

Акустические

ВОЛНЫ

$$p' = \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_s \rho' = c^2 \rho'$$

**Волновое
уравнение**

$$\frac{\partial^2 F}{\partial t^2} - c^2 \Delta F = 0$$

$$\vec{v}' = \vec{\nabla} F$$

$$p' = -\rho_0 \frac{\partial F}{\partial t}$$

Эмпирическая зависимость скорости звука в воде от температуры T , солености S и глубины z (давления)

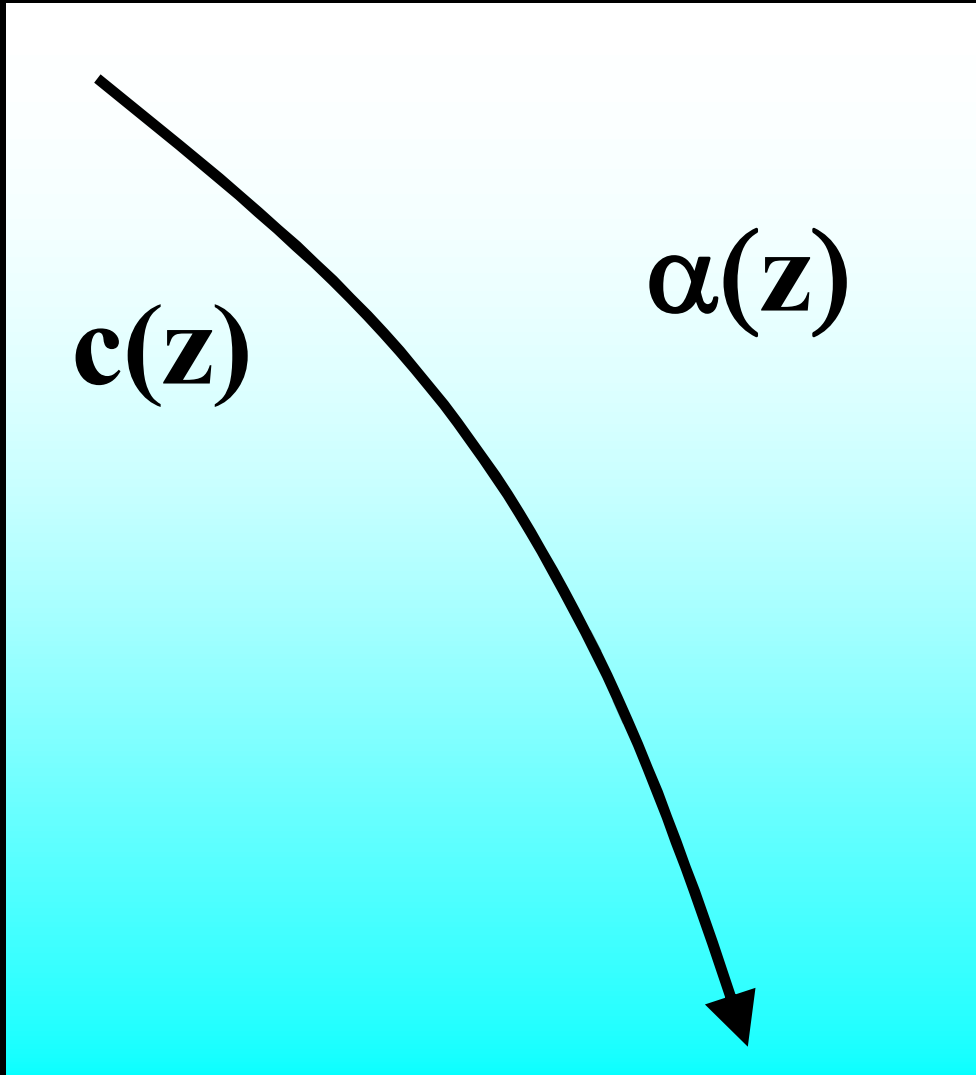
$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 \\ + (1.34 - 0.010T)(S - 35) + 0.016z.$$

$$1480 \text{ м/с} < c < 1545 \text{ м/с}$$

$$\frac{\partial c}{\partial T} > 0$$

$$\frac{\partial c}{\partial p} > 0$$

Рефракция



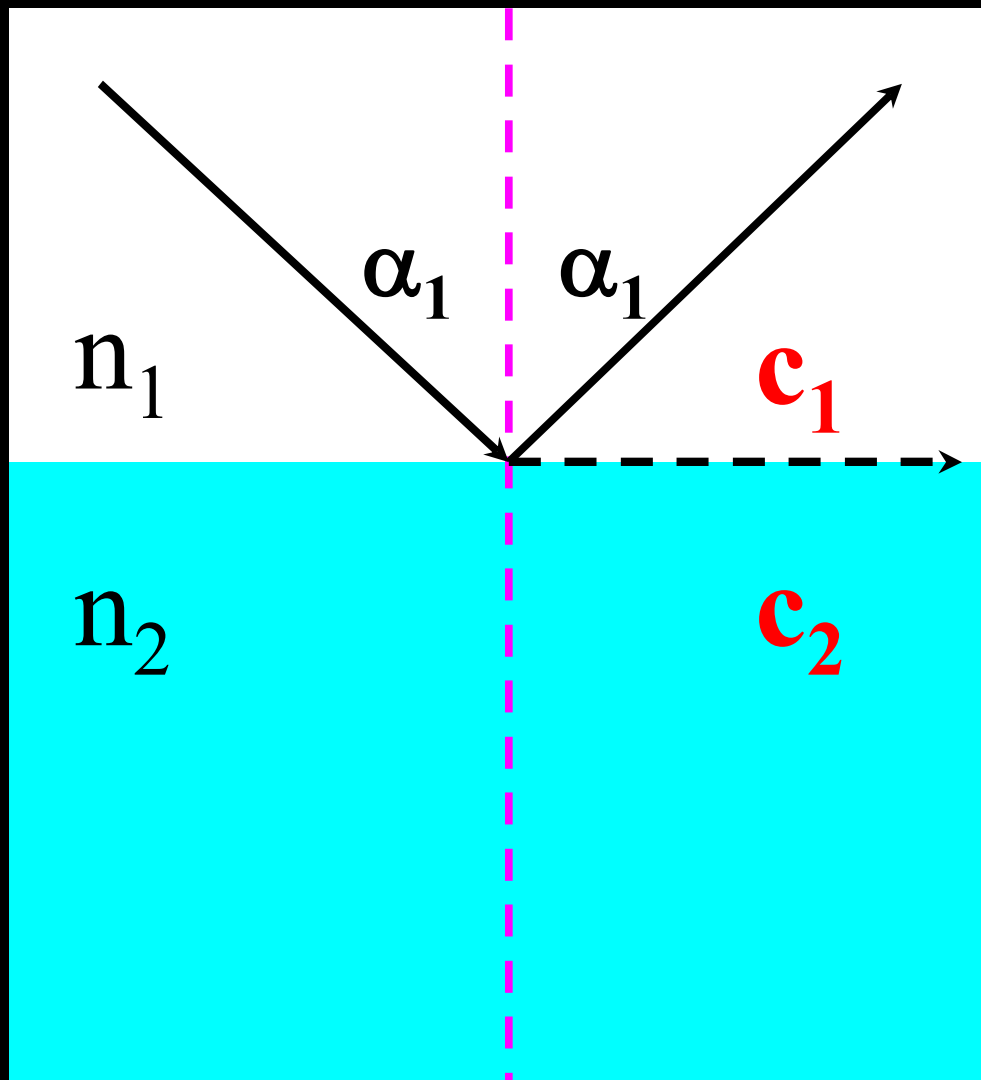
$$\frac{\sin \alpha_1}{c_1} = \frac{\sin \alpha_2}{c_2}$$

$$\frac{\sin \alpha_2}{c_2}$$

$$\frac{\sin \alpha(z)}{c(z)} = \text{const}$$

Рефракция – изменение направления волновых лучей в среде c (плавно) изменяющейся в пространстве скоростью

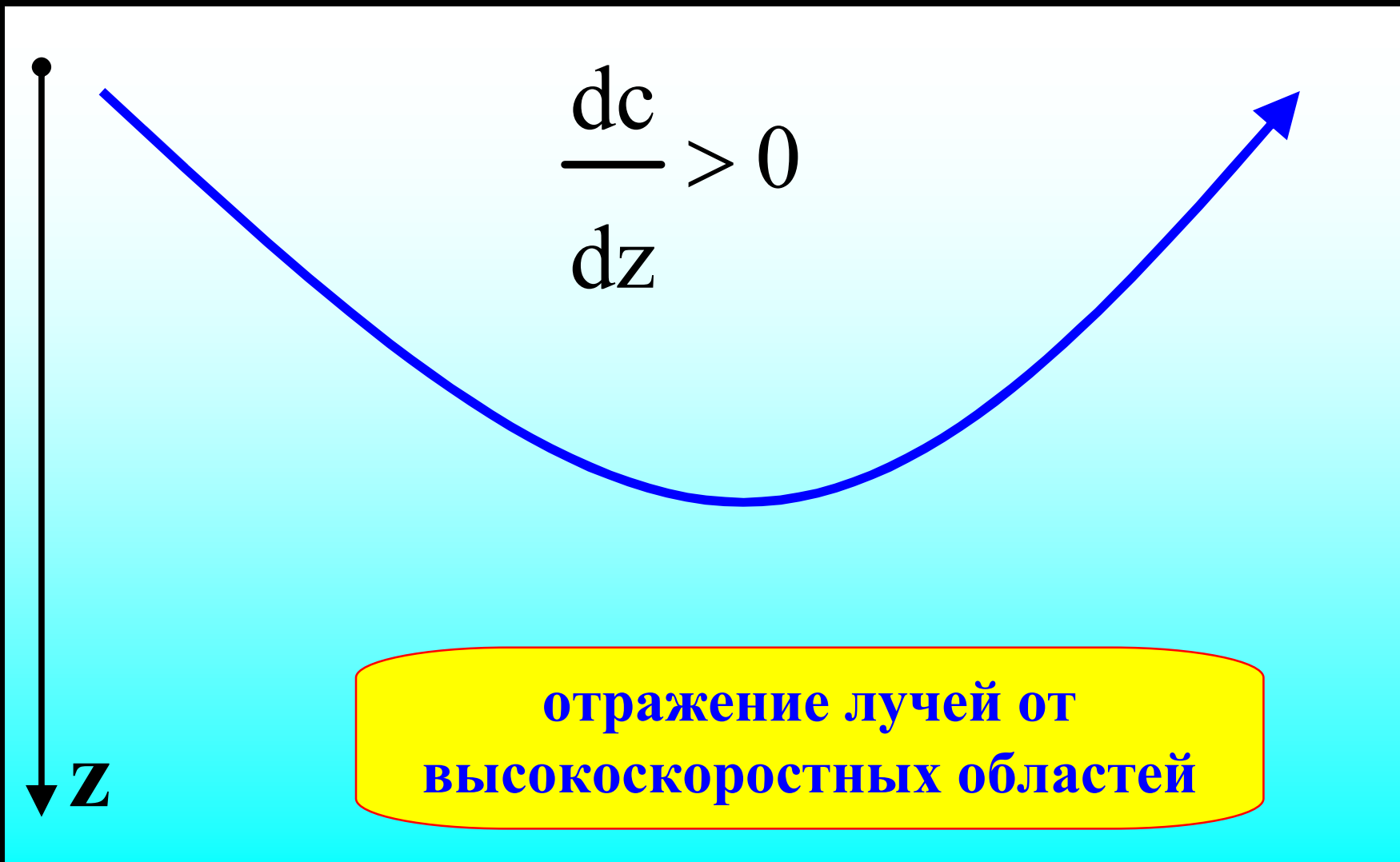
Полное внутреннее отражение



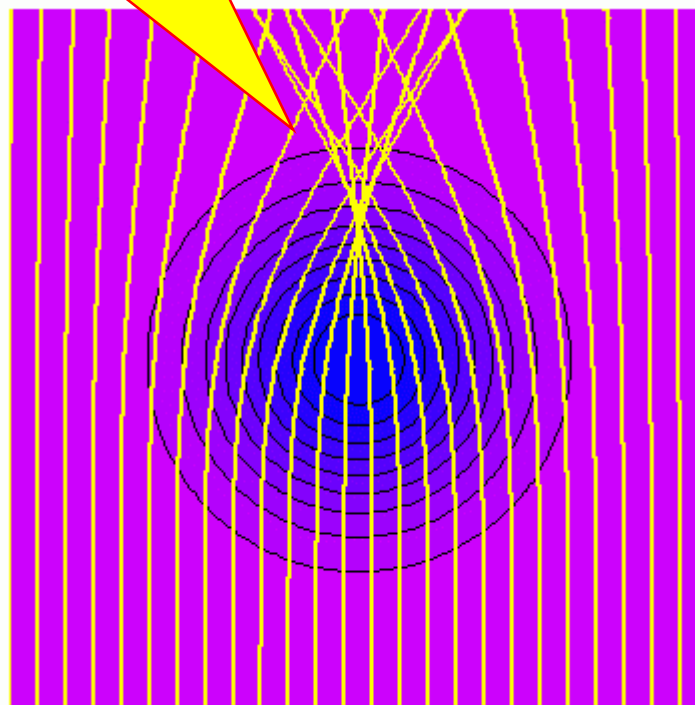
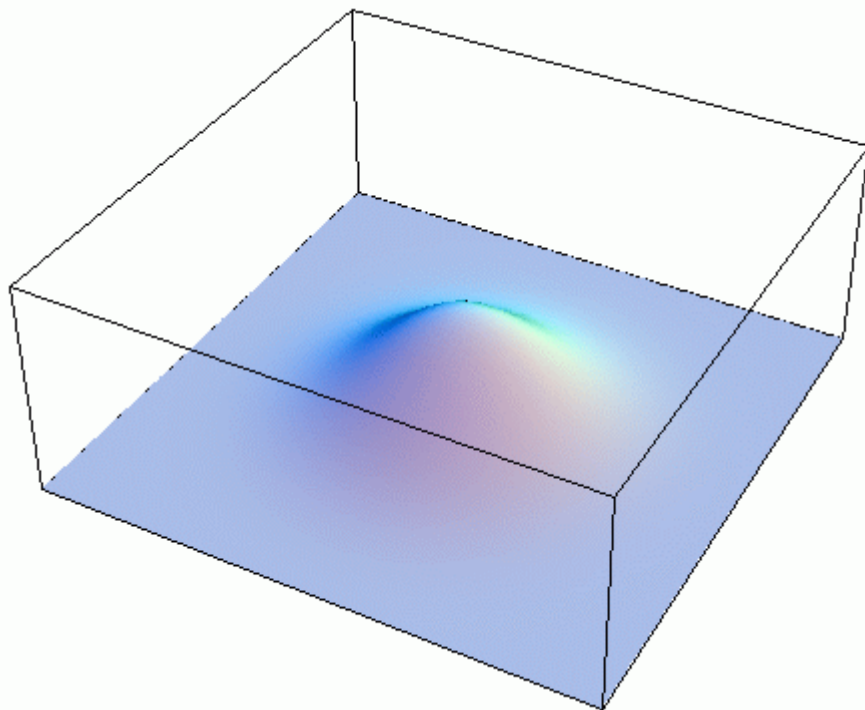
$$n_2 < n_1$$

$$c_2 > c_1$$

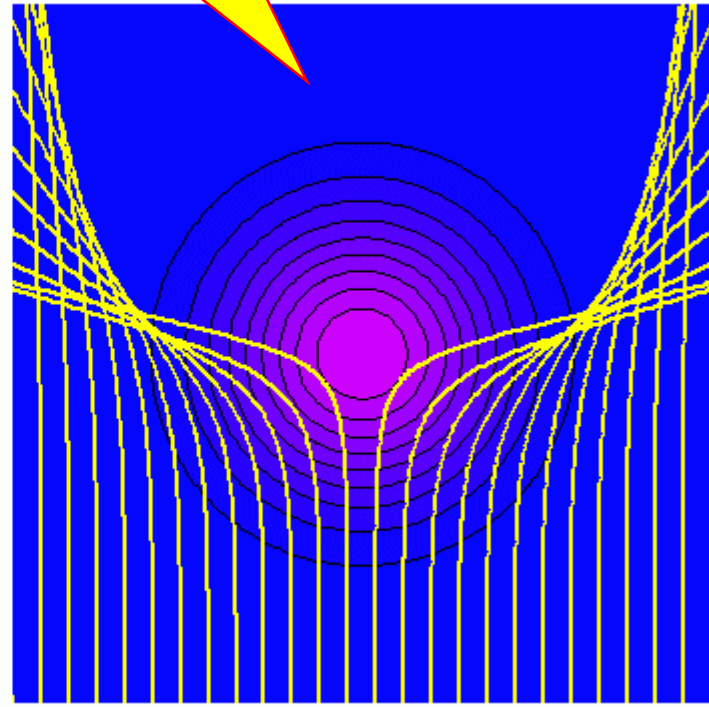
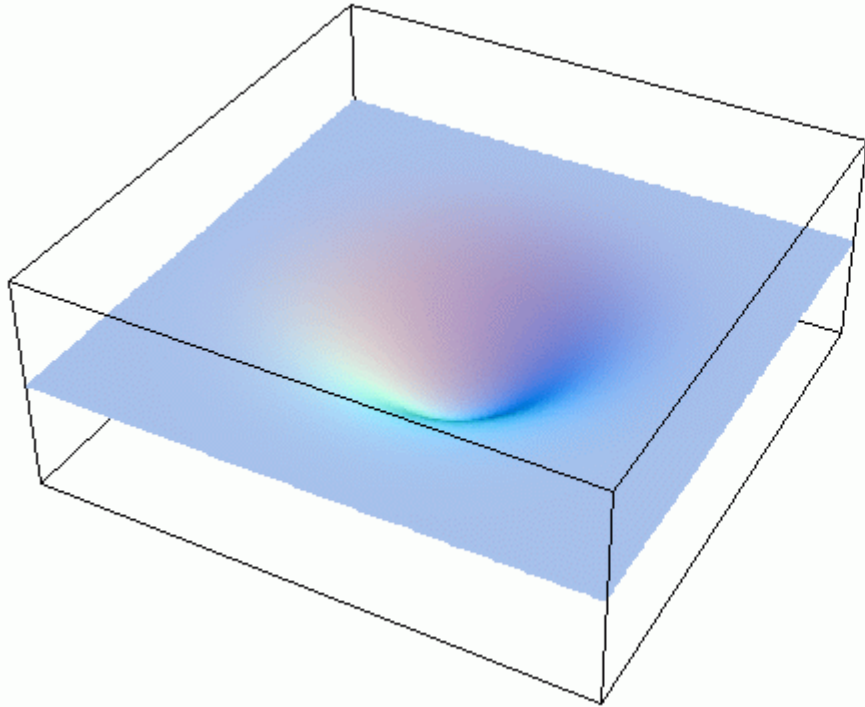
Полное внутреннее отражение



каустика

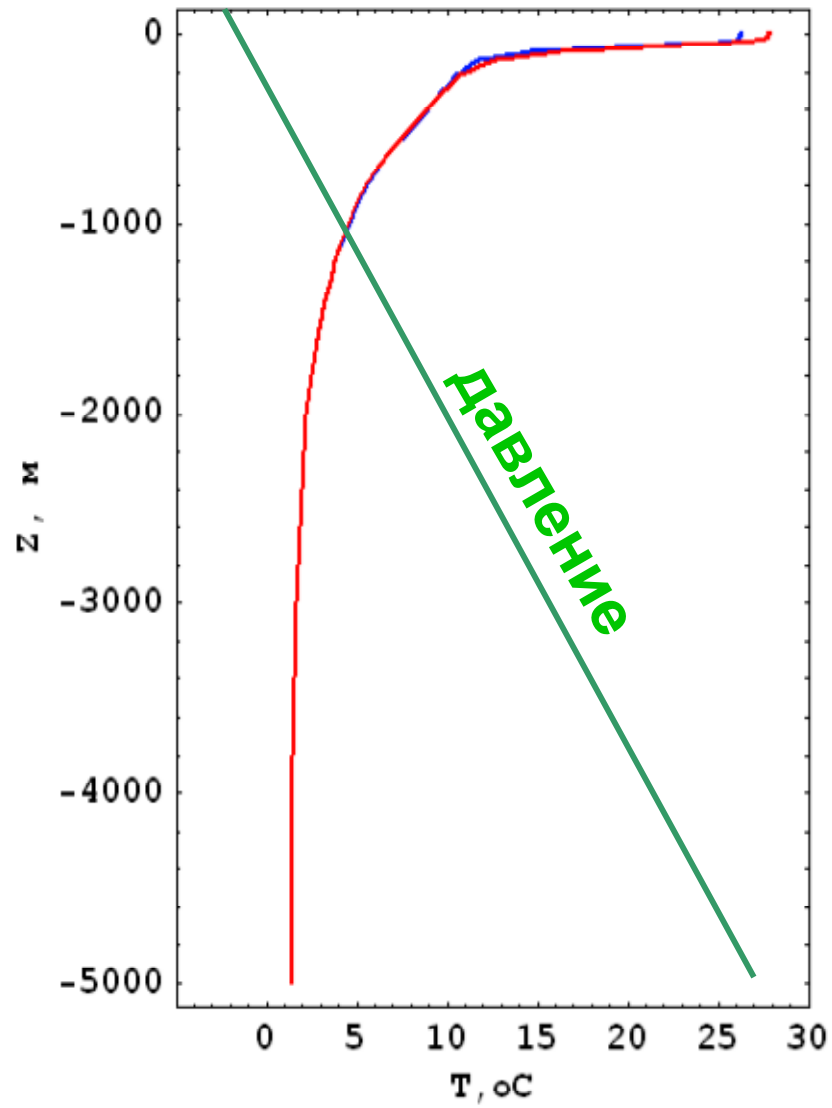


зона тени

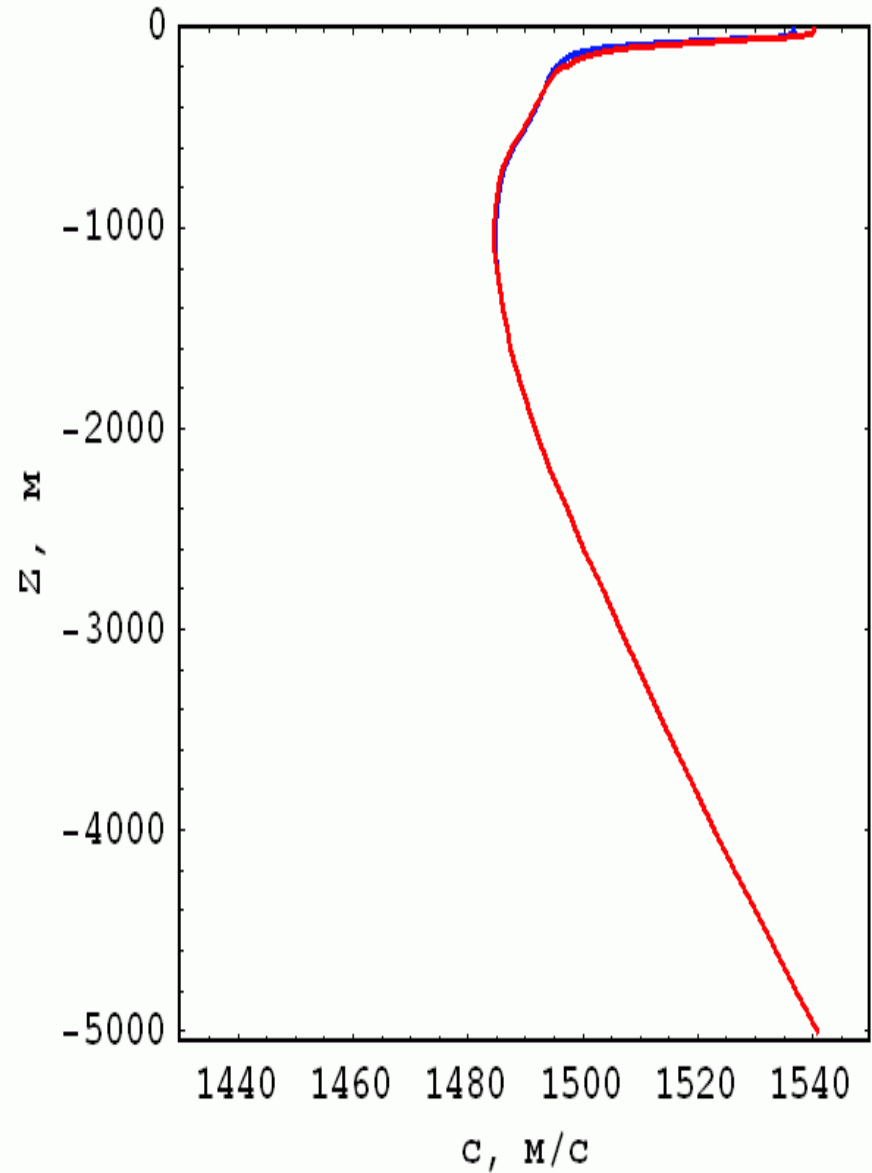


Lat=10 Lon=-150

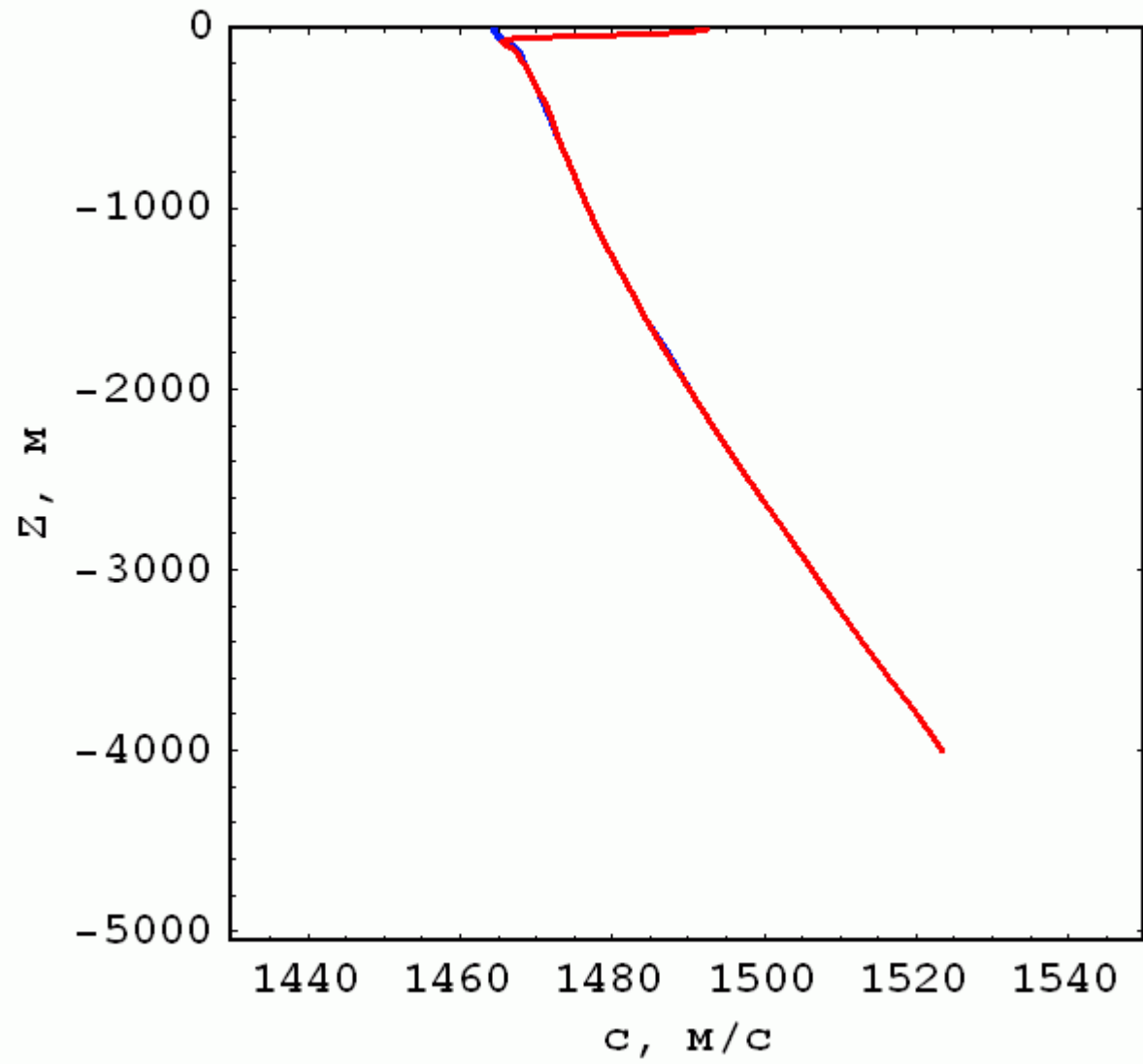
Температура



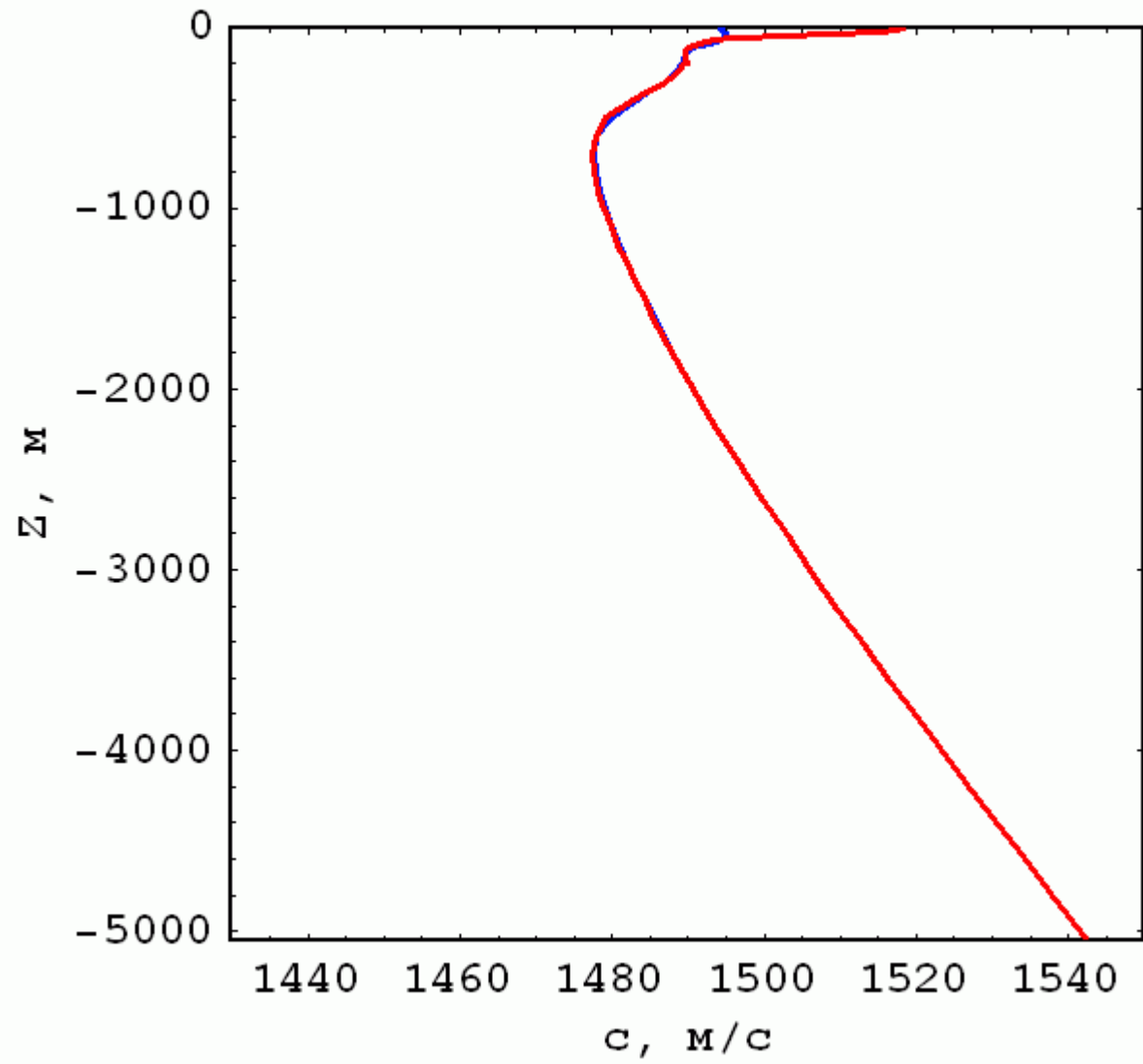
Скорость звука



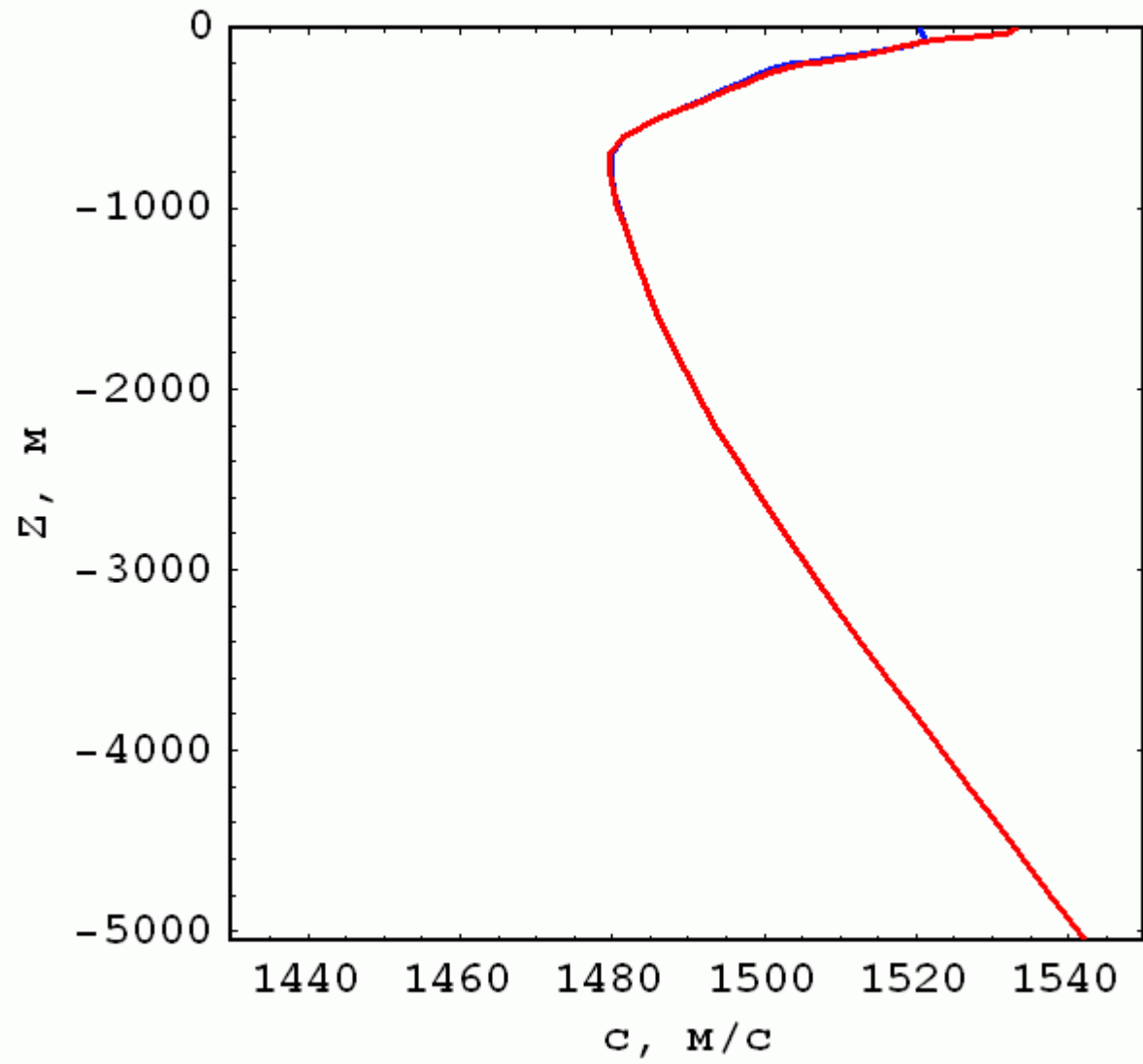
Lat=55 Lon=-150



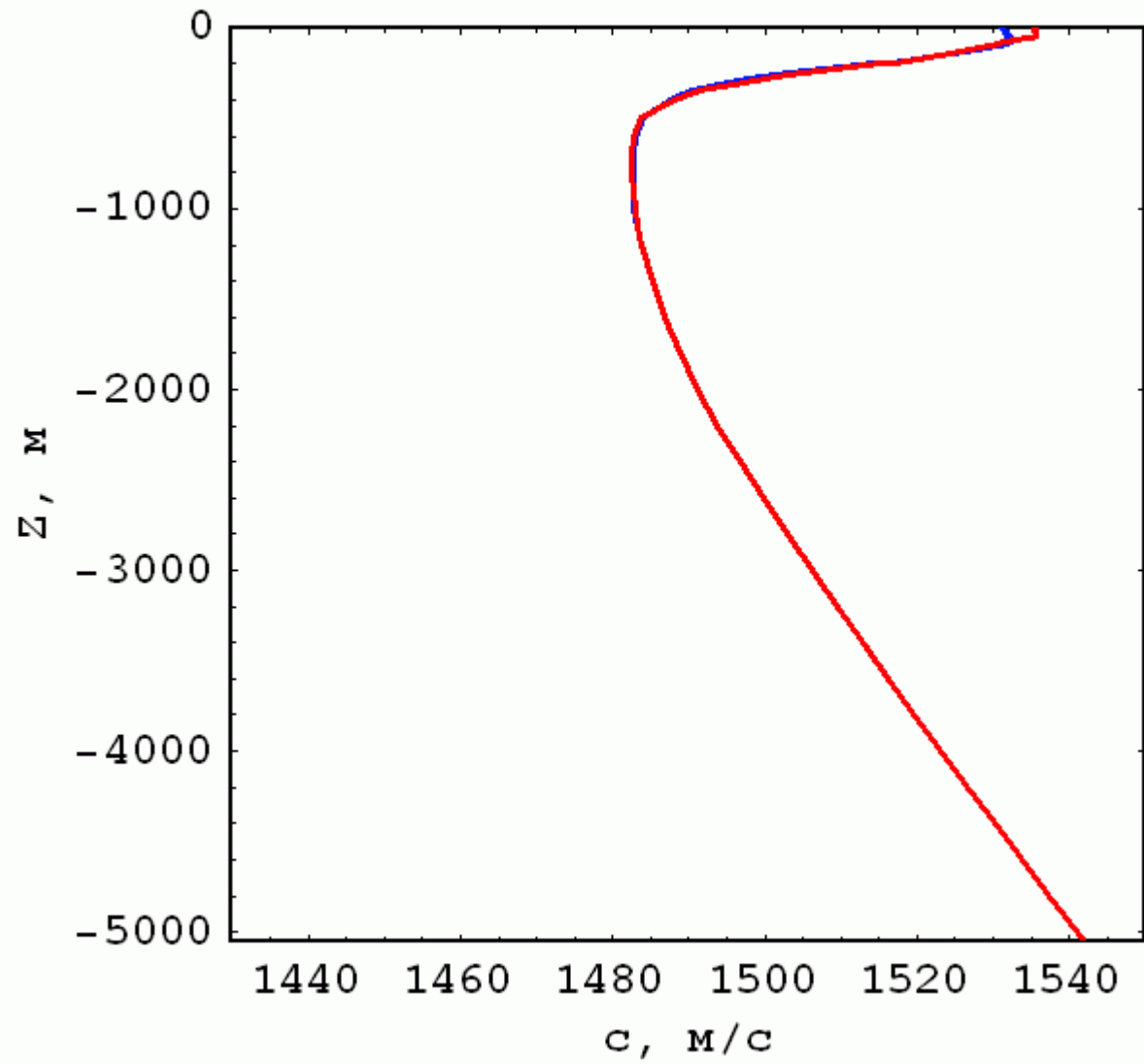
Lat=40 Lon=-150



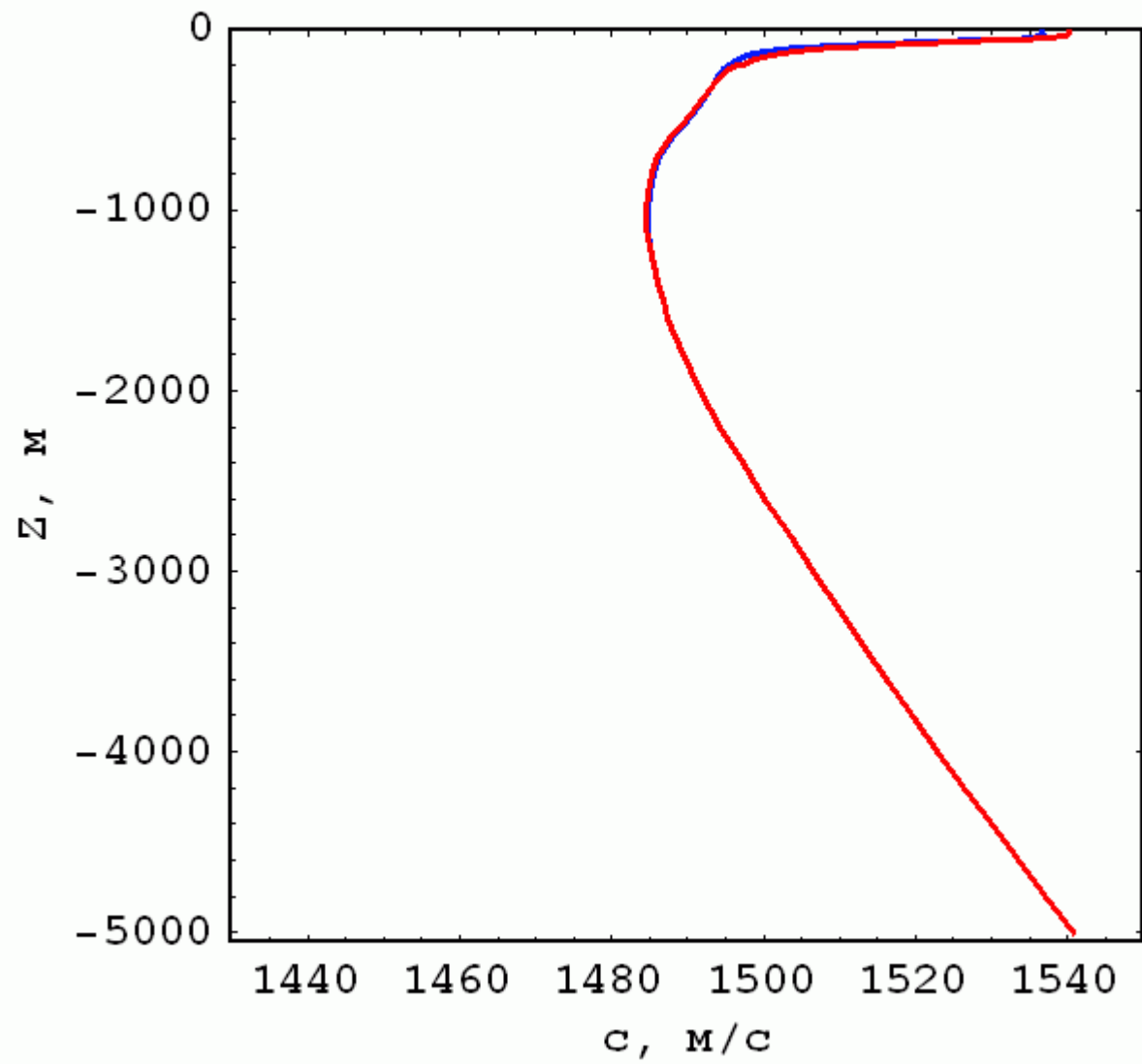
Lat=30 Lon=-150



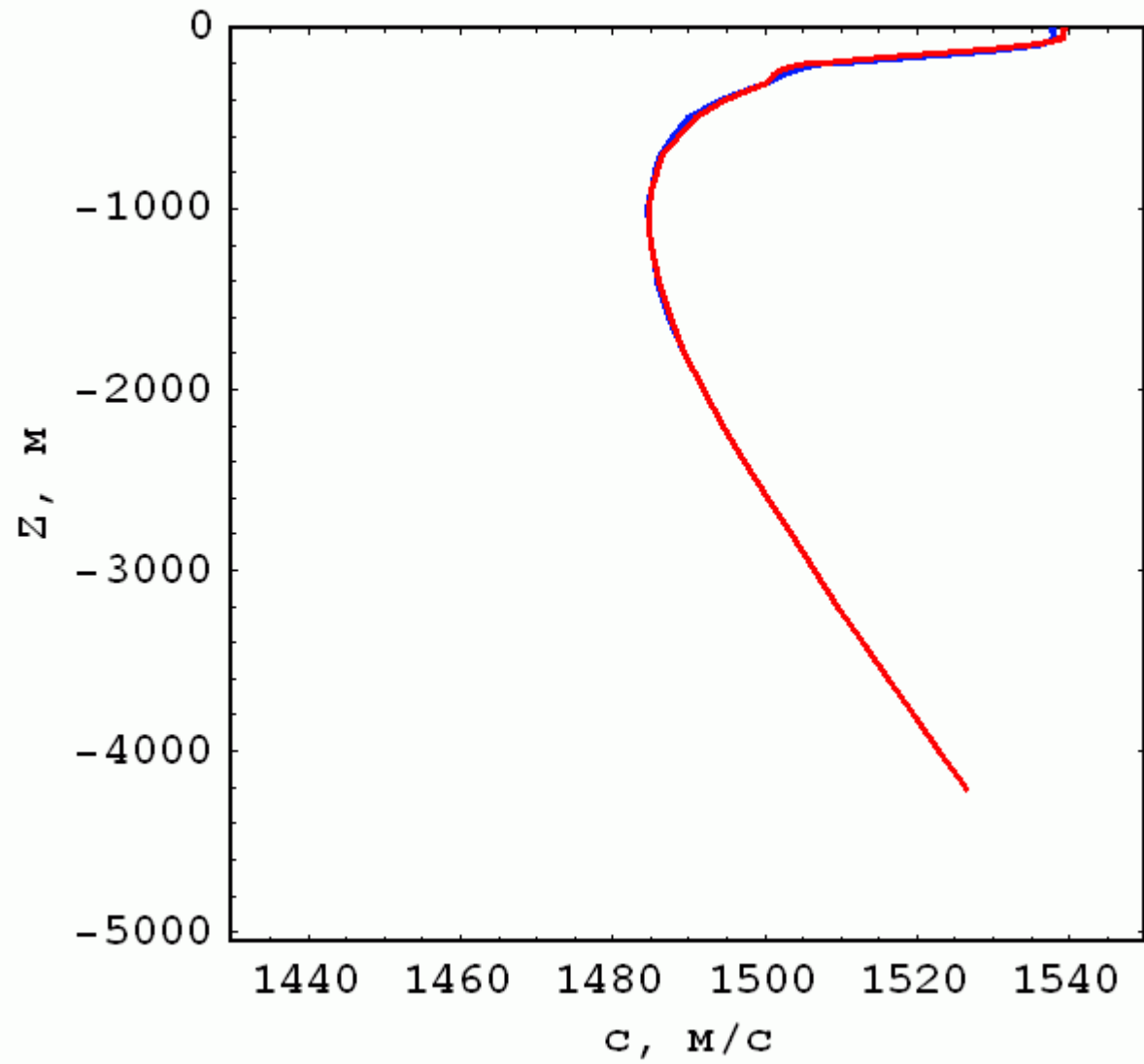
Lat=20 Lon=-150



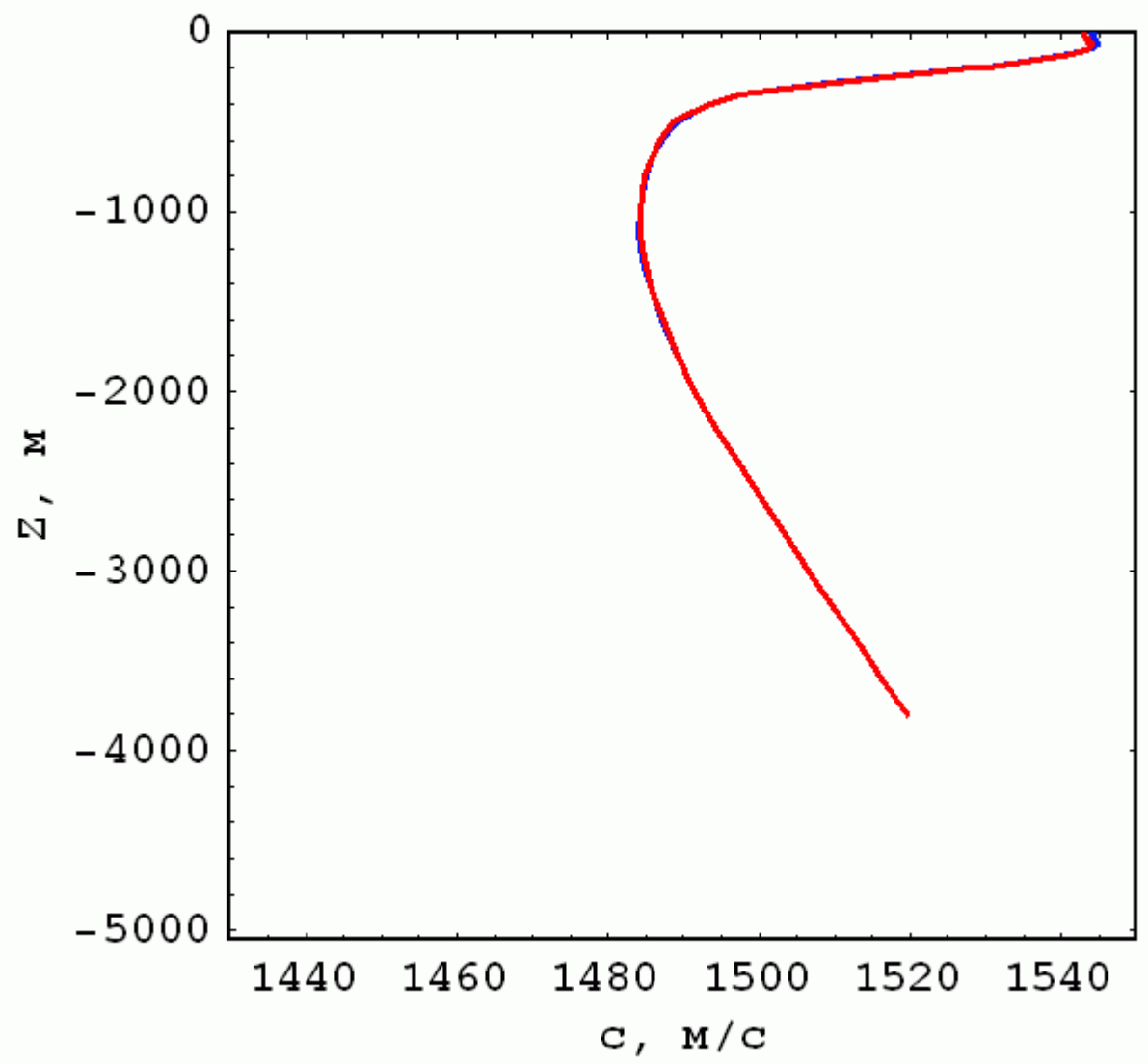
Lat=10 Lon=-150



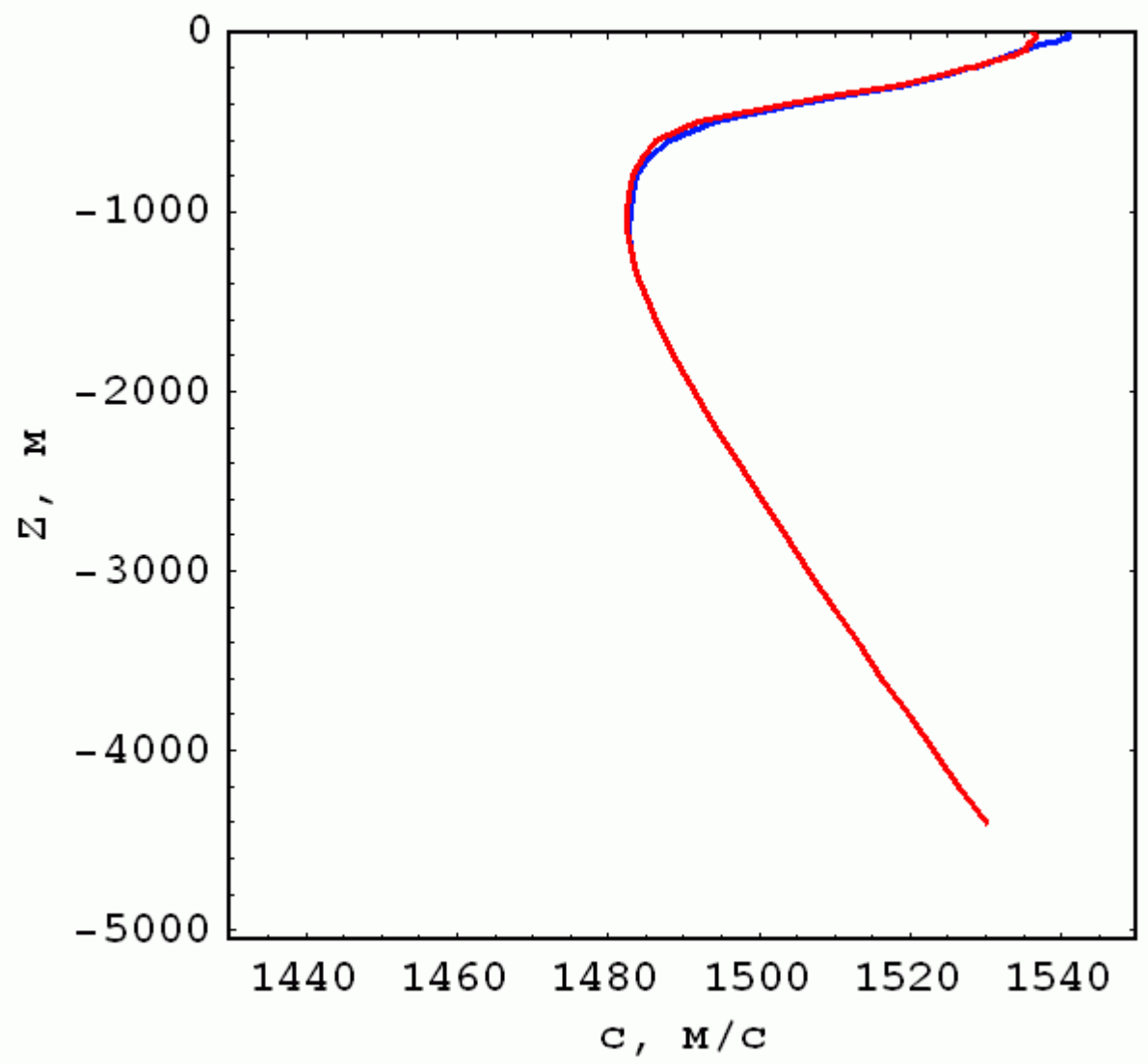
Lat=00 Lon=-150



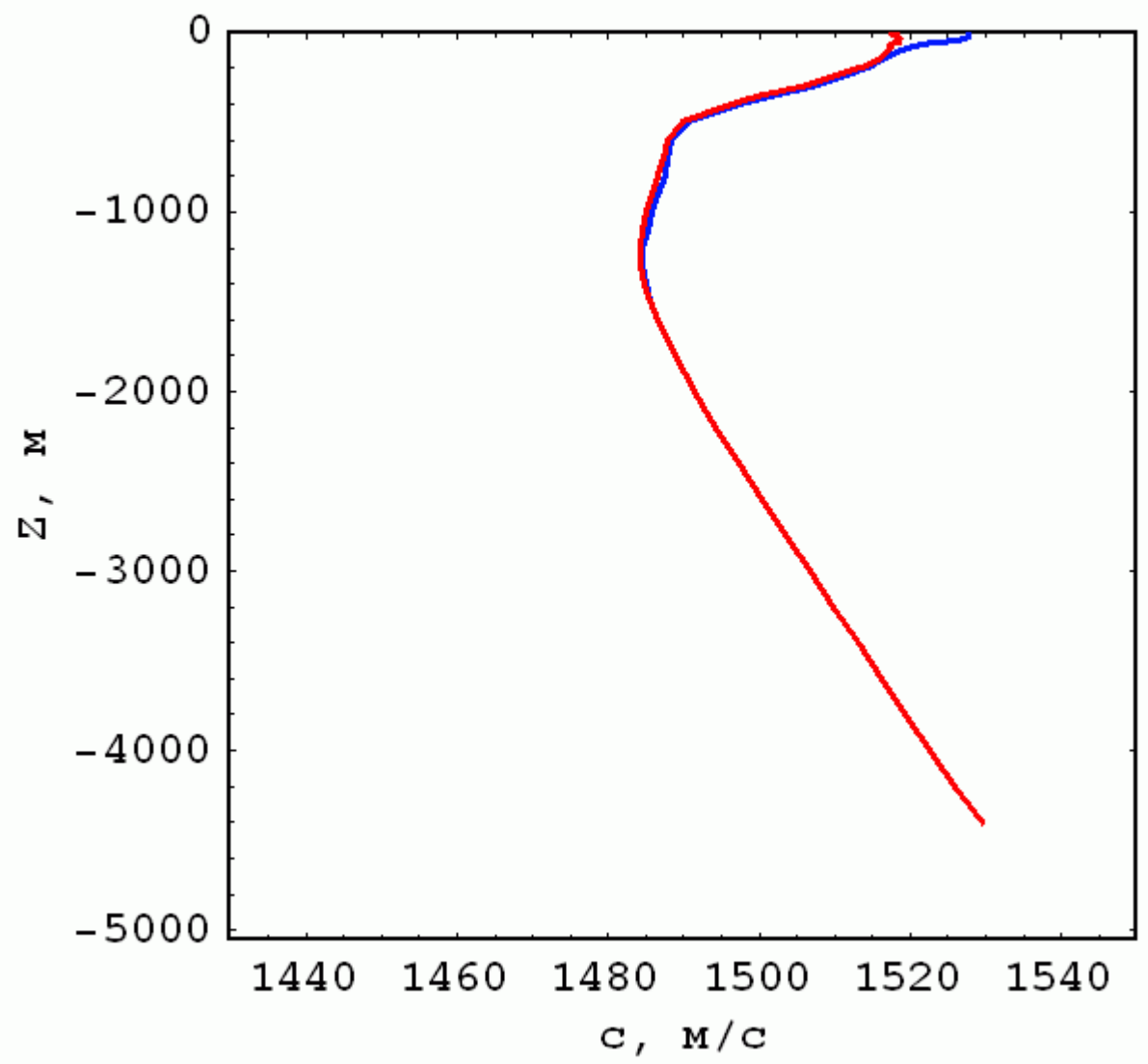
Lat=-10 Lon=-150



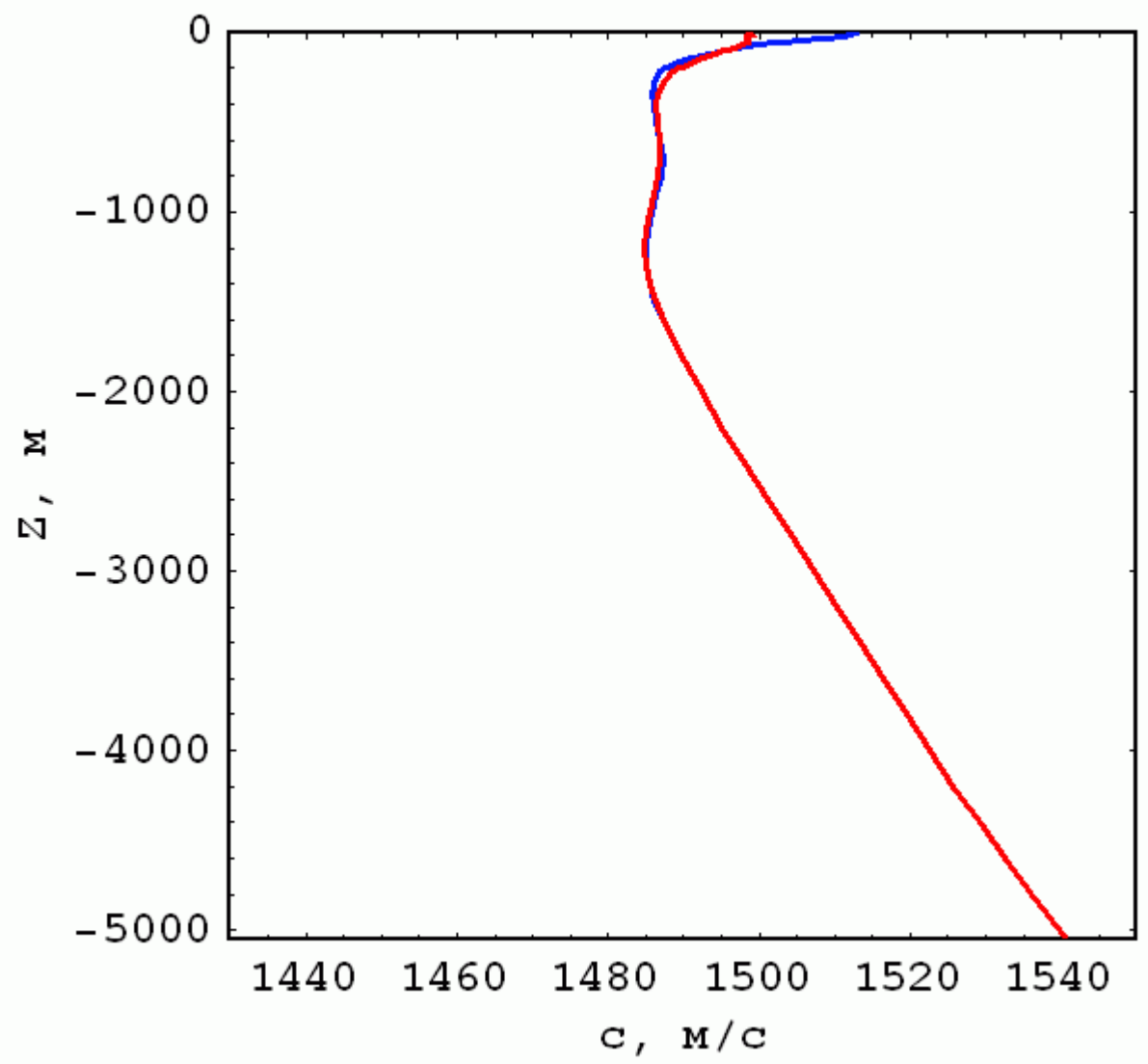
Lat=-20 Lon=-150



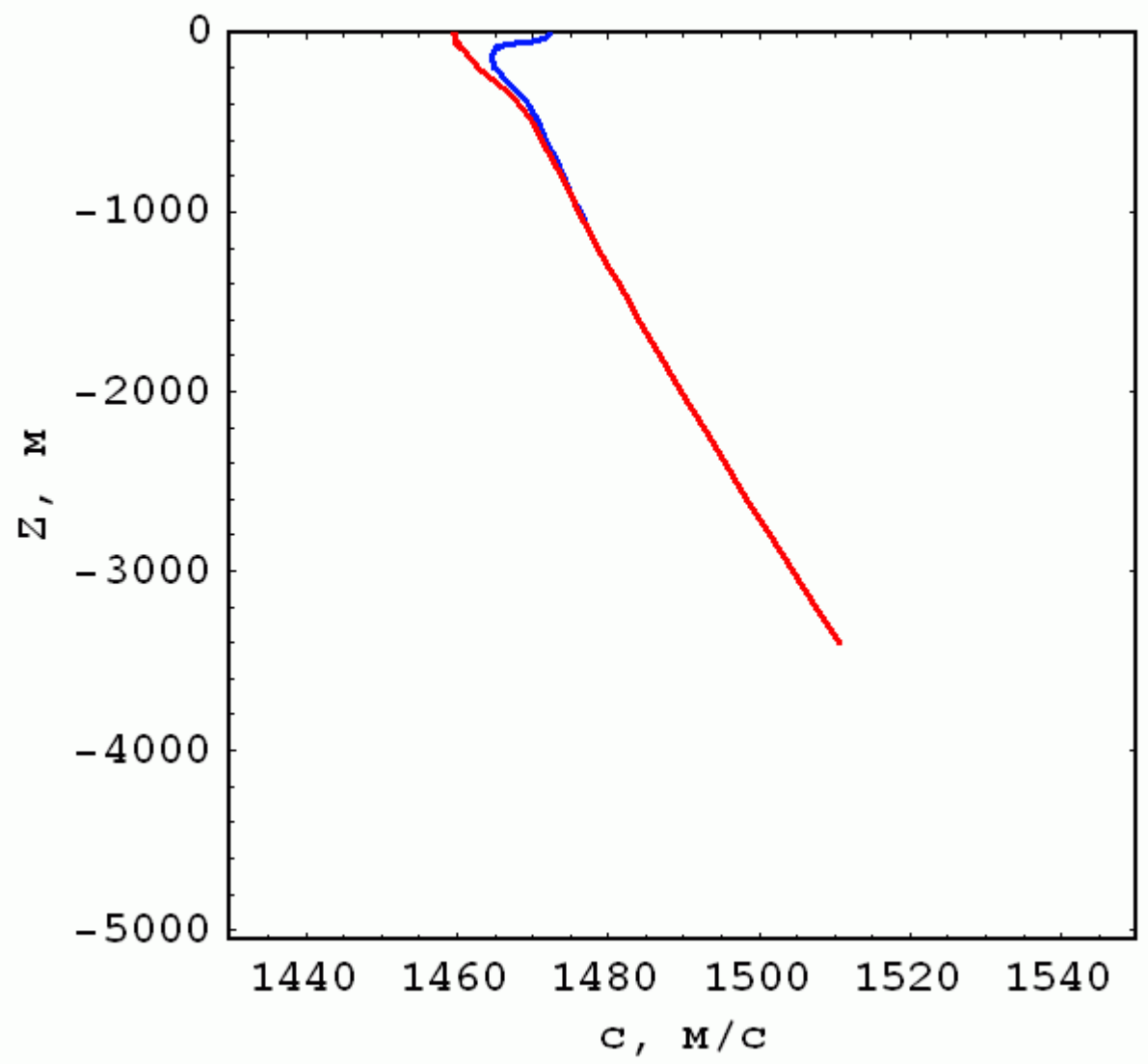
Lat=-30 Lon=-150



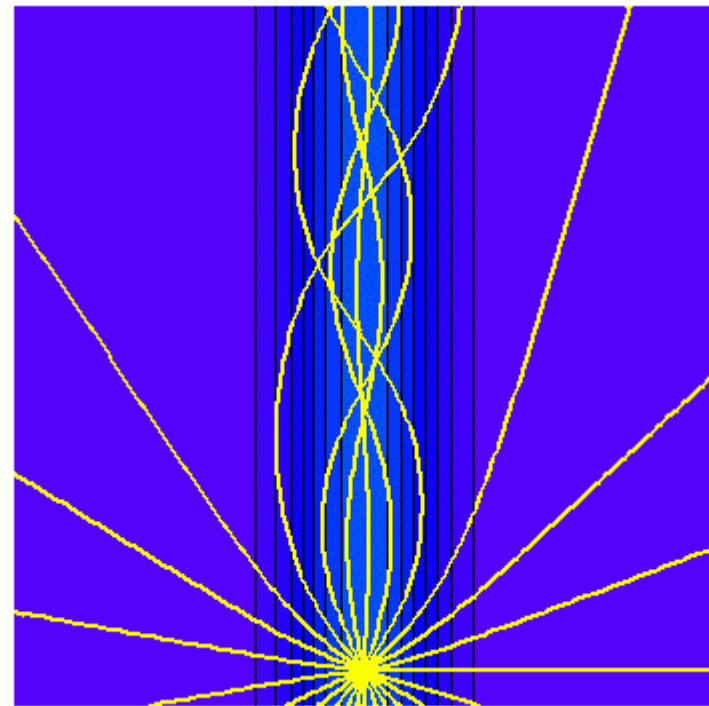
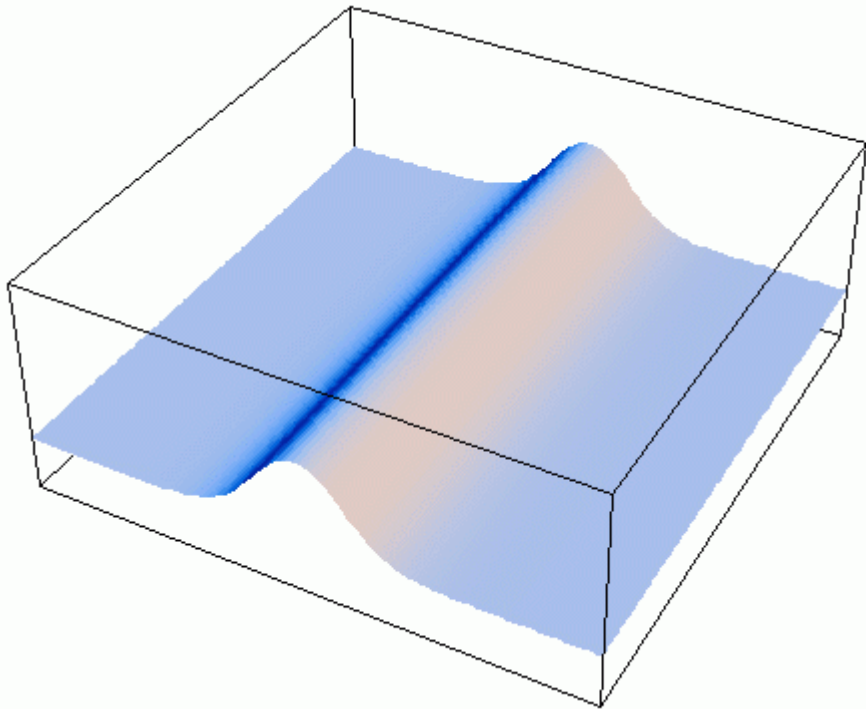
Lat=-40 Lon=-150



Lat=-55 Lon=-150



Захват волн подводными хребтами



т.е. областями с пониженной скоростью распространения длинных волн

⇒ Область с пониженной скоростью звука может захватывать звуковые волны!

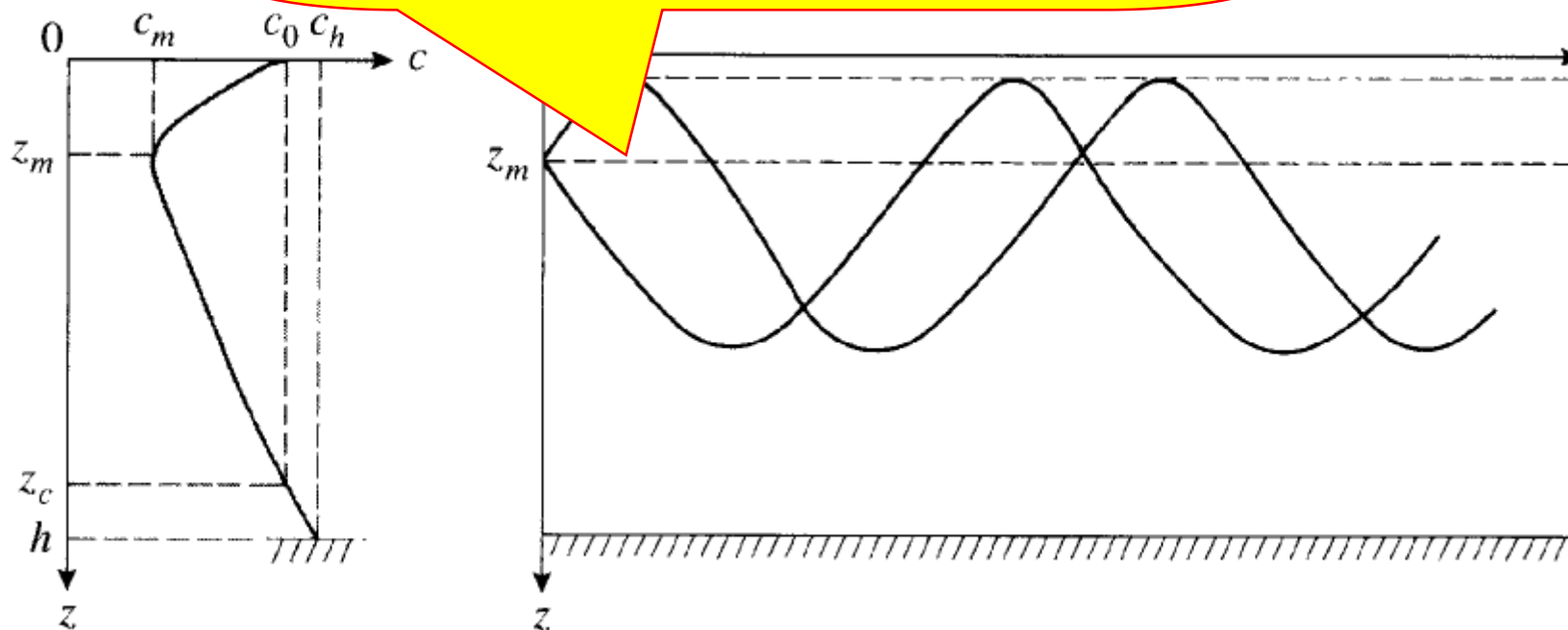
Подводный звуковой канал (ПЗК)

Deep Sound Channel

SOFAR Channel

(Sound Fixing and Ranging)

Ось ПЗК обычно лежит на
глубине ~ 1000 м



Подводный звуковой канал (ПЗК)

D
S
(S



**William Maurice
Ewing**

1906 – 1974

american geophysicist and
oceanographer



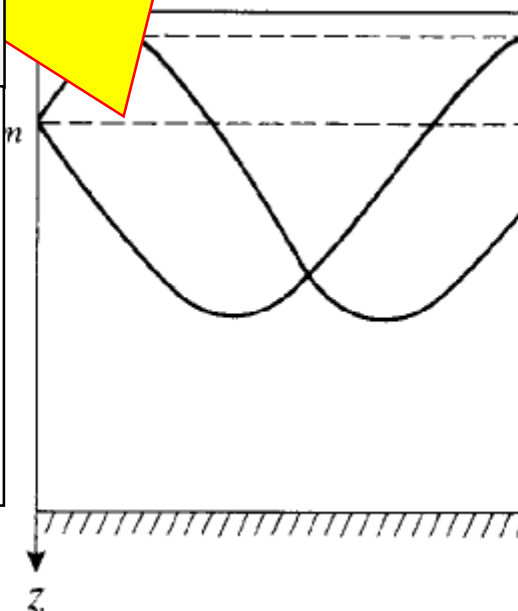
nging)

ПЗК обычно лежит на
глубине ~1000 м



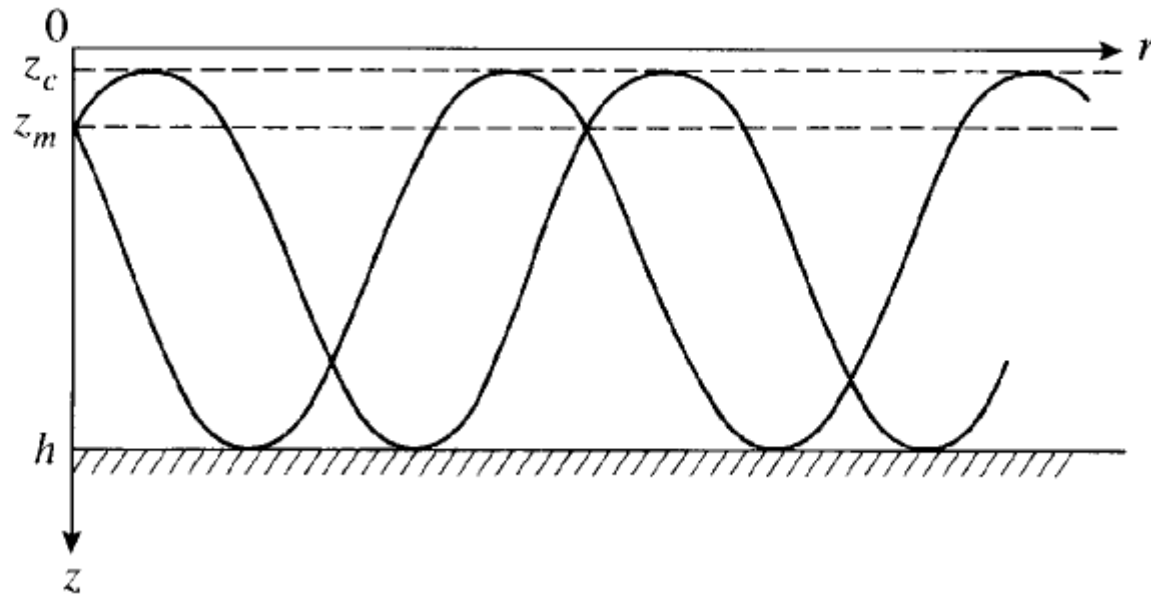
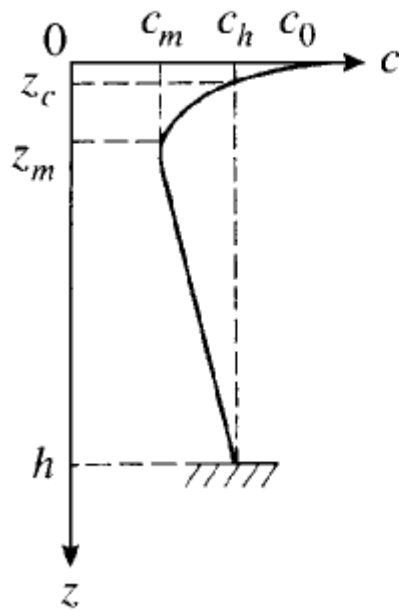
**Леонид
Максимович
Бреховских**
1917-2005

выдающийся учёный в
области физики,
акустики океана,
академик АН СССР



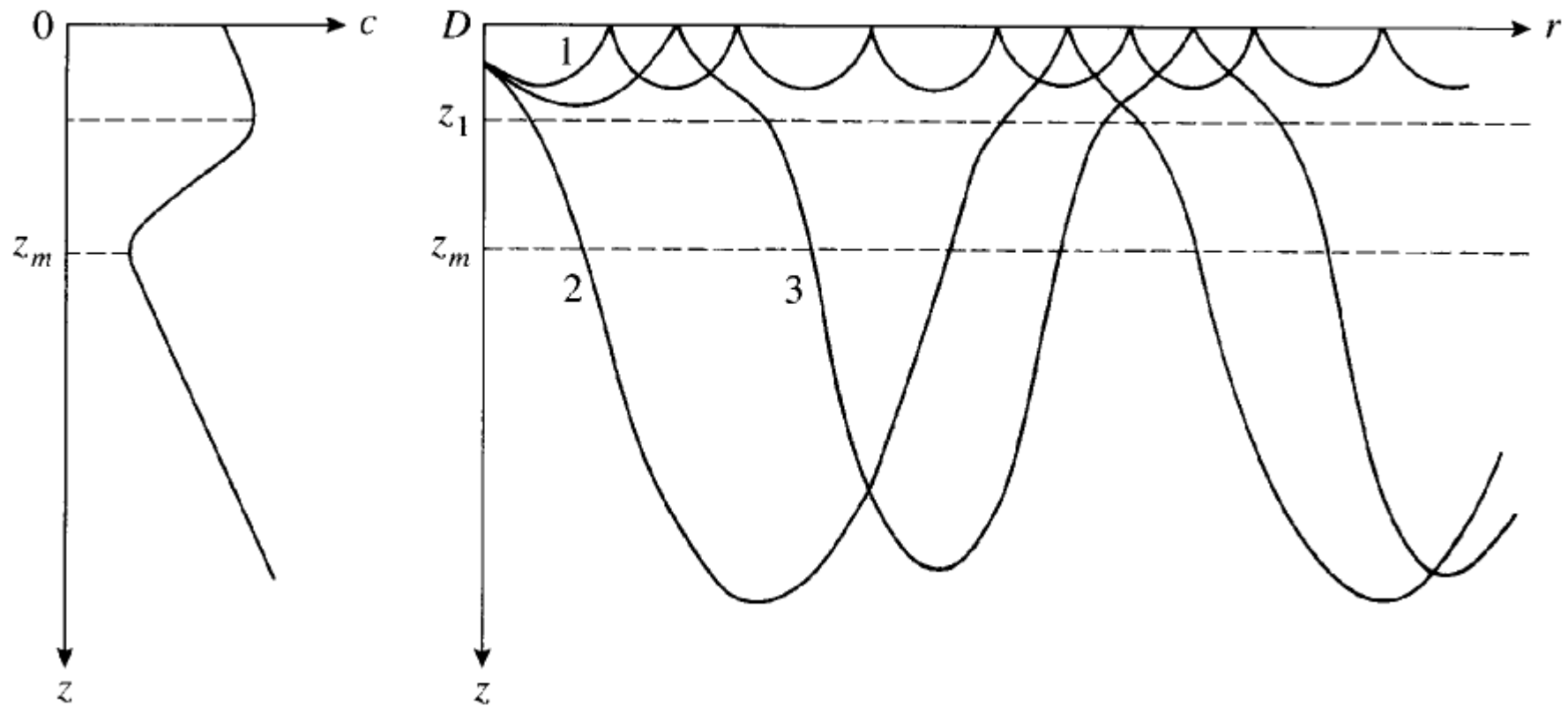
Подводный звуковой канал

2-го типа

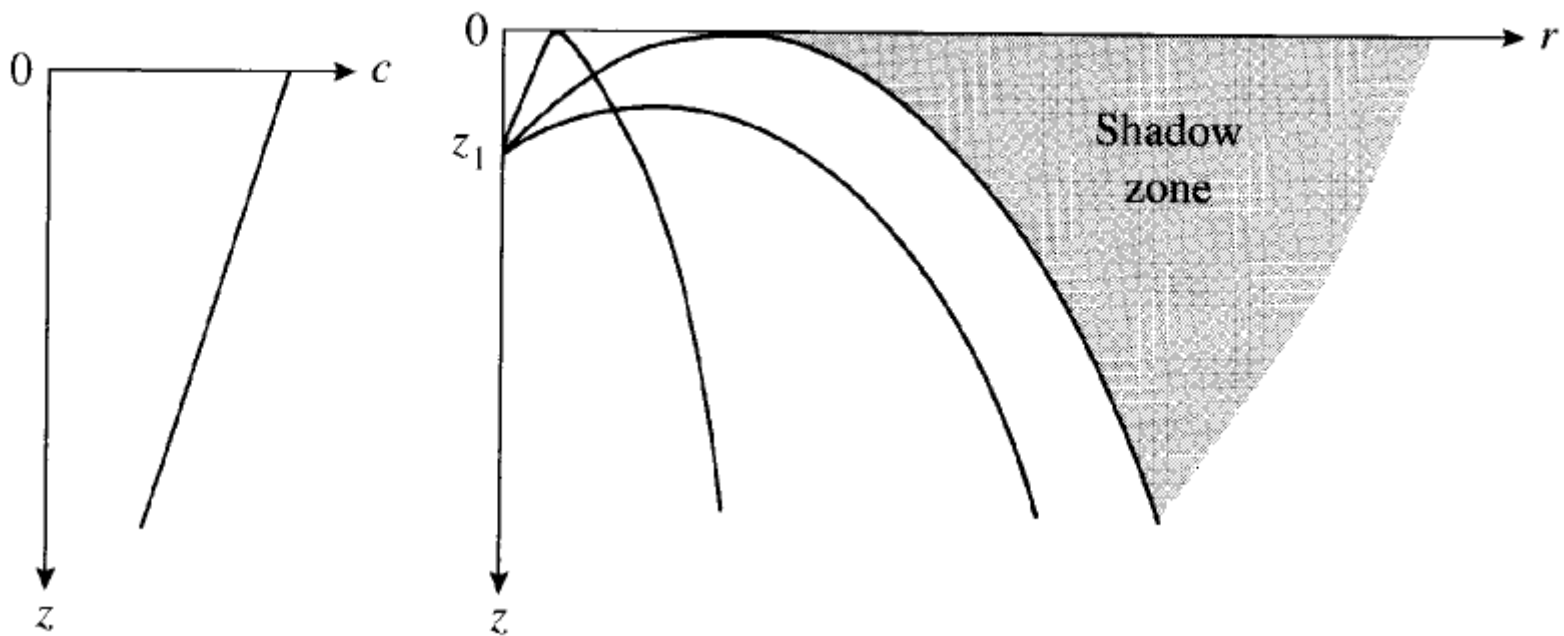


Подводный звуковой канал

С ДВУМЯ ОСЯМИ



Зона тени



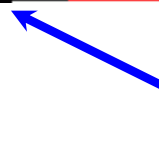
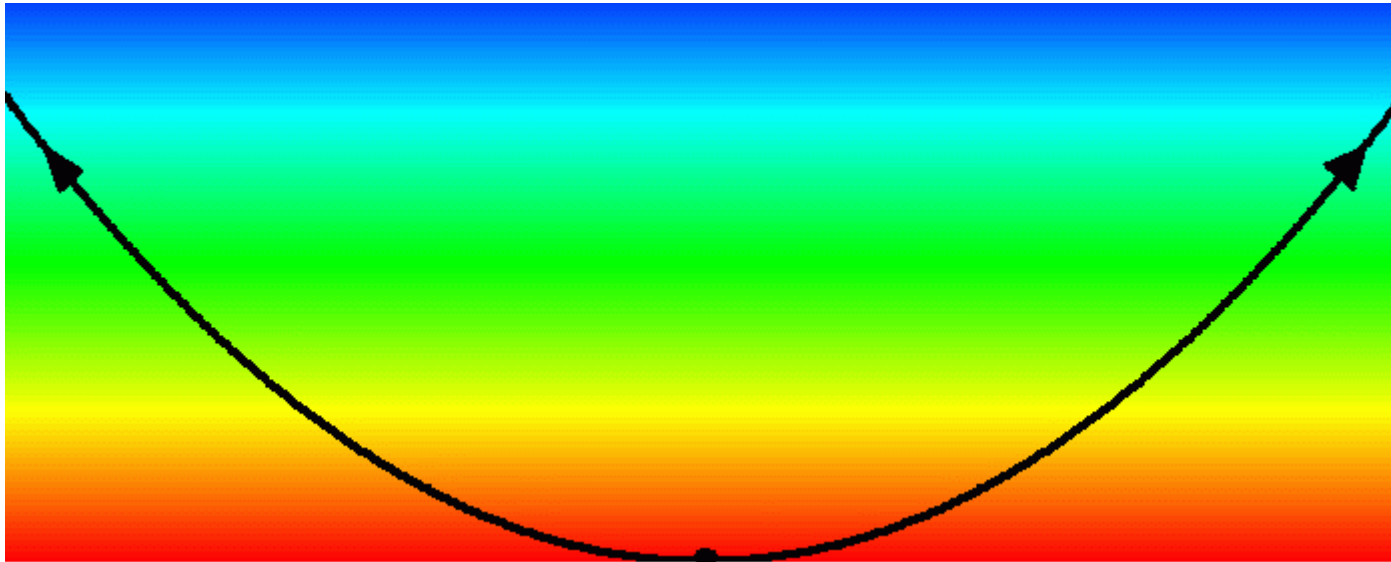
Прикладная гидроакустика

- **Акустический радар (сонар)**
- **Подводная связь (передача информации)**
- **Подводная навигация**
- **Наблюдения за погодой и климатом (регистрация шумов от ветра или осадков, акустическая термометрия)**
- **Измерение скорости течения (ADCP)**
- ...

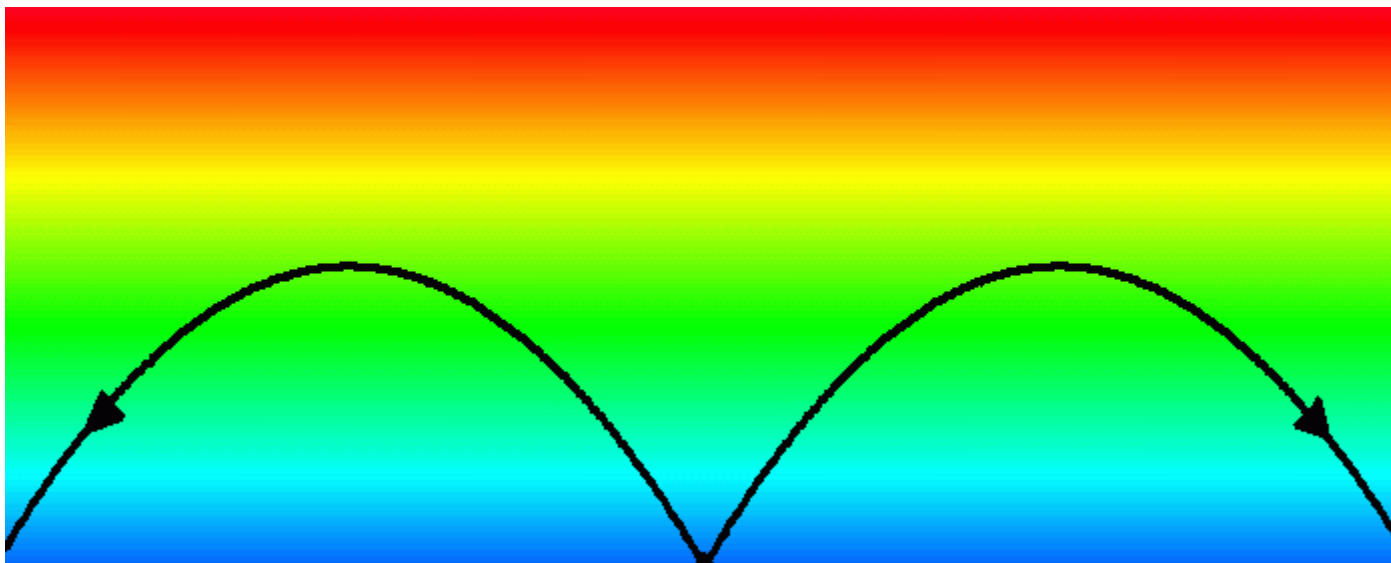
Акустические волны в атмосфере

$$c \equiv \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_s} = \sqrt{\frac{C_p R T}{C_v \mu}} \approx 340 \text{ м / с}$$

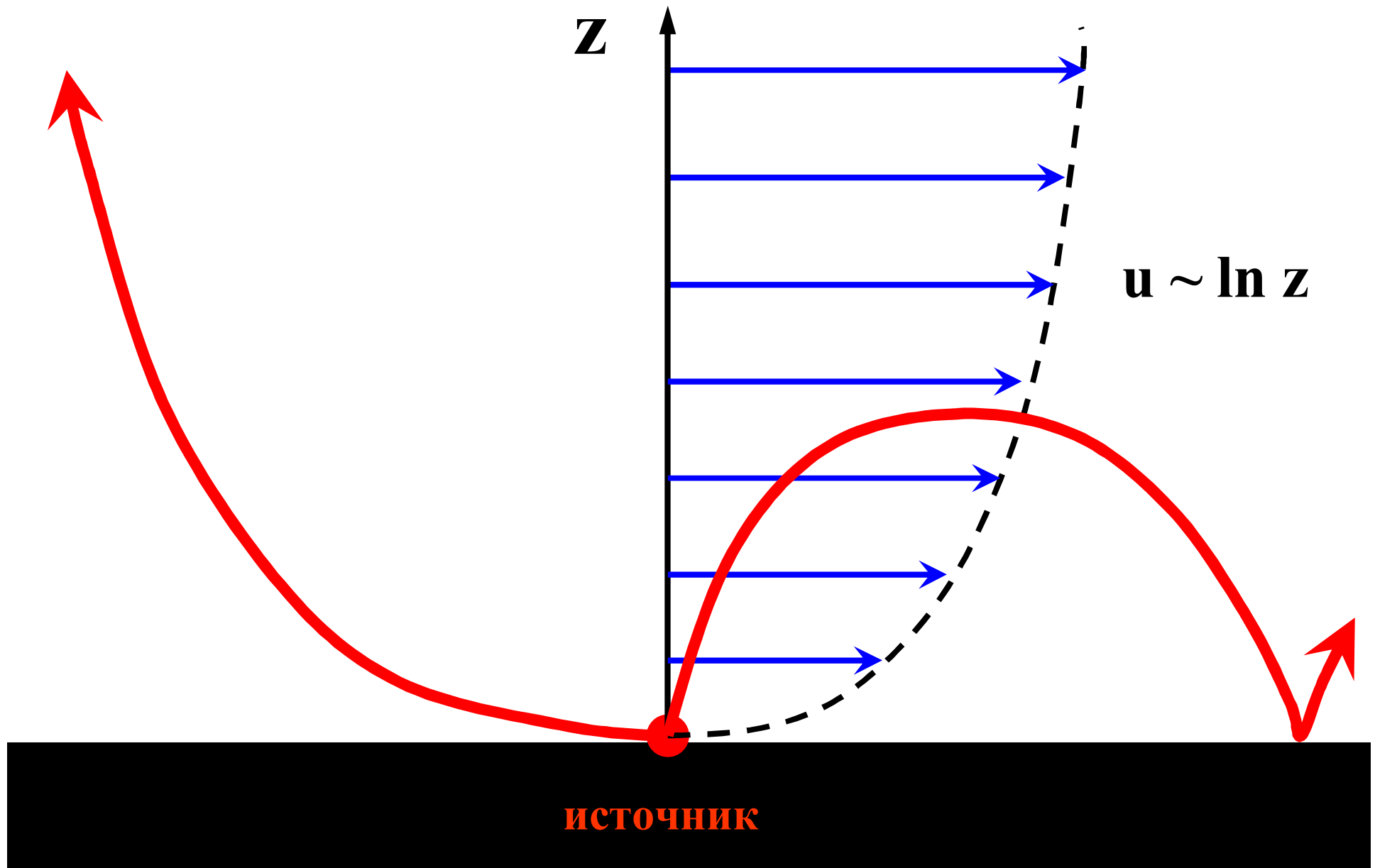
- ❑ В идеальных газах при $T=\text{const}$ скорость звука не зависит от давления
- ❑ В атмосфере (гомосфере) скорость звука определяется только температурой




ИСТОЧНИК



Влияние ветра на распространение звука





Сейсмичность Земли

Бено Гутенберг,
Чарльз Френсис Рихтер,
США, 1941 г.

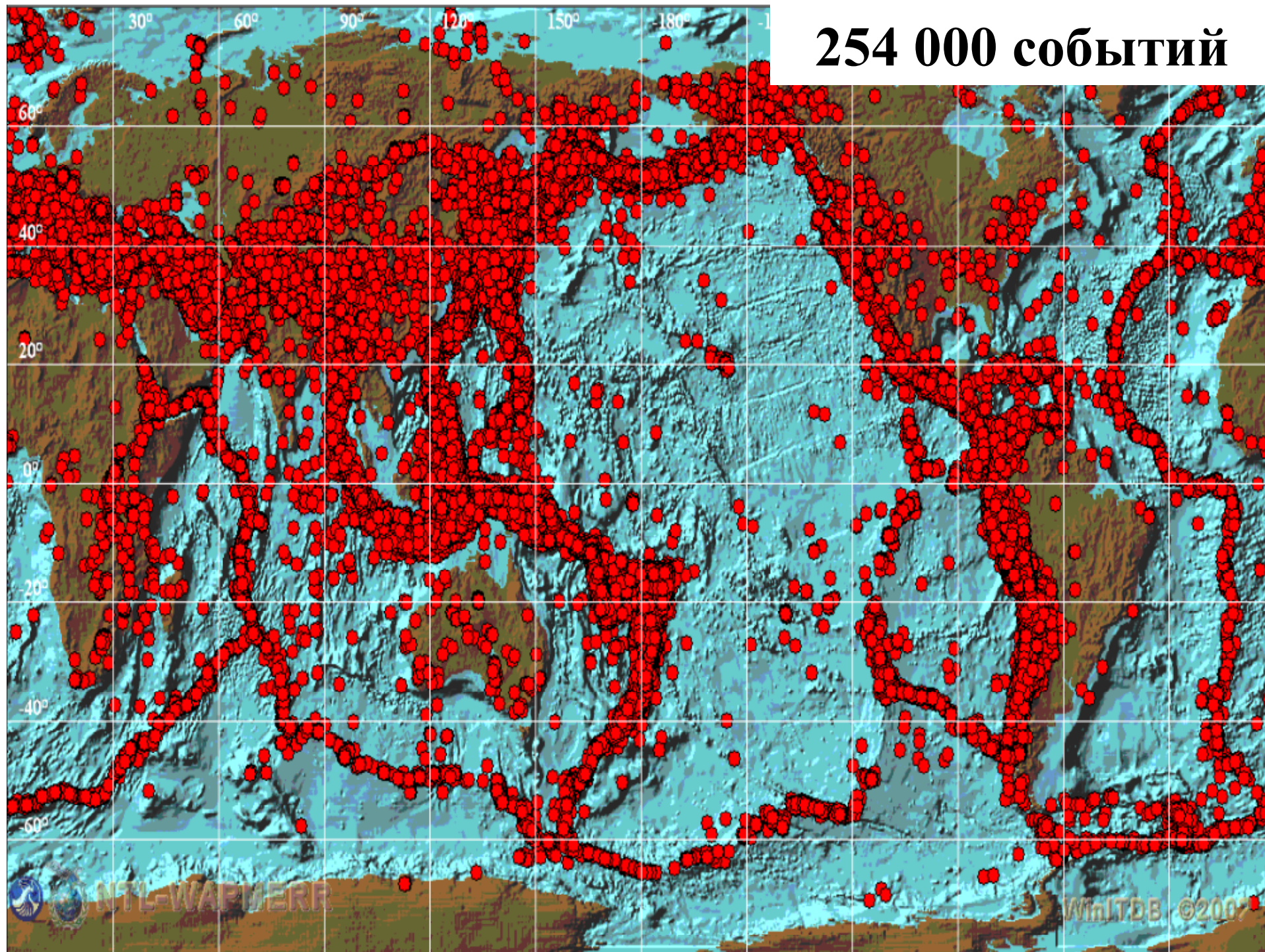
Распределение землетрясений по энергиям, их
связь с региональными особенностями земной
поверхности и их географическое распределение

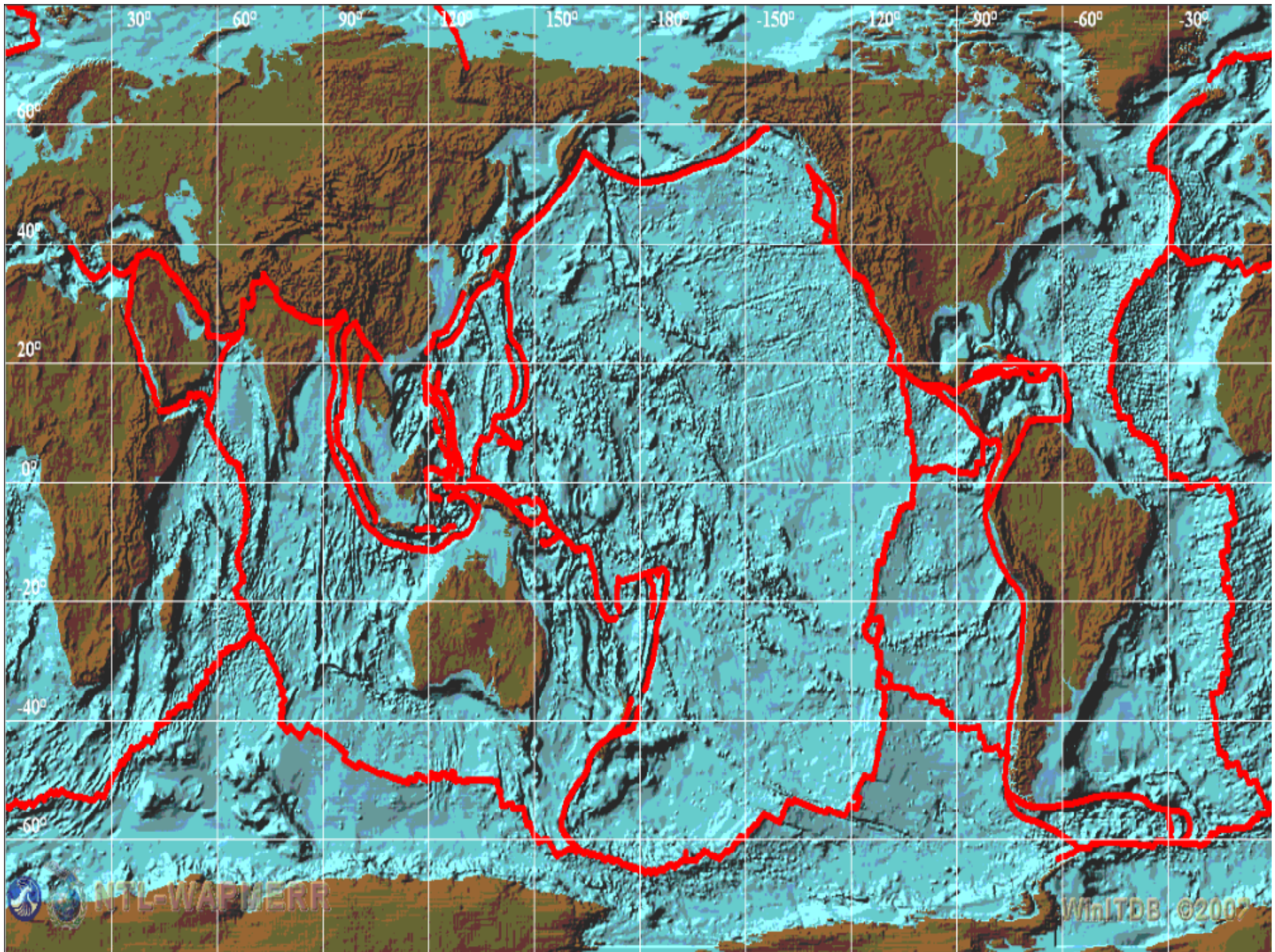
Самые разрушительные землетрясения мира (NEIC)

Суматра, 26 декабря 2004 года, 283 000

Дата	Место	Число жертв
23 января 1556 года	Шанси, Китай	830 000
27 июля 1976 года	Таншань, Китай	255 000
9 августа 1138 года	Алеппо, Сирия	230 000
22 мая 1927 года	Кхининг, Китай	200 000
22 декабря 856 года	Дамган, Иран	200 000
16 декабря 1920 года	Гансю, Китай	200 000
23 марта 893 года	Ардабил, Иран	150 000
1 сентября 1923 года	Кванто, Япония	143 000
28 декабря 1908 года	Мессина, Италия	100 000
Сентябрь 1290 года	Чихли, Китай	100 000
Ноябрь 1667 года	Шемаха, Кавказ	80 000
18 ноября 1727 года	Табриз, Иран	77 000
1 ноября 1755 года	Лиссабон, Португалия	70 000

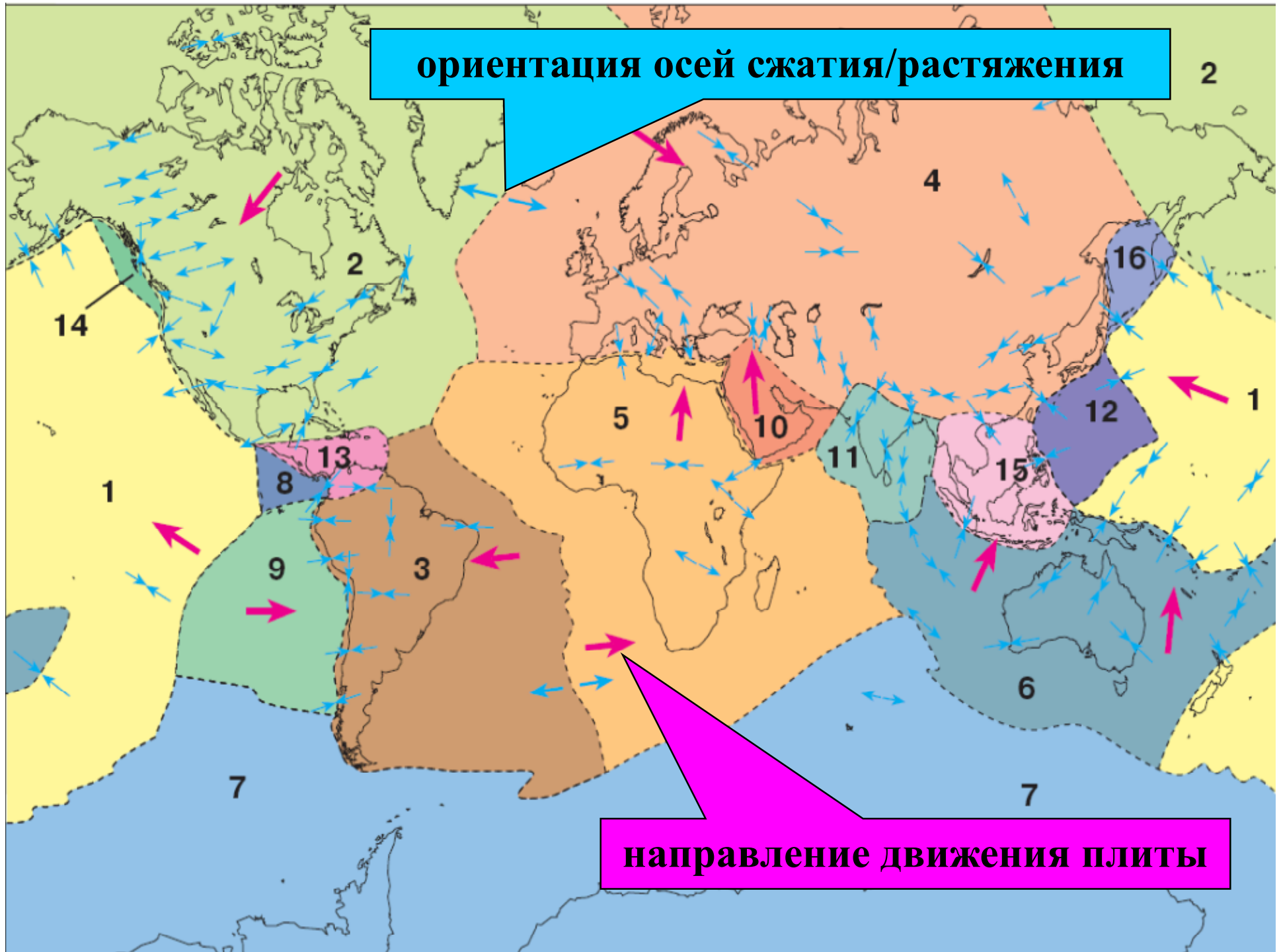
254 000 событий



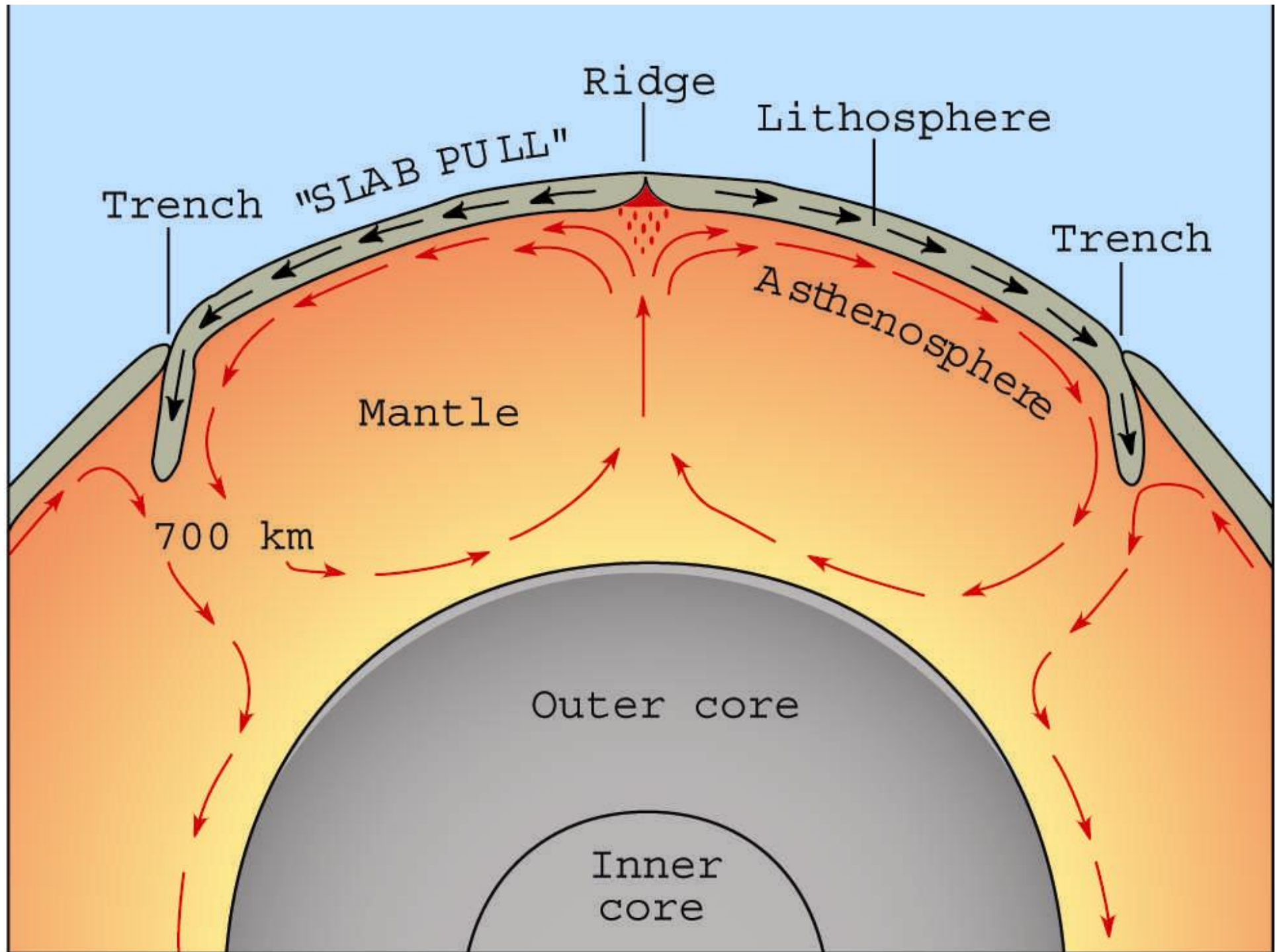


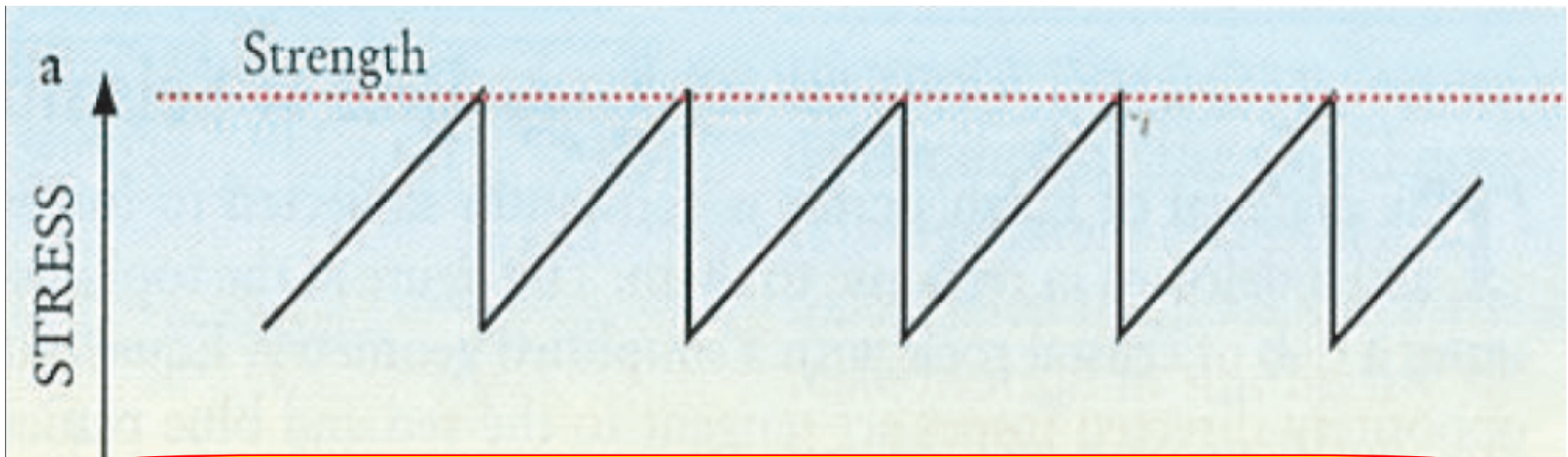


ориентация осей сжатия/растяжения

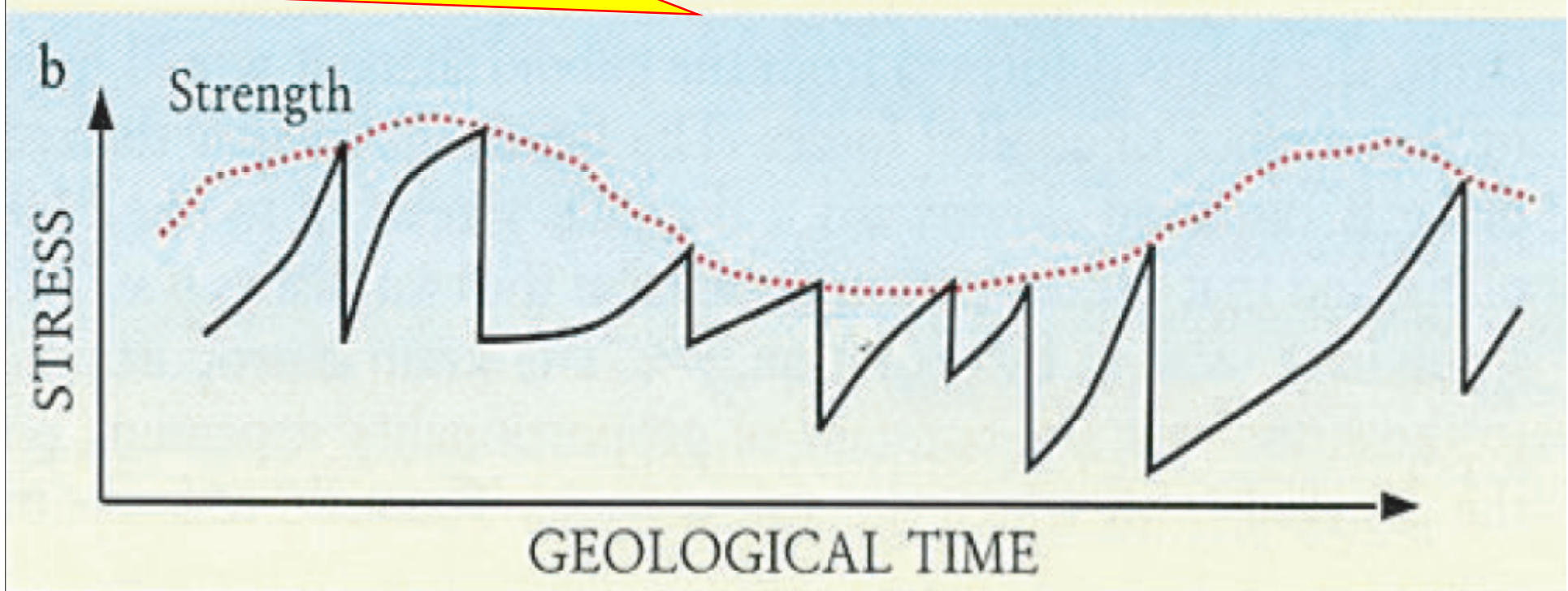


направление движения плиты

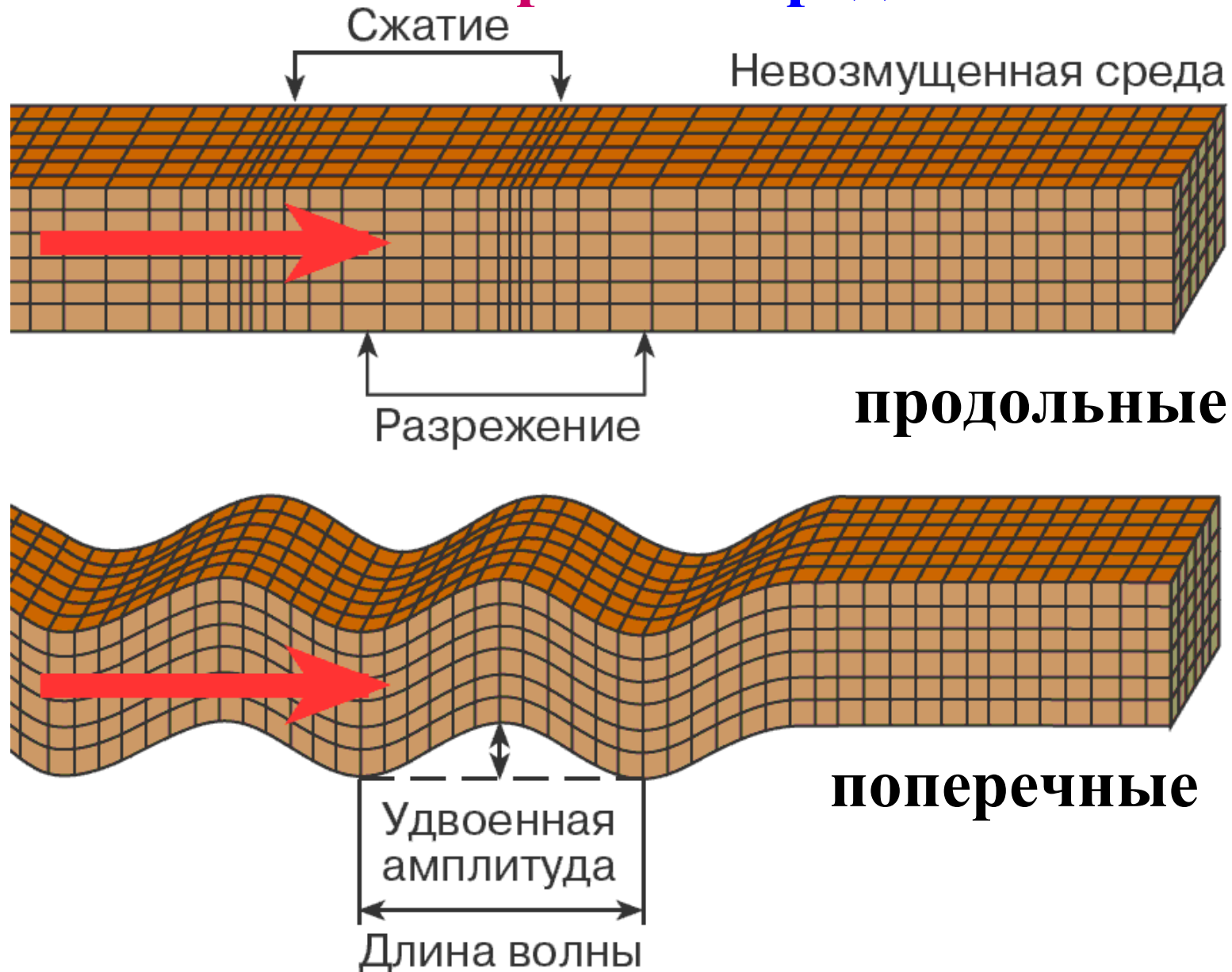




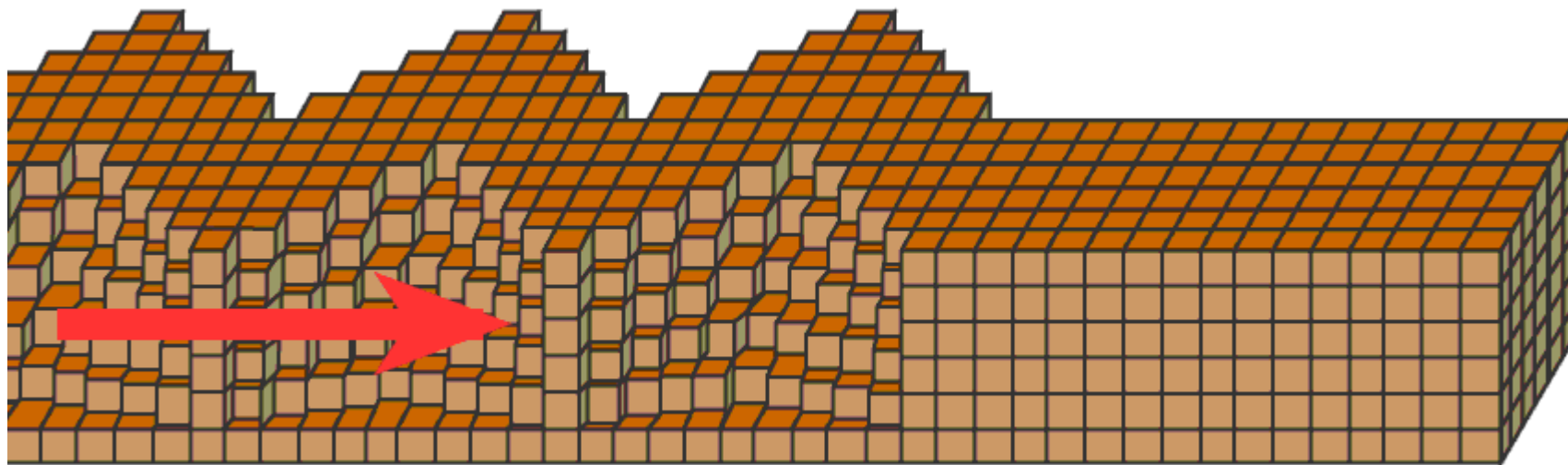
Время между двумя последовательными землетрясениями и величина сбрасываемого напряжения варьируются от события к событию



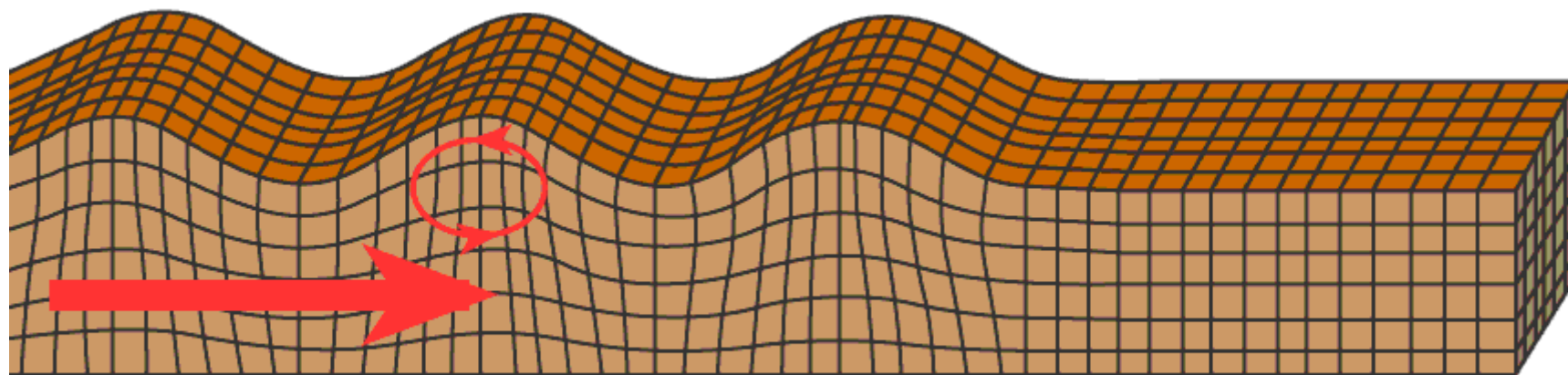
Типы упругих волн в безграничной однородной и изотропной среде



Типы поверхностных упругих волн

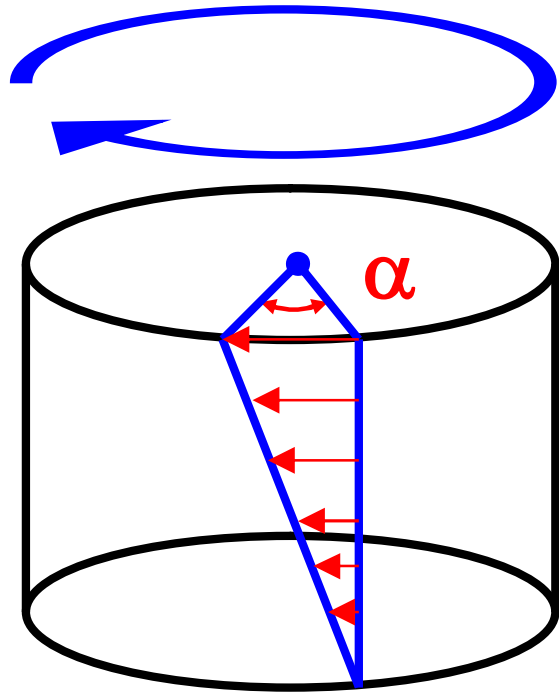


волны Лява



волны Рэлея

Закон Гука



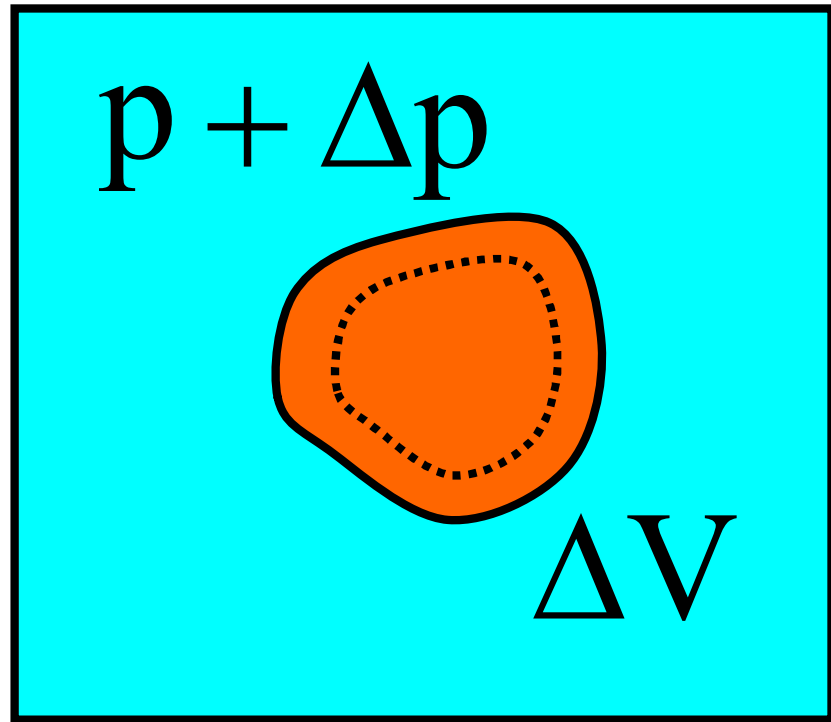
$$\tau = \mu \cdot \alpha$$

напряжение

угол сдвига

модуль сдвига

модуль всестороннего сжатия



$$\Delta p = -K \frac{\Delta V}{V}$$

Типы сейсмических (упругих) волн

объемные

**продольные
P (primary)**

**поперечные
S (secondary)**

недиспергирующие

$$c_P = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

$$c_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

μ – модуль сдвига

K – модуль всестороннего сжатия

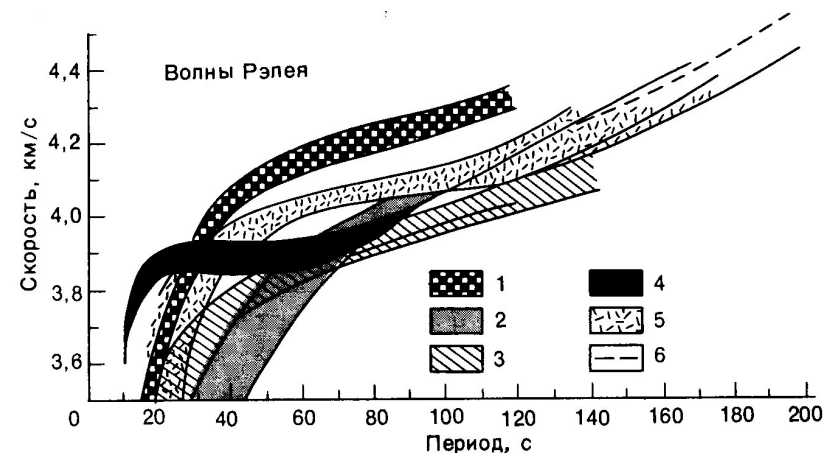
$$c_P > c_S$$

поверхностные

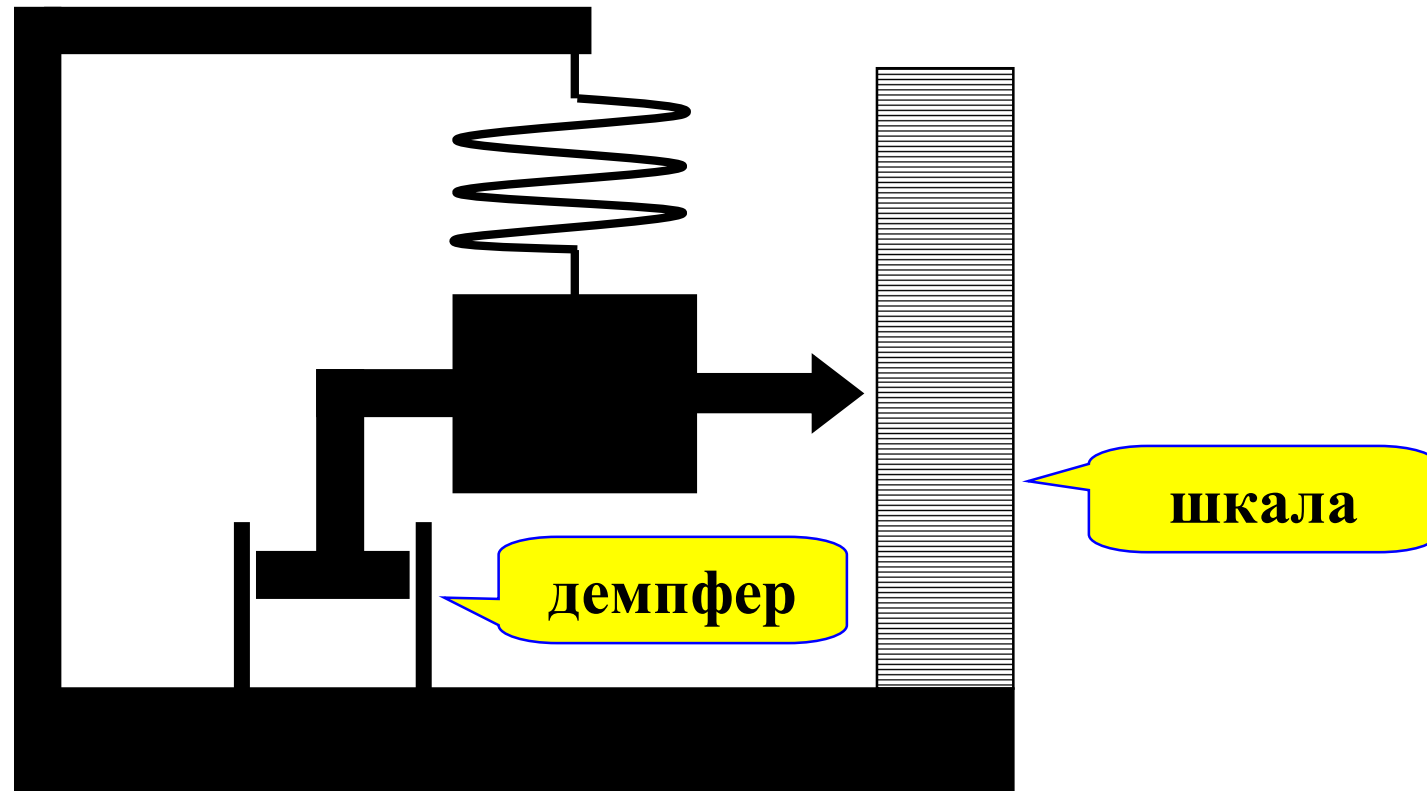
**волны
Рэлея**

**волны
Лява**

диспергирующие

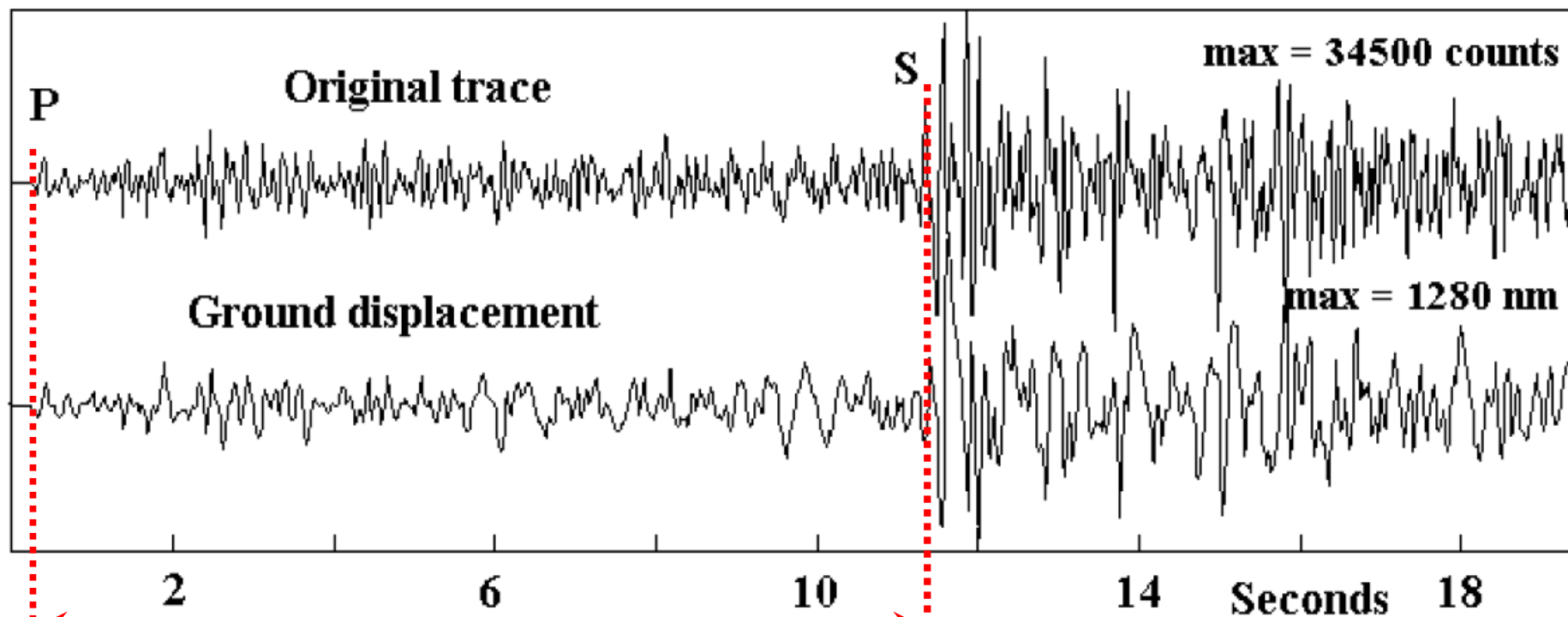


**Инструментальная эпоха в сейсмологии
началась в 1879-1890 гг. с появлением
первых эффективных сейсмографов**

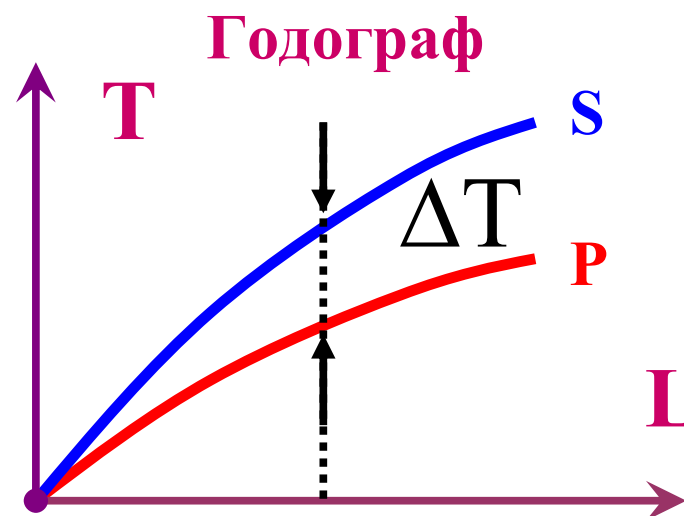


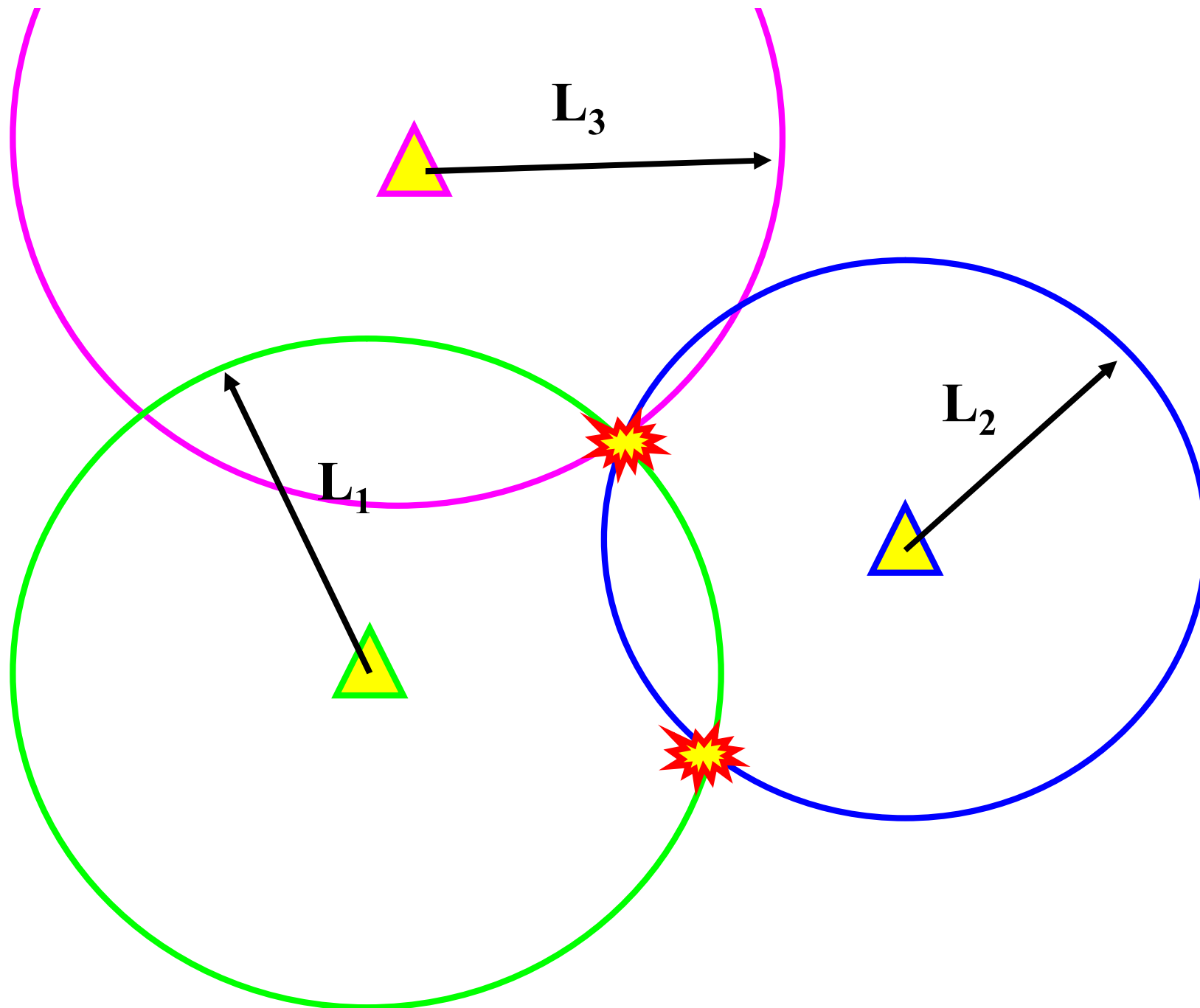
Первый телескоп построен около 1600 г!!!

Пример сейсмограммы (120 км, M=3)

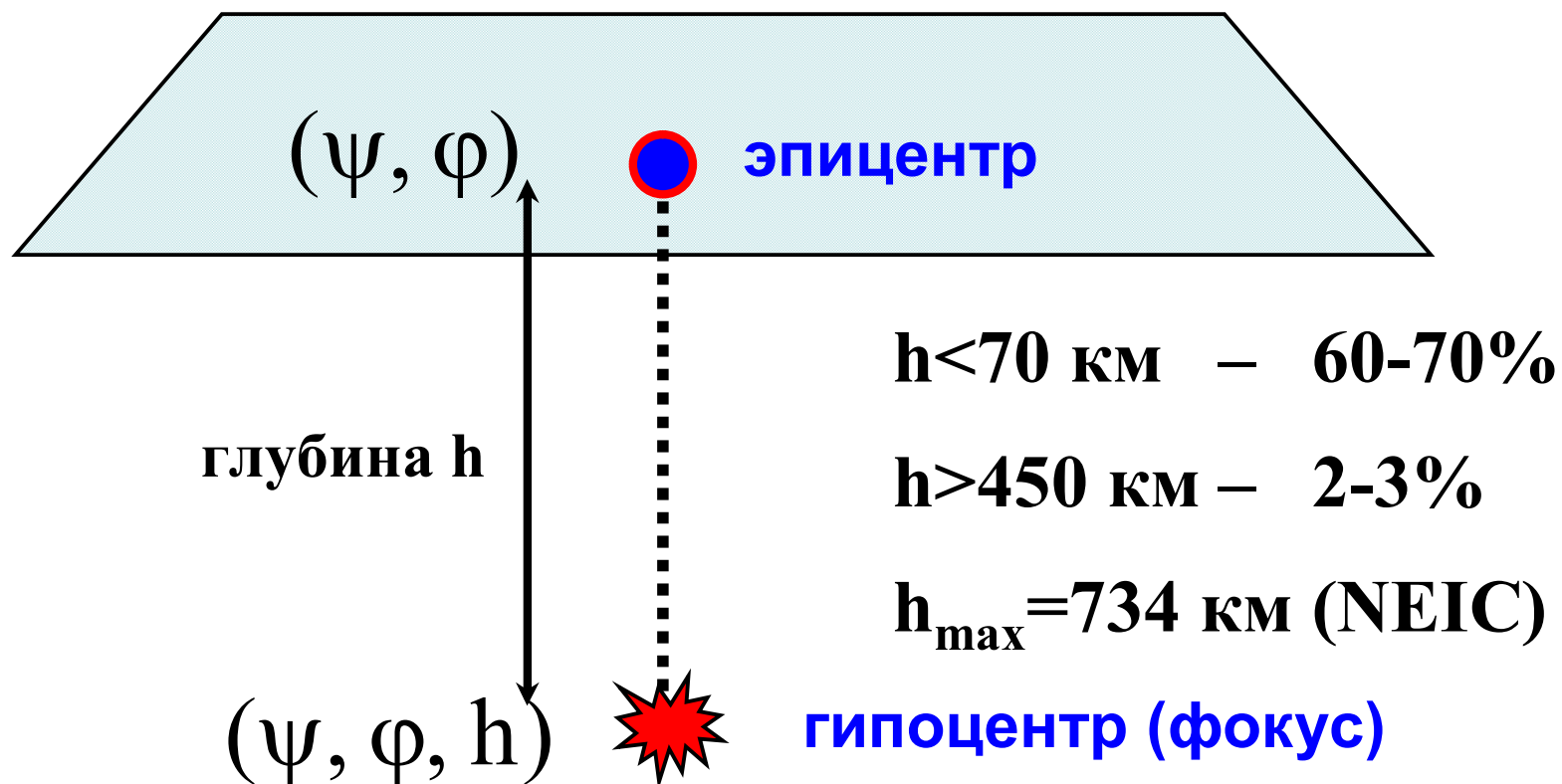


~~$$L = (c_p - c_s) \Delta T$$~~





Землетрясение: основные понятия

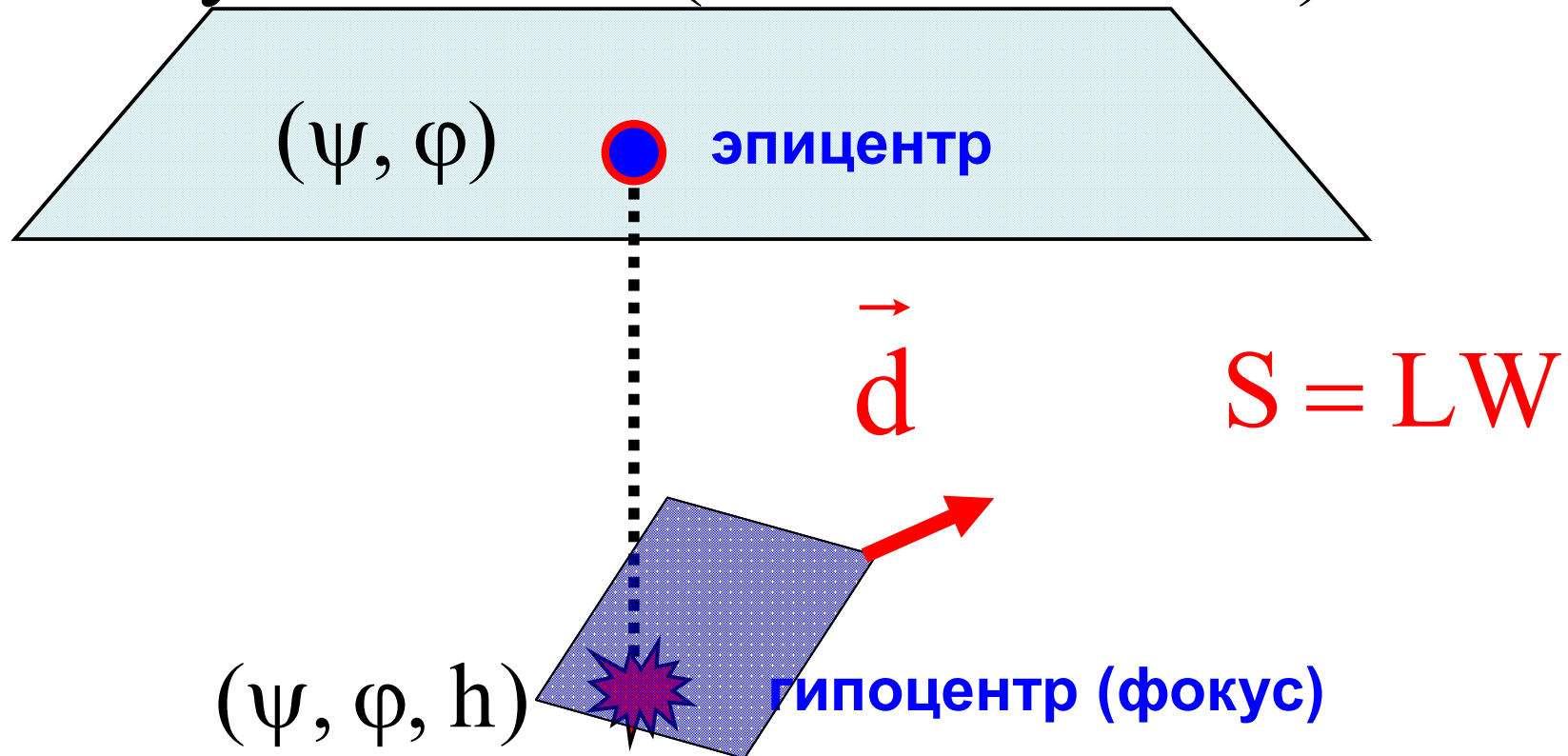


Очаг землетрясения. Основные понятия

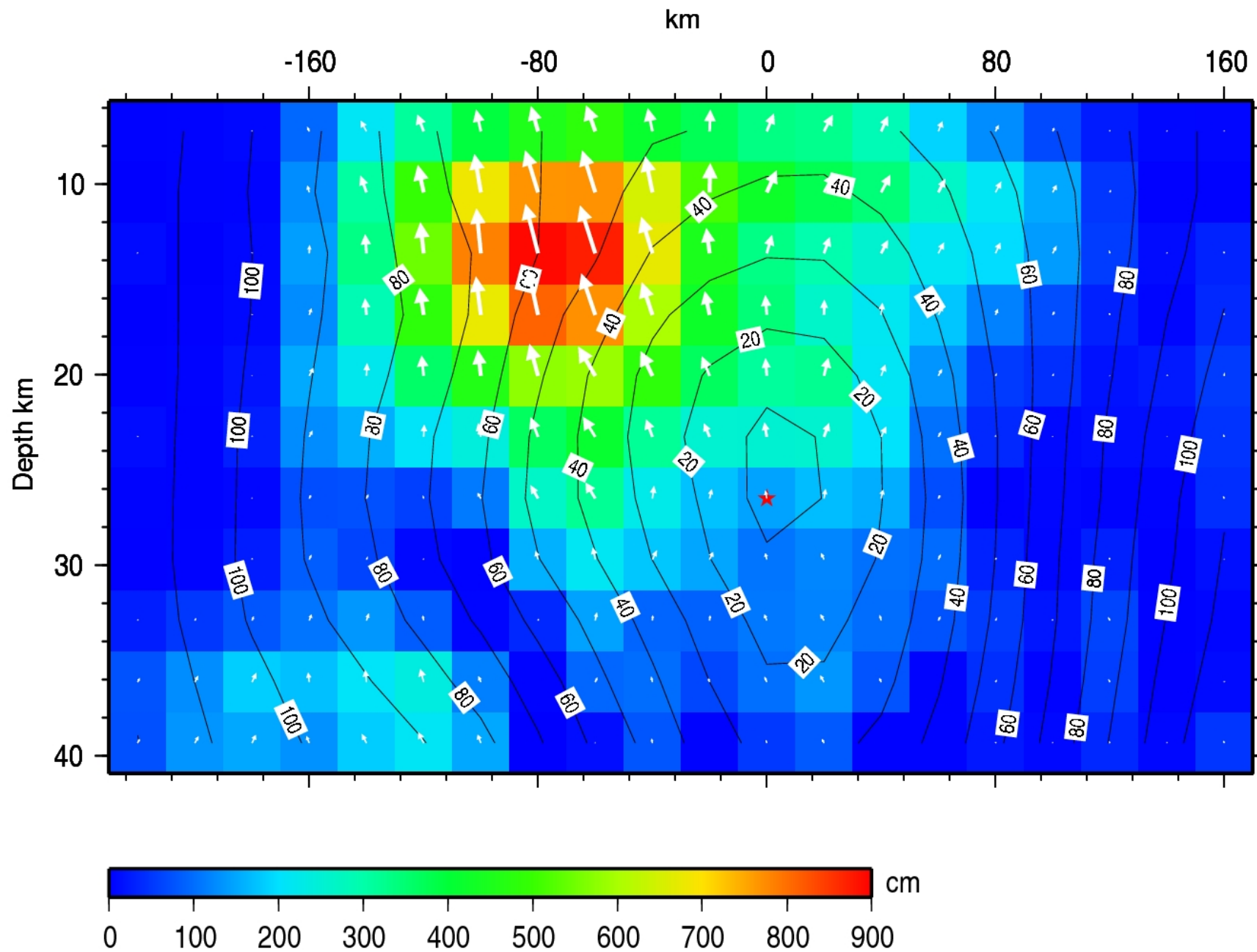
$$M_0 = \mu S d \quad [\text{Н} \cdot \text{м}]$$

сейсмический момент

μ – модуль сдвига ($\approx 3 - 8 \cdot 10^{10}$ Па)



Центральные Курилы, 15 ноября 2006 г



Качественная схема механизма очага землетрясения (теория упругой отдачи Рейда)

- ❑ Очаг з.т. образуется в результате разрыва сплошности горных пород, когда накопленные напряжения превзошли предел прочности. Разрыв можно считать плоским.**
- ❑ Разрыв возникает под действием касательных напряжений, которые полностью или частично снимаются на разрыве.**
- ❑ Скорость вспарывания разрыва конечна и не превосходит скорости поперечных волн. Сейсмические волны возбуждаются на разрыве при его вспарывании.**
- ❑ Движение в момент землетрясения состоит из касательного перемещения берегов разрыва друг относительно друга с образованием подвижки (дислокации).**
- ❑ Энергия, высвобождаемая при з.т., есть накопленная энергия упругих деформаций горных пород.**

Как измерить силу землетрясения?

Шкала интенсивности качественная, организована по трем признакам (MSK-64, 12-балльная) :

Медведев-Спонец-Карник

Модифицированная шкала Меркалли MM
Шкала JMA (Япония)

- а) воздействие на людей и их окружение
- б) воздействие на сооружения
- в) природные явления

Шкала магнитуд или шкала Рихтера

Описательная, субъективная шкала
(используется для сейсмического
районирования)

Шкала интенсивности

качественная, организована по трем признакам (MSK-64, 12-балльная) :

- а) воздействие на людей и их окружение
- б) воздействие на сооружения
- в) природные явления

Шкала магнитуд или шкала Рихтера

Физическая, объективная шкала

Шкала MSK-64

I балл. Неощутимое землетрясение.

а) Интенсивность колебаний лежит ниже предела чувствительности людей; сотрясение почвы обнаруживаются и регистрируются только сейсмографами;

б) –

в) –

Шкала MSK-64

V баллов. Пробуждение.

а) Землетрясение ощущается всеми людьми внутри помещения, под открытым небом - многими. Многие спящие просыпаются. Немногие лица выбегают из помещений. Животные беспокоятся. Висячие предметы сильно качаются. Картины сдвигаются с места. Некоторые неустойчивые предметы опрокидываются или сдвигаются. Незапертые двери и окна распахиваются и снова захлопываются. Из наполненных открытых сосудов в небольших количествах выплескивается жидкость. Ощущаемые колебания схожи с колебаниями, создаваемыми падением тяжелых предметов внутри здания.

б) Возможны тонкие трещины в штукатурке и откалывание небольших кусков штукатурки в отдельных зданиях.

в) В некоторых случаях меняется дебит источников.

Шкала MSK-64

IX баллов. Всеобщие повреждение зданий.

а) Всеобщая паника; большие повреждения мебели. Животные мечутся и кричат.

б) Во многих зданиях большие и глубокие трещины в стенах, падение дымовых труб, в отдельных - сквозные трещины и проломы в стенах, обрушение частей зданий, обрушение внутренних стен. Некоторые здания полностью разрушены. Памятники и колонны опрокидываются. Значительные повреждения искусственных водоемов; разрывы части подземных трубопроводов. В отдельных случаях - искривление железнодорожных рельсов и повреждение проезжих частей дорог.

в) На равнинах наводнения. Трещины в грунтах достигают ширины 10 см, большое количество тонких трещин в грунтах. Скалы обваливаются; оползни и осыпания грунта. На поверхности воды большие волны.