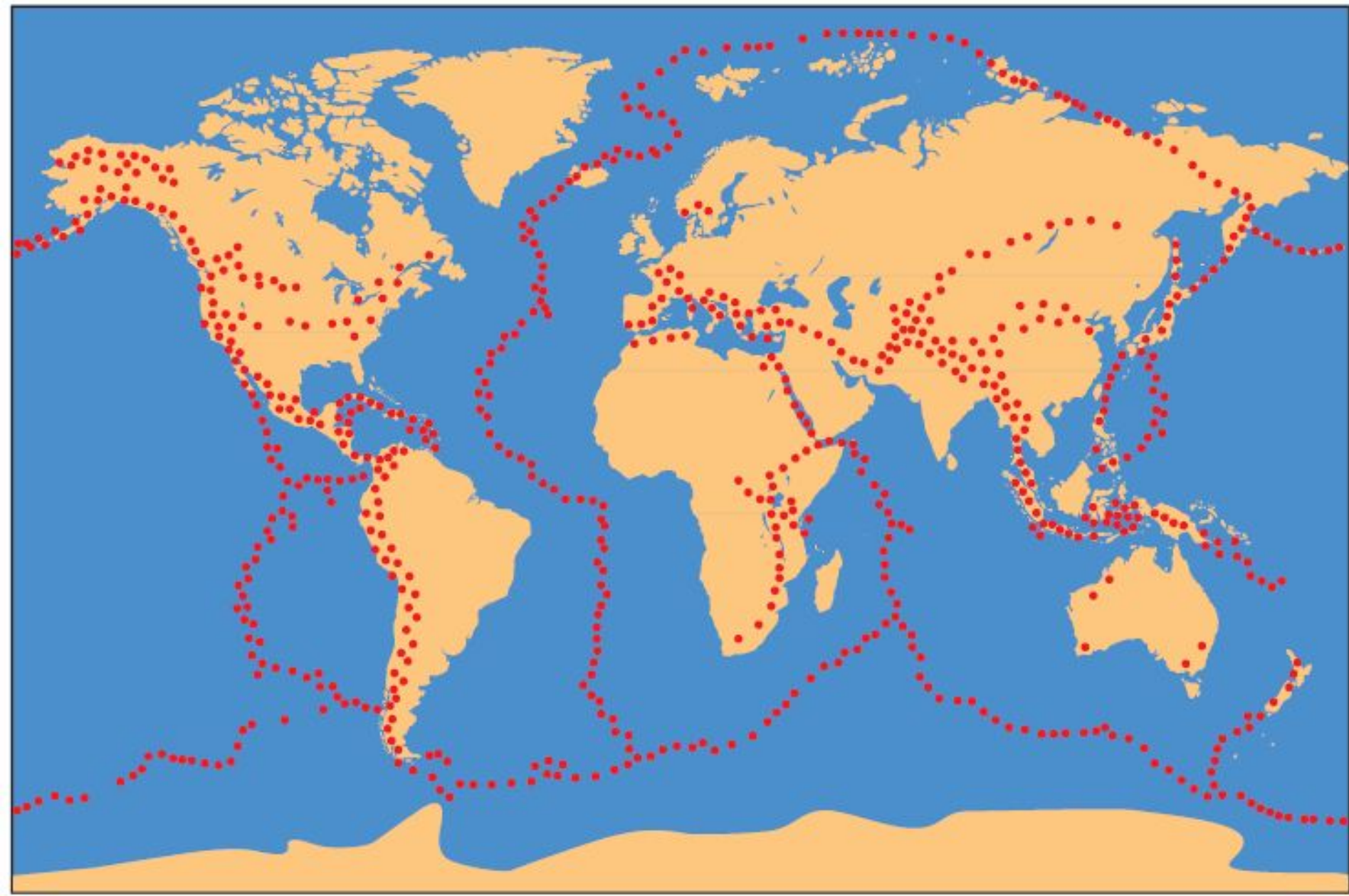








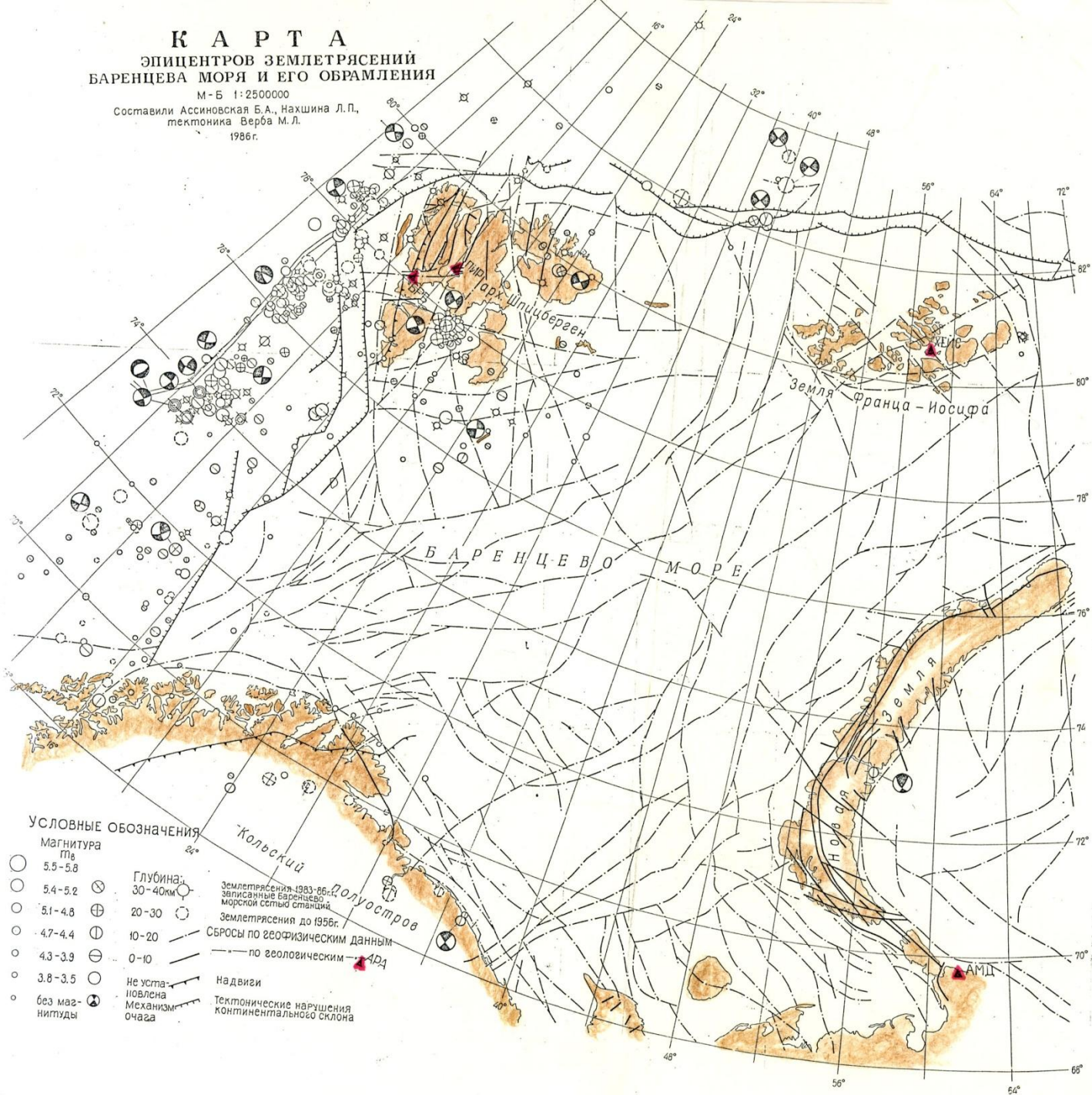
# Распространение очагов землетрясений по земному шару



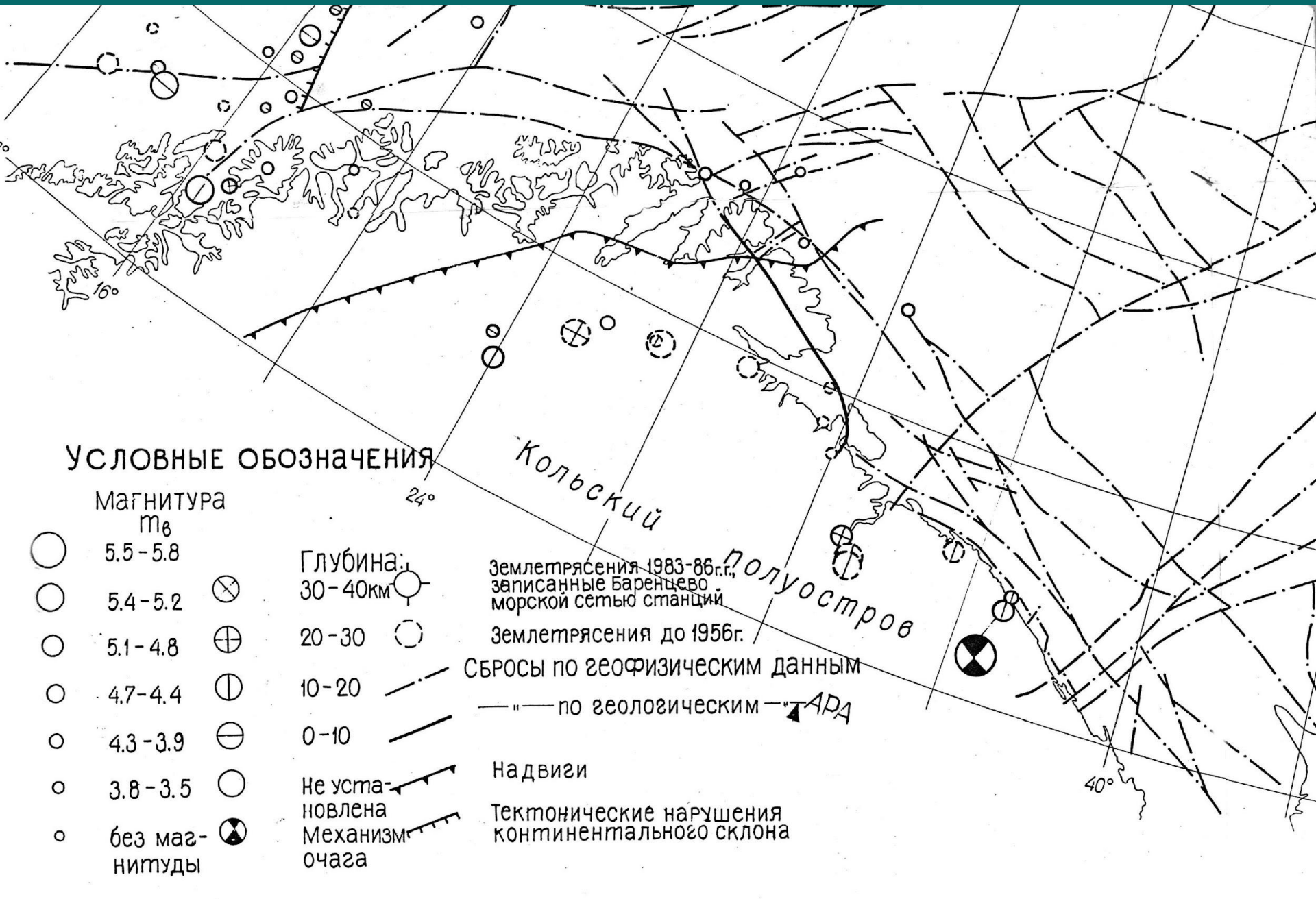
# КАРТА ЭПИЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ БАРЕНЦЕВА МОРЯ И ЕГО ОБРАМЛЕНИЯ

М-Б 1:2500000

Составили Ассиновская Б.А., Нахшина Л.П.,  
тектоника Верба М.Л.  
1986г.



# Кольский п-ов



## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Магнитуда  
 $M_b$

- 5.5-5.8
- 5.4-5.2 ⊗
- 5.1-4.8 ⊕
- 4.7-4.4 ⊕
- 4.3-3.9 ⊖
- 3.8-3.5 ○
- без магнитуды ⊗

Глубина:  
30-40 км ○

20-30 ○

10-20 ○

0-10 ○

Не установлена  
Механизм очага

Землетрясения 1983-86 гг.,  
записанные Баренцево  
морской сетью станций

Землетрясения до 1956 г.

СБРОСЫ по геофизическим данным

— " — по геологическим —

Надвиги

Тектонические нарушения  
континентального склона

24°

40°

Кольский

полуостров

АРА



Рис. 3.1. Сейсморазрыв Алтайского землетрясения (фото А.Р.Геодакова)





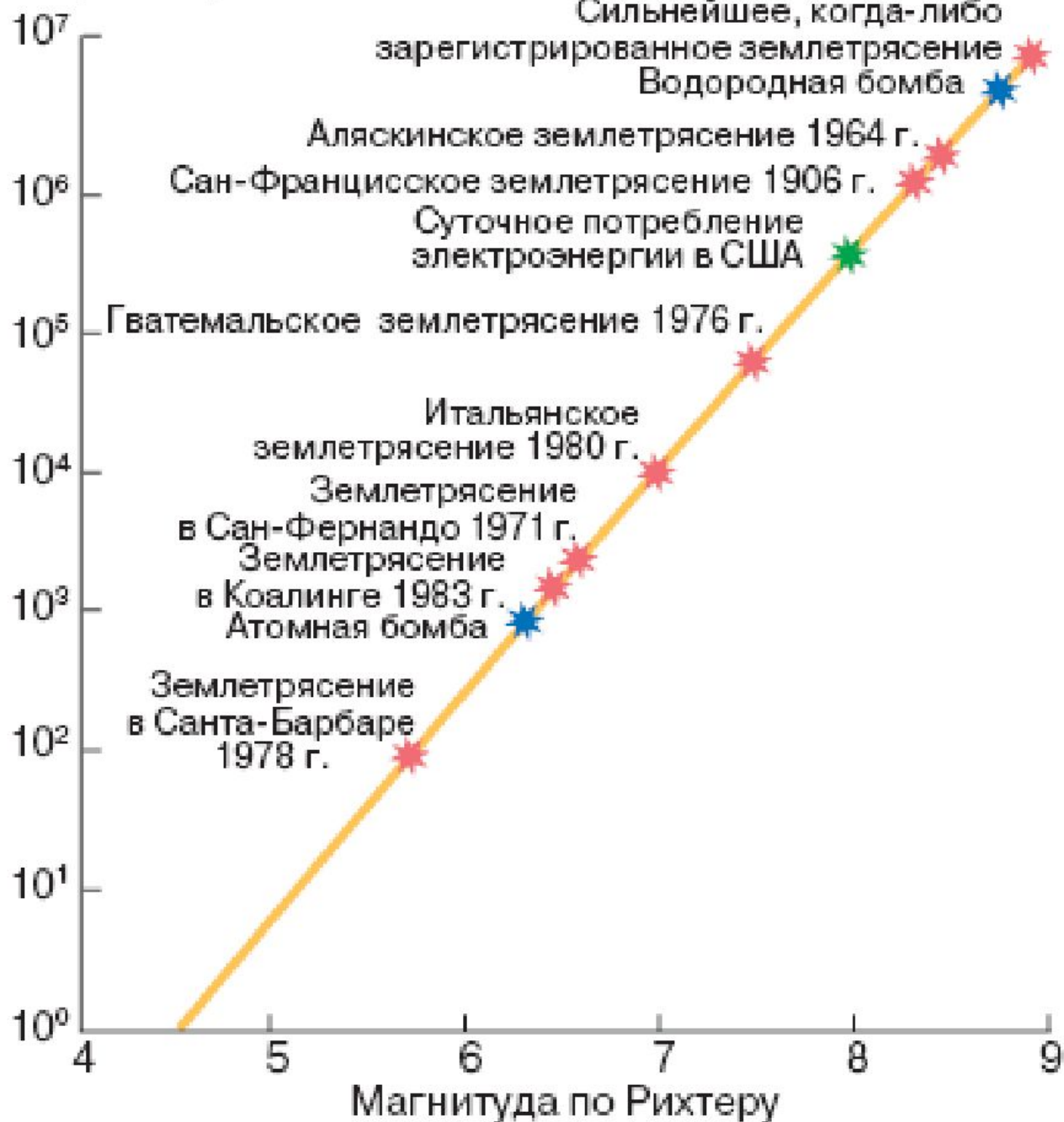


**Рис. 3.7.** Сейсмический ров и вал вспучивания в пределах трассы левосдвигового разрыва (фото А.Н.Овсюченко).



**Рис. 3.6.** Смещение вездеходной дороги правосдвиговым разрывом. Амплитуда смещения – около 2.0 м (фото А.Н.Овсюченко).


Энергия, эрг · 10<sup>18</sup>



## Сейсмическое микрорайонирование СП 14.13330.2011


Замечено, что землетрясения одной и той же бальности и магнитуды при равном удалении от эпицентра проявляются по разному на участках, сложенных различными грунтами с различными условиями залегания последних.

Сущность сейсмического микрорайонирования- районирование площади по типу разрезов грунтов на отдельных ее участках с целью определения приращеня или уменьшения бальности относительно средней для площади

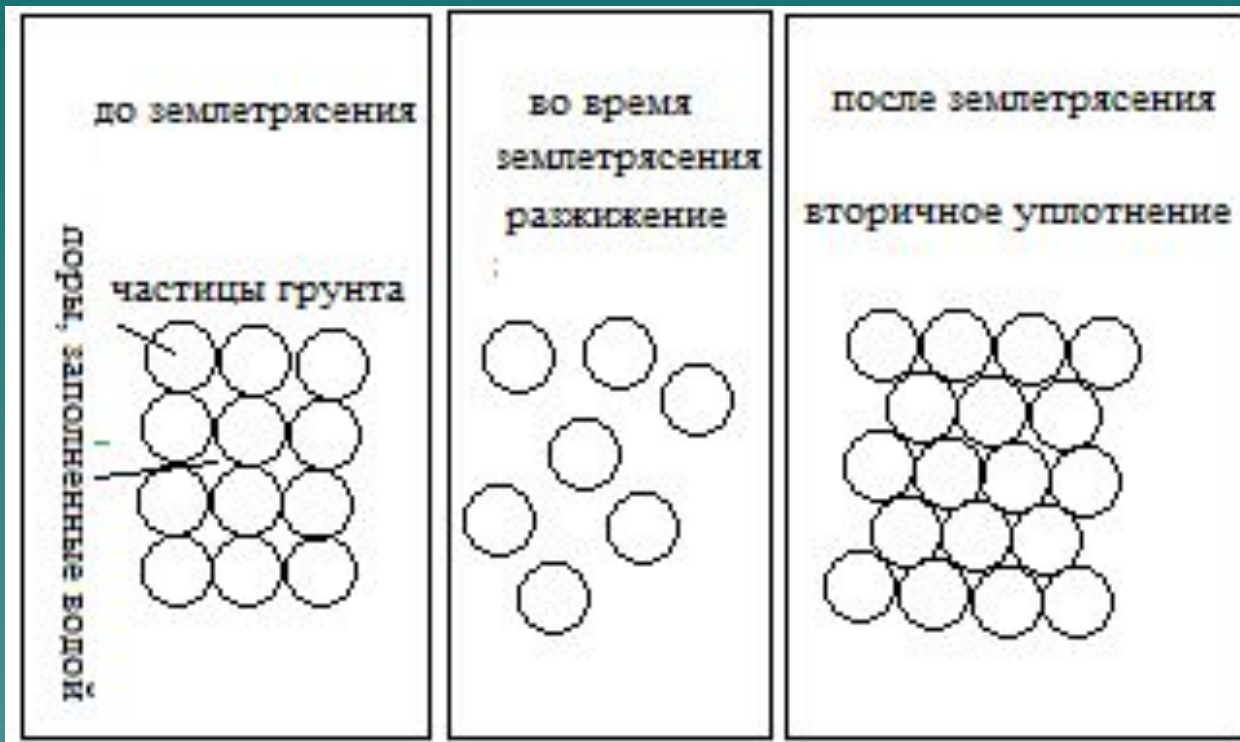
- ◆ Сейсмические толчки или удары воздействуют не только на сами инженерные сооружения, но и на грунты их оснований.
  - ◆ Некоторые грунты (в особенности водонасыщенные мелкие и пылеватые пески) при сейсмических воздействиях разжижаются. Это вызывает деформации оснований сооружений и может привести к их разрушению.
- 

# Механизм сейсмогенного разжижения грунтов

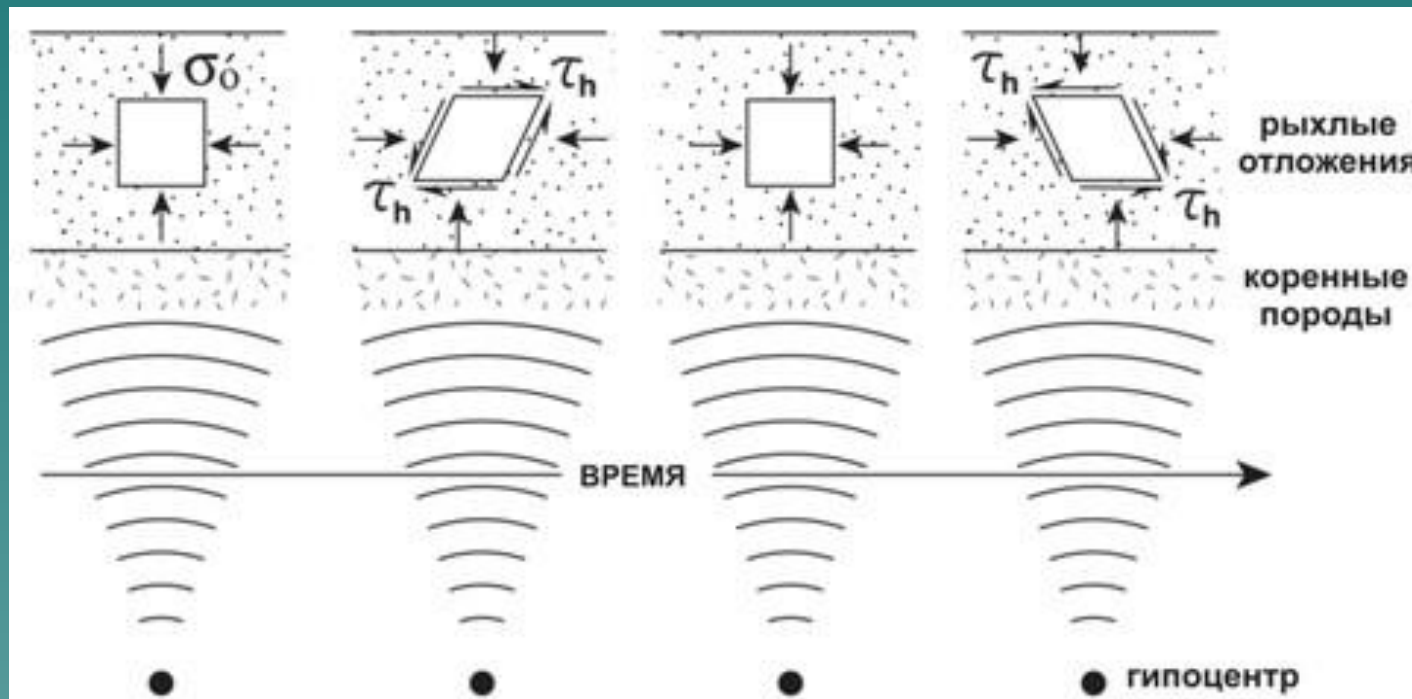
В результате землетрясения возникают колебания частиц грунта и контакты между ними разрываются. При этом высвобождается вода, заполнявшая пространство между зернами, и грунты приобретают свойство жидкости с взвешенными частицами.



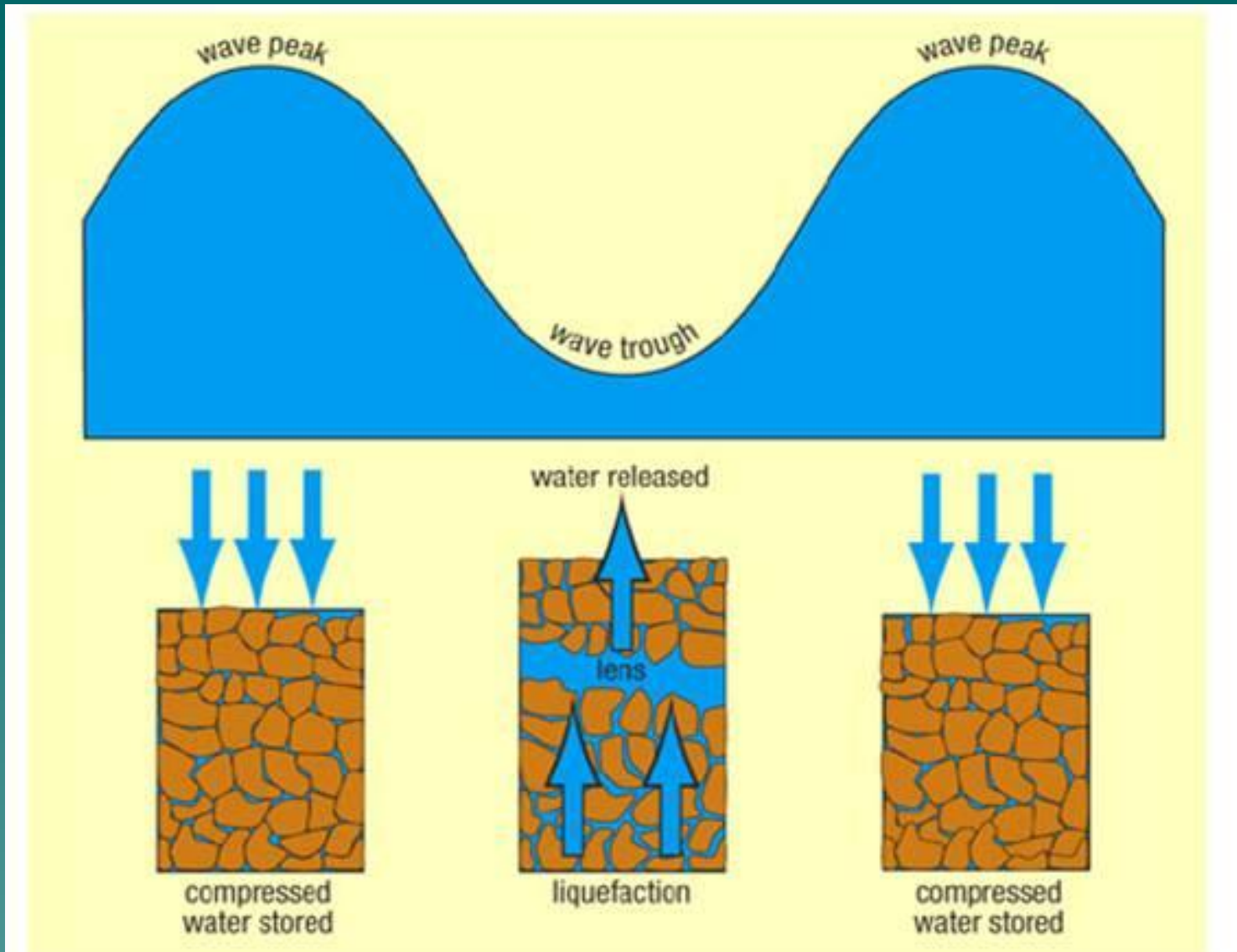
# Схема сейсмогенного разжижения грунтов



Основным механизмом, определяющим сейсмогенное разжижение и деформирование грунтов, является циклическое изменение касательных напряжений, вызываемое прохождением сейсмических волн





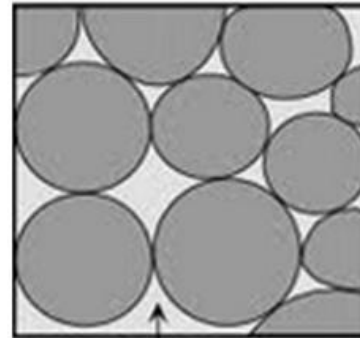


[http://www.gf.uns.ac.rs/~wus/wus07/web4/help\\_clip\\_image002.jpg](http://www.gf.uns.ac.rs/~wus/wus07/web4/help_clip_image002.jpg)



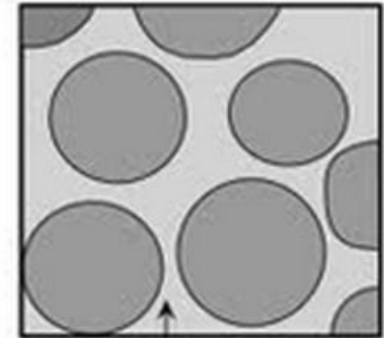
Fig. 1: Sunken car on liquefied soil

Water-Saturated Sediment



Water fills in the pore space between grains. Friction between grains holds sediment together.

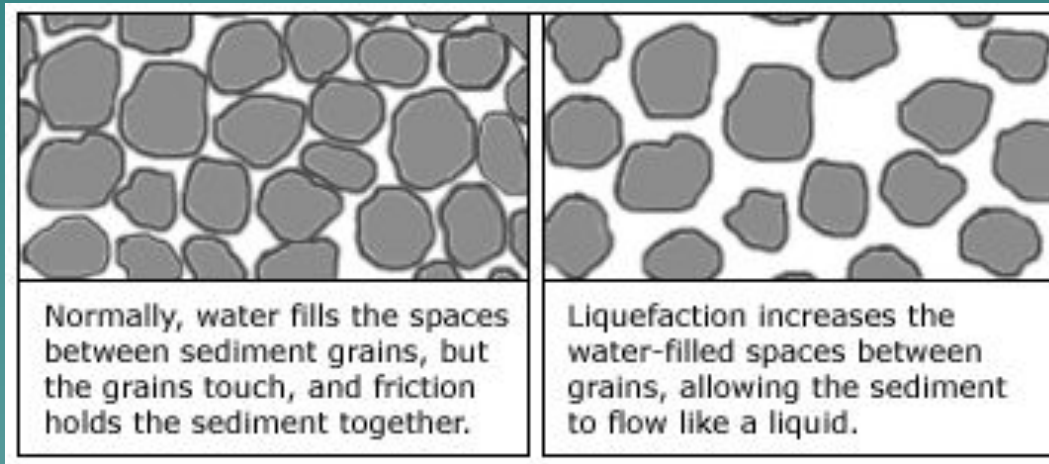
Liquefaction



Water completely surrounds all grains and eliminates all grain to grain contact. Sediment flows like a fluid.

Fig. 2: Mechanism of liquefaction phenomenon

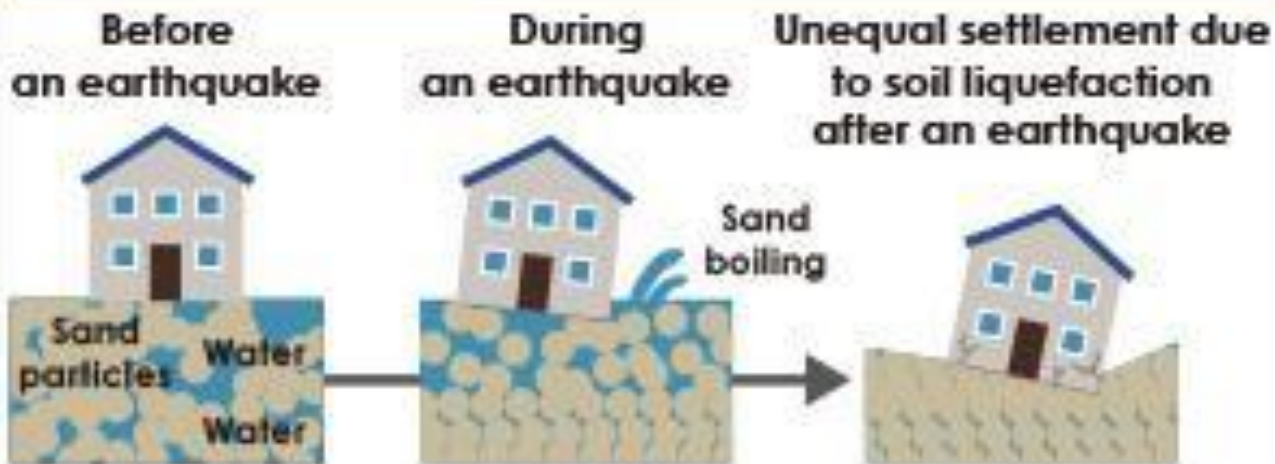
<https://resultanengineering.files.wordpress.com/2013/04/fig-seto-12.jpg>



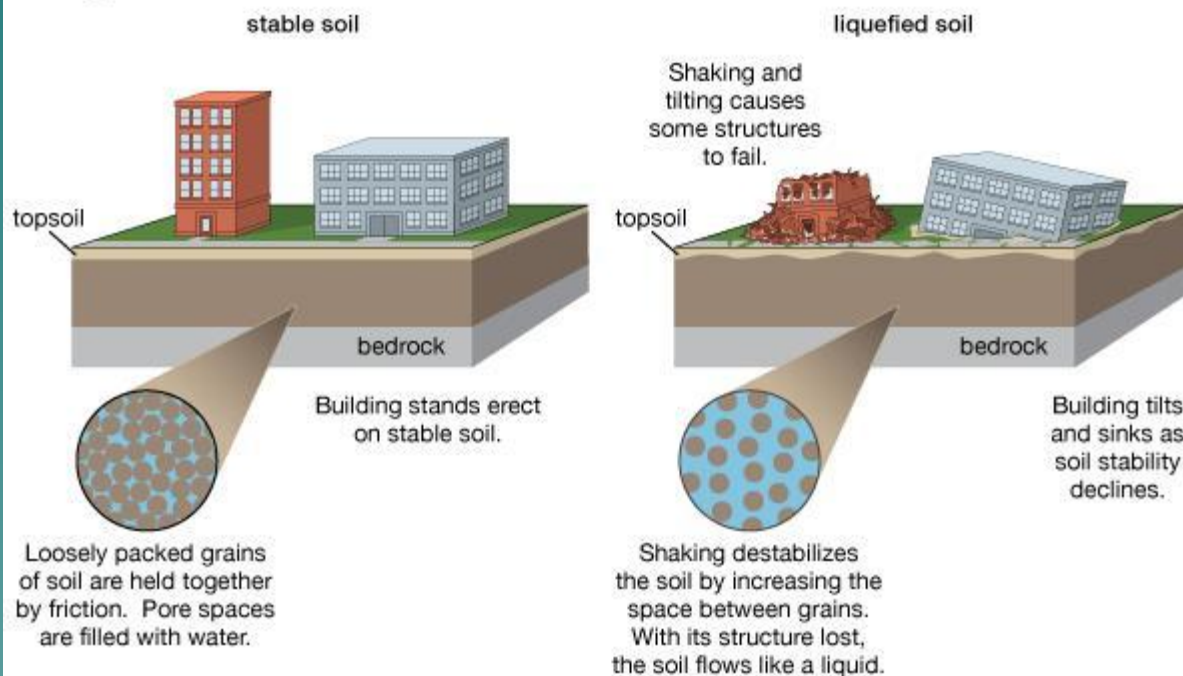
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Earthquake/Images/diagram.gif>

# Mechanism of soil liquefaction

[http://www.cti.co.jp/en/solution/cae/cae2/img/pic\\_02.jpg](http://www.cti.co.jp/en/solution/cae/cae2/img/pic_02.jpg)



## Soil liquefaction



<https://media1.britannica.com/eb-media/84/152184-004-AB89F2BA.jpg>

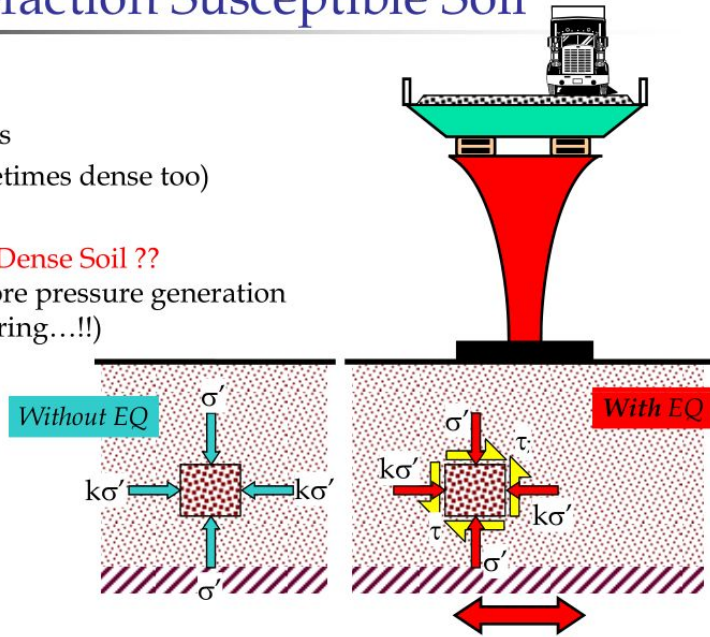


[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/Liquefaction\\_at\\_Niigata.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/Liquefaction_at_Niigata.JPG)

# Liquefaction Susceptible Soil

## Soil

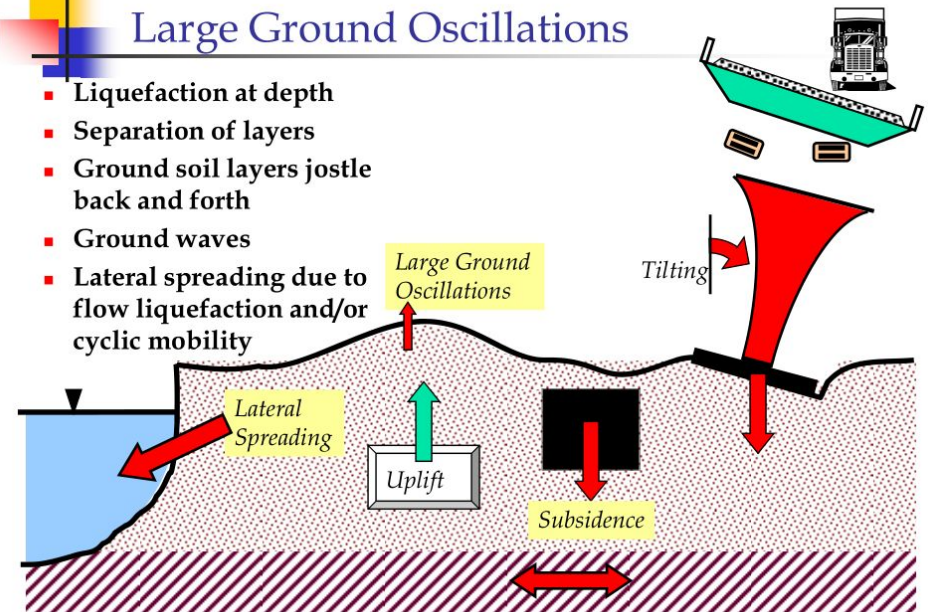
- Cohesionless
- Loose (sometimes dense too)
- Saturated
- Why not in Dense Soil ??  
(negative pore pressure generation during shearing...!!)



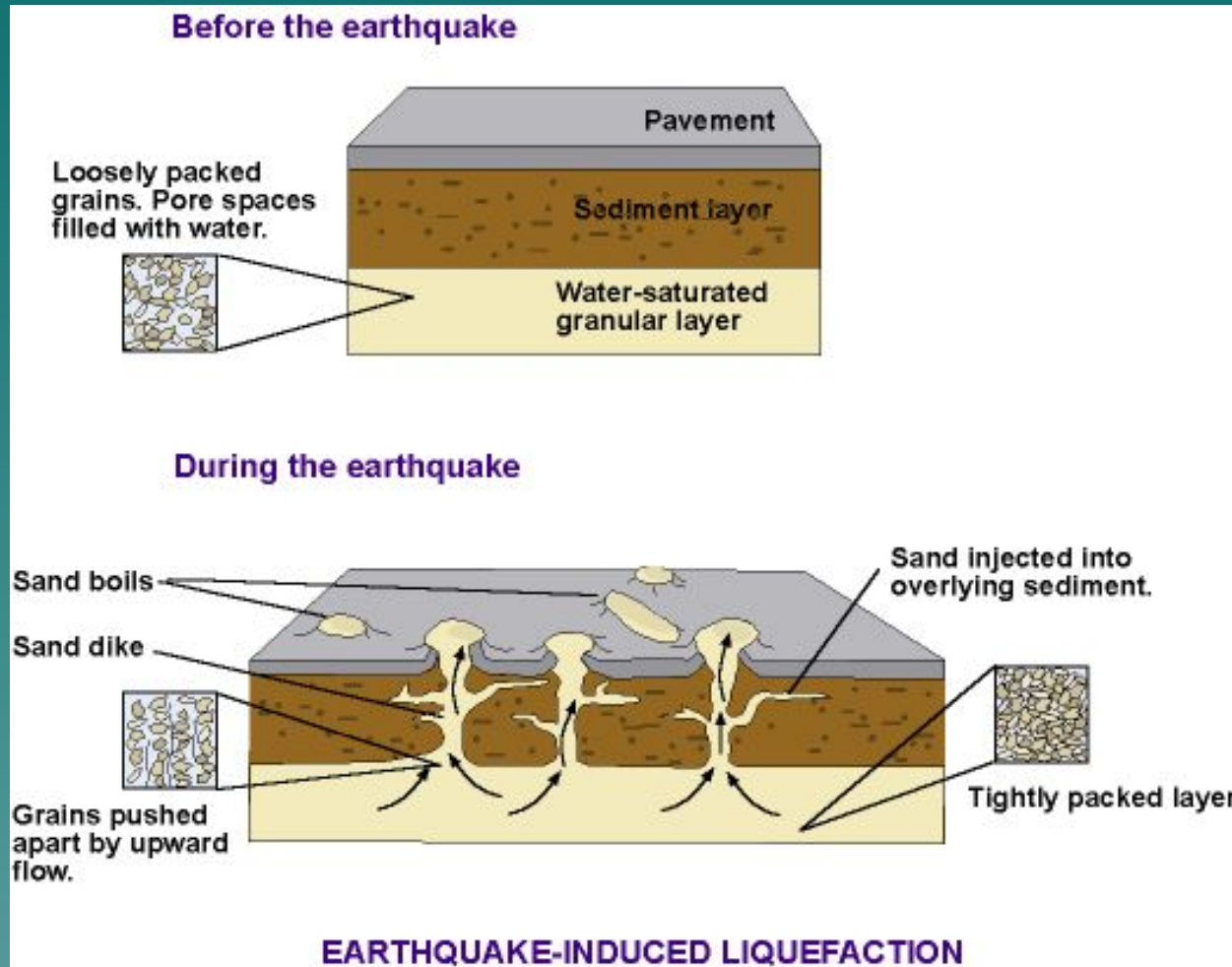
Ajanta Sachan  
Assistant Professor  
Civil Engineering  
IIT Gandhinagar

## Large Ground Oscillations

- Liquefaction at depth
- Separation of layers
- Ground soil layers jostle back and forth
- Ground waves
- Lateral spreading due to flow liquefaction and/or cyclic mobility



# При сейсмогенном разжижении песчаных грунтов нередко образуются «КОТЛЫ КИПЕНИЯ»



# «КОТЕЛ КИПЕНИЯ»



[http://2.bp.blogspot.com/-qRBL9SaQK0M/UjI9k\\_Rw6uI/AAAAAAAAAt8/fv69jd\\_13mM/s1600/D01\\_2569.jpg](http://2.bp.blogspot.com/-qRBL9SaQK0M/UjI9k_Rw6uI/AAAAAAAAAt8/fv69jd_13mM/s1600/D01_2569.jpg)

# «КОТЕЛ КИПЕНИЯ»

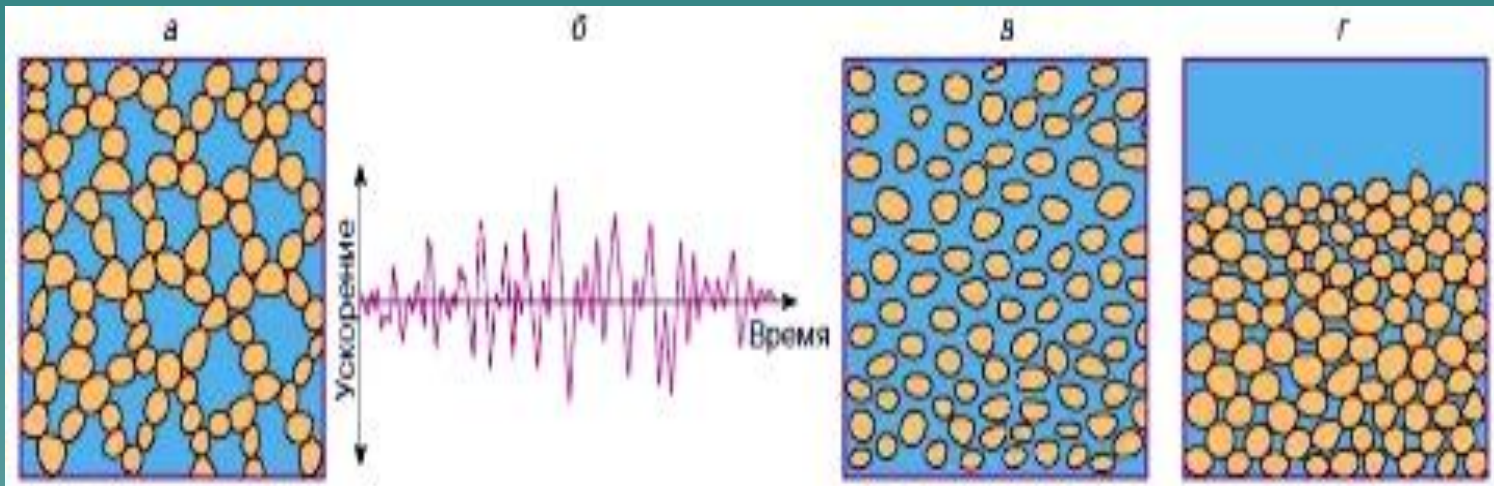


[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/Soil\\_liquefaction\\_\(24399502593\).jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/Soil_liquefaction_(24399502593).jpg)



Выделяются следующие этапы сейсмогенного разжижения грунтов:

- ◆ разрушение структуры
- ◆ собственно разжижение несвязного грунта
- ◆ последующее уплотнение грунта с отжатием части воды (с уменьшением объема грунта и понижением дневной поверхности)



- ◆ **Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации ОСР-97**
- ◆ **СПИСОК НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ Российской Федерации, расположенных в сейсмических районах, с указанием расчетной сейсмической интенсивности в баллах шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий и трех степеней сейсмической опасности - А (10%), В (5%), С (1%) в течение 50 лет**

# Мурманская область

Название	А	В	С
<u>Мурманская обл.</u>			
<u>Алакуртти</u>	6	6	7
<u>Апатиты</u>		6	7
<u>Заполярный</u>	6	6	7
<u>Зеленоборский</u>	6	6	7
<u>Кандалакша</u>	6	6	7
<u>Каневка</u>		6	7
<u>Кировск</u>		6	7
<u>Ковдор</u>	6	6	7
<u>Кола</u>		6	7
<u>Краснощелье</u>		6	7
<u>Лесозаводский</u>	6	6	8
<u>Ловозеро</u>		6	7
<u>Мончегорск</u>		6	7
<u>Мурманск</u>		6	7
<u>Мурмаши</u>		6	7
<u>Никель</u>	6	6	7
<u>Оленегорск</u>		6	7
<u>Оленица</u>	6	6	7
<u>Печенга</u>	6	6	7
<u>Полярные Зори</u>	6	6	7

# Что означают цифры в Таблице?

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Степень сейсмической опасности **A, B и C** соответствует вероятности 10%, 5% и 1% **превышения** сейсмической интенсивности 6, 7, 8, 9 и  $\geq 10$  баллов (в таблице условно показано цифрой 10) в каждом из пунктов в течение 50 лет. Эти же оценки отражают 90%-ную вероятность **непревышения** указанных для пунктов значений интенсивности в течение следующих интервалов времени - 50 (A), 100 (B) и 500 (C) лет. Они же соответствуют повторяемости таких сотрясений в каждом пункте в среднем один раз в 500, 1000 и 5000 лет.

# Карты сейсмического районирования

- ◆ **КОМПЛЕКТ КАРТ общего сейсмического районирования территории Российской Федерации - ОСР-97**
- ◆ Карты ОСР-97-А, ОСР-97-В и ОСР-97-С отражают 10%-, 5%- и 1%-ную вероятность превышения (или 90%-, 95%- и 99%-ную вероятность непревышения) в течение 50 лет интенсивности сейсмических воздействий, указанных на картах цифрами в баллах шкалы MSK-64, и соответствует повторяемости сейсмических сотрясений в среднем один раз в 500 (карта А), 1000 (В) и 5000 (С) лет.
- ◆ Карты построены для средних грунтовых условий (II категории по табл. 1)

# Категория А

ОСР-2016-А

## ОБЩЕЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МАКСИМАЛЬНАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОТЯСЕНИЙ (I, баллы) 10%-ная вероятность превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет (период повторяемости сотрясений – 500 лет).



Ответственные редакторы:

В.И.Уломов - © ИФЗ РАН  
М.И.Богданов - © ООО ИГИИС

Интенсивность сейсмических сотрясений в баллах



0 280 560 1 120 1 680 2 240 Километры

# Категория В

ОСР-2016-В

**ОБЩЕЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
МАКСИМАЛЬНАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОТЯСЕНИЙ (I, баллы) 5%-ная вероятность превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет (период повторяемости сотрясений – 1000 лет).



Ответственные редакторы:

В.И.Уломов - © ИФЗ РАН  
М.И.Богданов - © ООО ИГИИС

Интенсивность сейсмических сотрясений в баллах

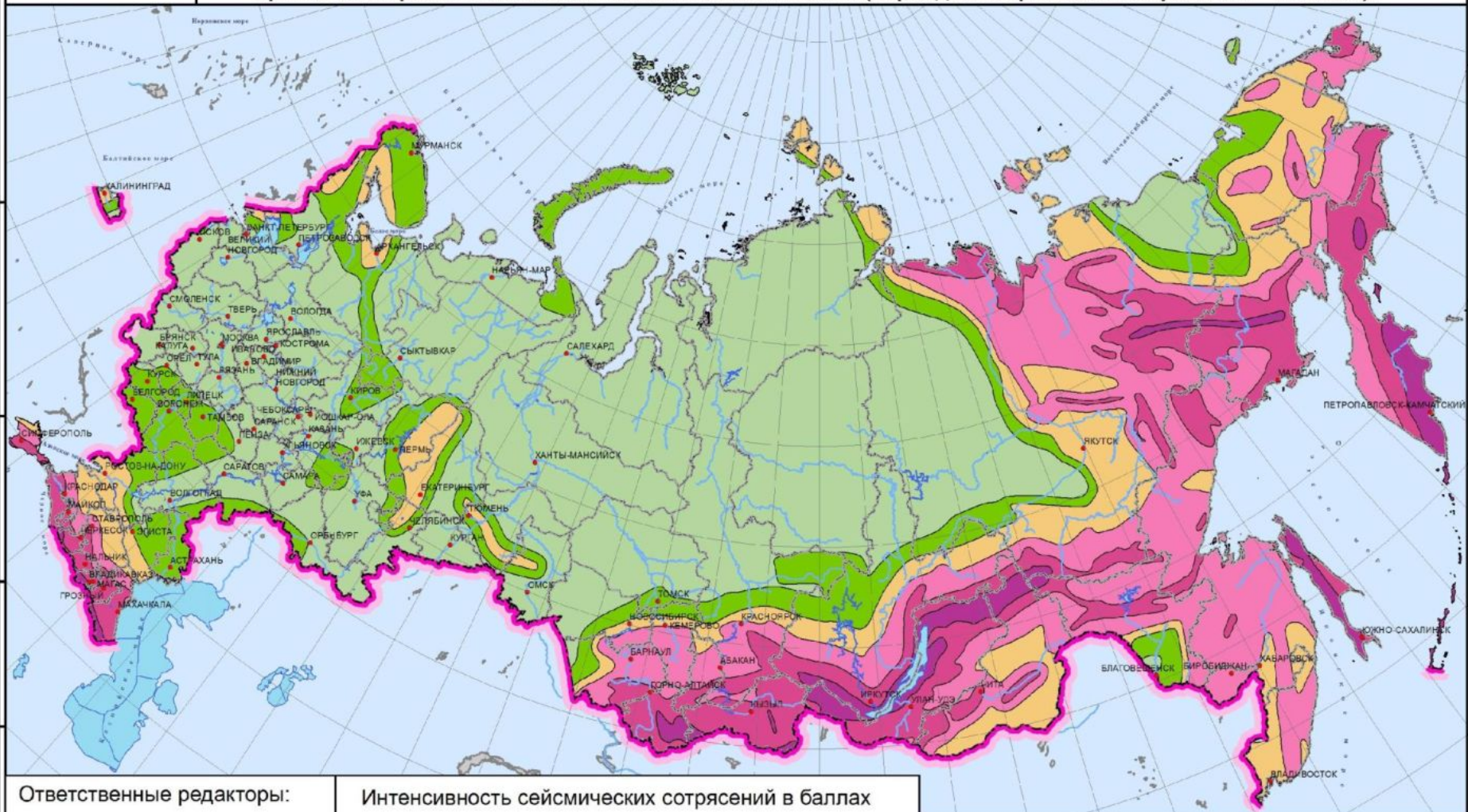


0 280 560 1120 1680 2240 Километры

# Категория С

ОСР-2016-С

**ОБЩЕЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
МАКСИМАЛЬНАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОТЯСЕНИЙ (I, баллы) 1%-ная вероятность превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет (период повторяемости сотрясений – 5000 лет).



Ответственные редакторы:

В.И.Уломов - © ИФЗ РАН  
М.И.Богданов - © ООО ИГИИС

Интенсивность сейсмических сотрясений в баллах




0 280 560 1 120 1 680 2 240 Километры



# Сейсмическое микрорайонирование

Сейсмическое микрорайонирование-  
детализация сейсмического воздействия на  
грунты в пределах участка строительства.

Оценивается изменение балльности  
сейсмического воздействия на грунта в  
зависимости от их свойств относительно  
номинальной балльности района  
строительства.



# СП 14.13330.2011, Таблица 1.

Таблица 1 -- Сейсмичность площадки строительства

Категория грунта по сейсмическим свойствам	Грунты	Дополнительная информация о скоростях сейсмических волн		Сейсмичность площадки строительства при сейсмичности района, баллы		
		Скорость поперечных волн $V_s$ , м/с	Отношение скоростей продольных $V_p$ и поперечных $V_s$ волн $V_p/V_s$	7	8	9
I	Скальные грунты всех видов (в том числе вечномерзлые и вечномерзлые оттаявшие) <u>невыветрелые</u> и <u>слабовыветрелые</u> : крупнообломочные грунты плотные маловлажные из магматических пород, содержащие до 30% песчано-глинистого заполнителя: <u>выветрелые</u> и <u>сильновыветрелые</u> скальные и <u>нескальные</u> твердомерзлые (вечномерзлые) грунты при температуре минус 2 °С и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I (сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии)	$\geq 700$	1,7-2,2	6	7	8

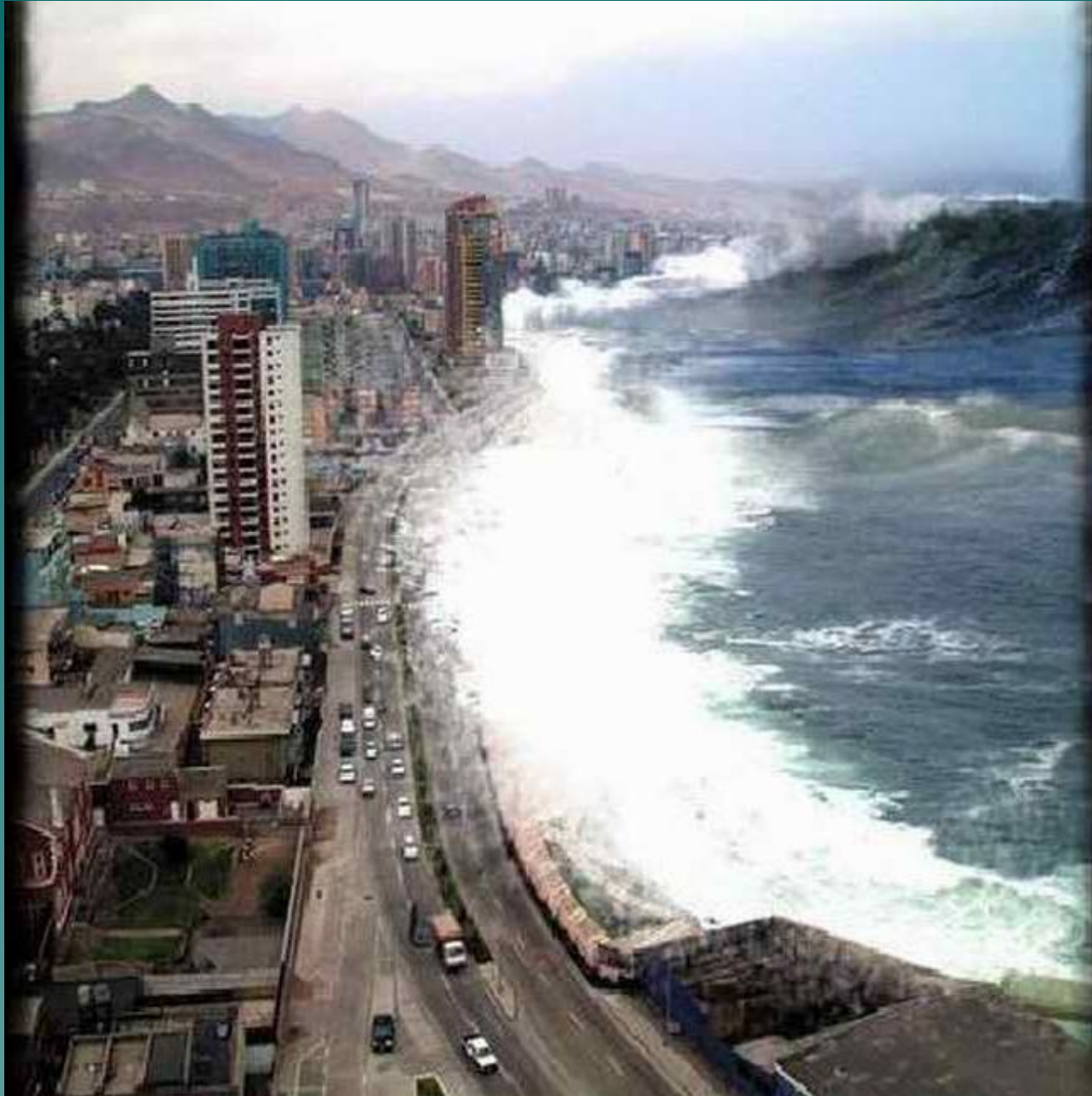
Категория грунта по сейсмическим свойствам	Грунты	Дополнительная информация о скоростях сейсмических волн		Сейсмичность площадки строительства при сейсмичности района, баллы		
		Скорость поперечных волн $V_s$ , м/с	Отношение скоростей продольных $V_p$ и поперечных $V_s$ волн $V_p/V_s$	7	8	9
II	Скальные грунты: <u>выветрелые</u> и <u>сильновыветрелые</u> в том числе вечномерзлые, кроме отнесенных к категории I; крупнообломочные грунты, содержащие более 30% песчано-глинистого заполнителя с преобладанием контактов между обломками; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; глинистые грунты с показателями консистенции $I_L \leq 0,5$ ; при коэффициенте пористости $e < 0,9$ для глин и суглинков и $e < 0,7$ для супесей; вечномерзлые <u>нескальные</u> грунты <u>пластичномерзлые</u> и <u>сыпучемерзлые</u> , а также <u>твердомерзлые</u> при температуре выше минус 2 °С при строительстве и эксплуатации по принципу I	250-700	1,45-2,2 для неводонасыщенных 2,2-3,5 для водонасыщенных	7	8	9

# СП 14.13330.2011, Таблица 1.

Категория грунта по сейсмическим свойствам	Грунты	Дополнительная информация о скоростях сейсмических волн		Сейсмичность площадки строительства при сейсмичности района, баллы		
		Скорость поперечных волн $V_s$ , м/с	Отношение скоростей продольных $V_p$ и поперечных $V_s$ волн $V_p/V_s$	7	8	9
III	Пески рыхлые независимо от влажности и крупности; пески гравелистые, крупные и средней крупности; плотные и средней плотности; водонасыщенные; пески мелкие и пылеватые; плотные и средней плотности; влажные и водонасыщенные; глинистые грунты с показателем консистенции $I_L > 0,5$ ; глинистые грунты с показателем консистенции $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e \geq 0,9$ для глин и суглинков и $e \geq 0,7$ для супесей; вечномерзлые нескальные грунты при строительстве и эксплуатации по принципу II (допускается оттаивание грунтов основания)	150-250 60-150*	3,5-7 7-15*	8	9	>9

- ◆ Цунами- огромные разрушительной силы волны, возникающие при локальных изменениях уровня моря во время подводных землетрясений. Скорость их распространения достигает 400-800км/ч. Высота при подходе к берегам- до 15-30м и более (по некоторым источникам достигает 70м). В открытом море она не превышает нескольких м. Длина отдельных волн измеряется сотнями км.

# ΦΟΤΟ





Комментарии к фото на NewsInPhoto.ru



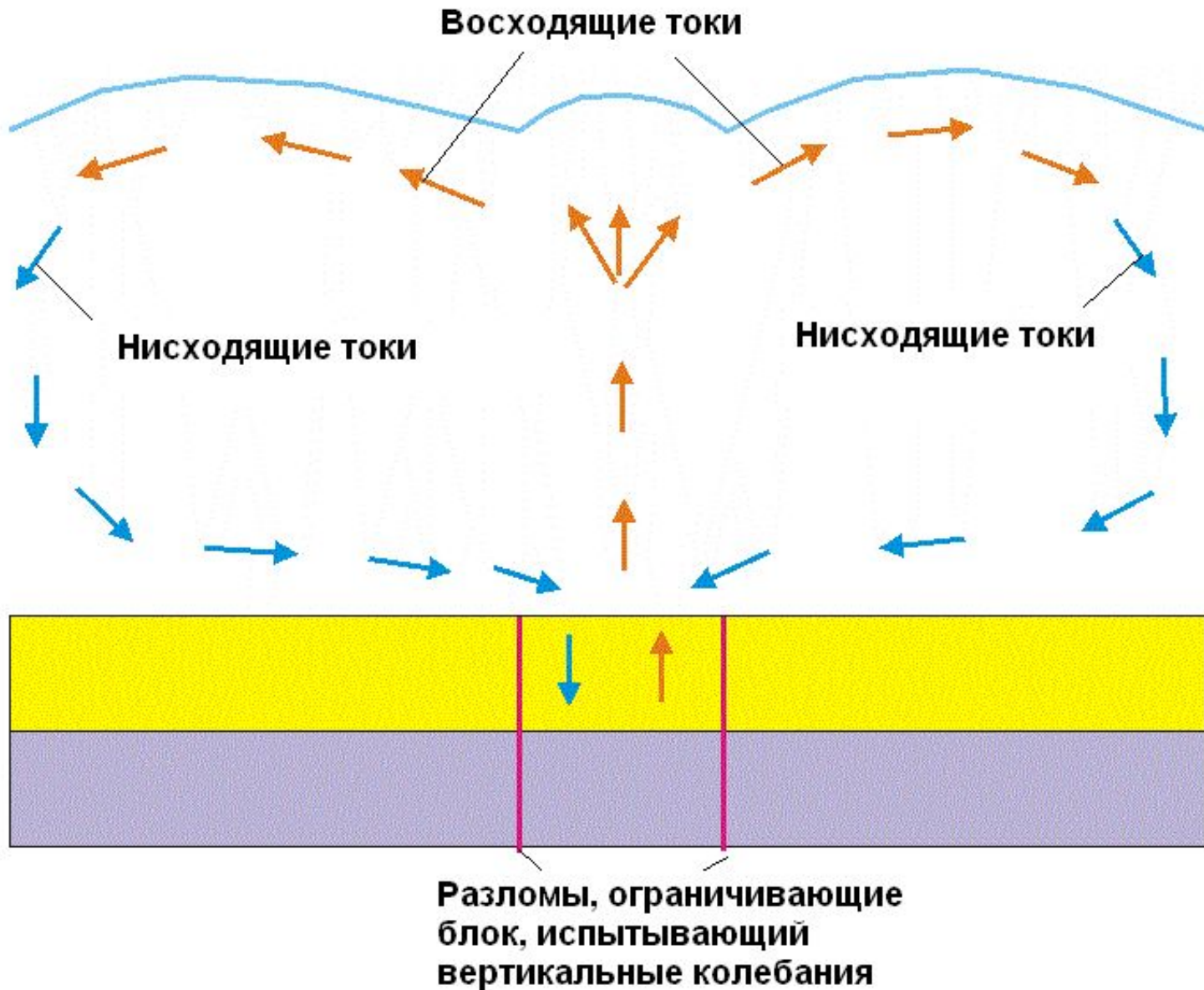
Комментарии к фото на NewsInPhoto.ru



Комментарии к фото на NewsInPhoto.ru

<http://alexretired.blogspot.com/2011/03/2.html>

# Механизм образования цунами

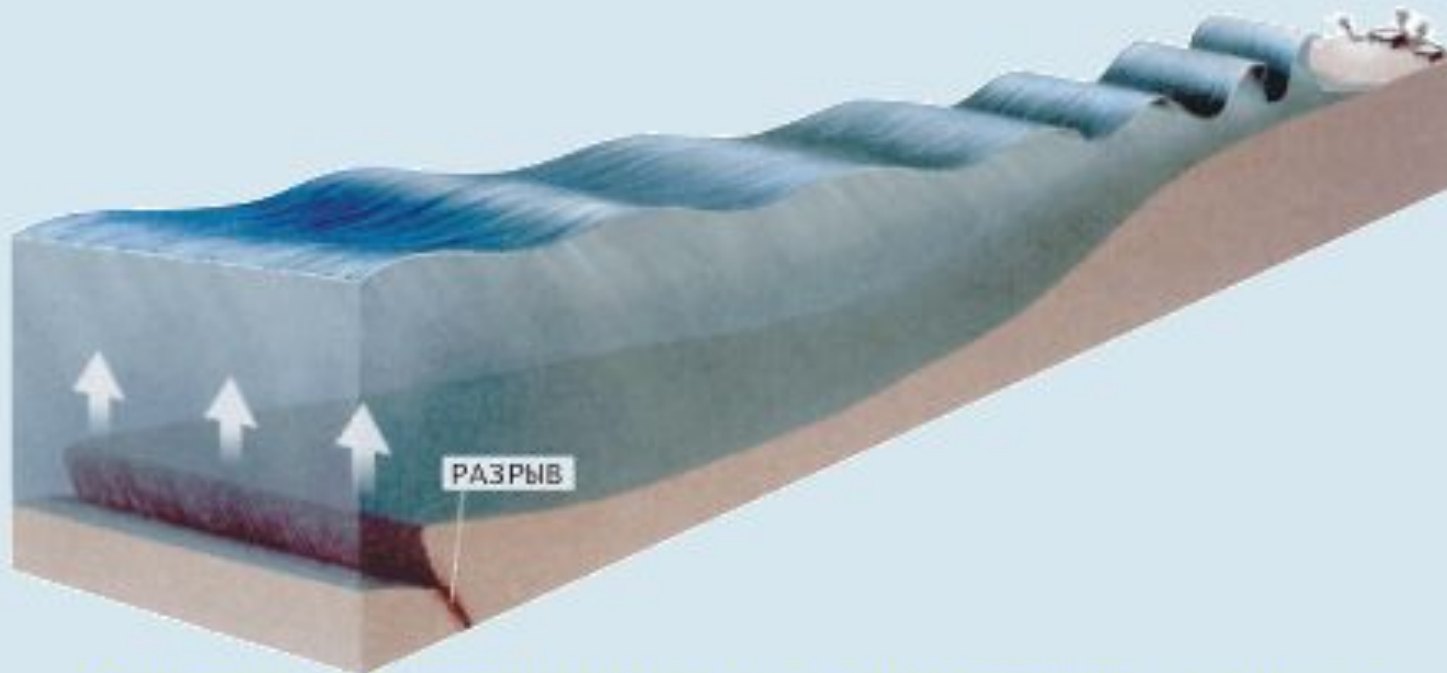


# Изменение формы волны в открытом море и в прибрежной части

В открытом море при океанических глубинах (более 1000м) на судне цунами практически не замечается, т.к. при большой длине имеет относительно незначительную высоту. При подходе к континентальному склону, где глубины резко уменьшаются, передовая часть волны тормозится, а тыловая, сохраняя прежнюю скорость, как бы наваливается на нее. В результате волна резко увеличивает свою высоту, уменьшая при этом длину. Если континентальный склон подходит вплотную к берегу, то на него обрушивается высокая волна. Если континентальный склон отделен от берега широким шельфом, то цунами не будет оказывать значимого воздействия на побережье.



# Схема



*Образование цунами при вертикальном движении океанического дна*

# Схема

