

Нелинейная гидрофизика и морские природные катастрофы

Лекция 1

Е.Н. Пелиновский



Отделение геофизических исследований
Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН



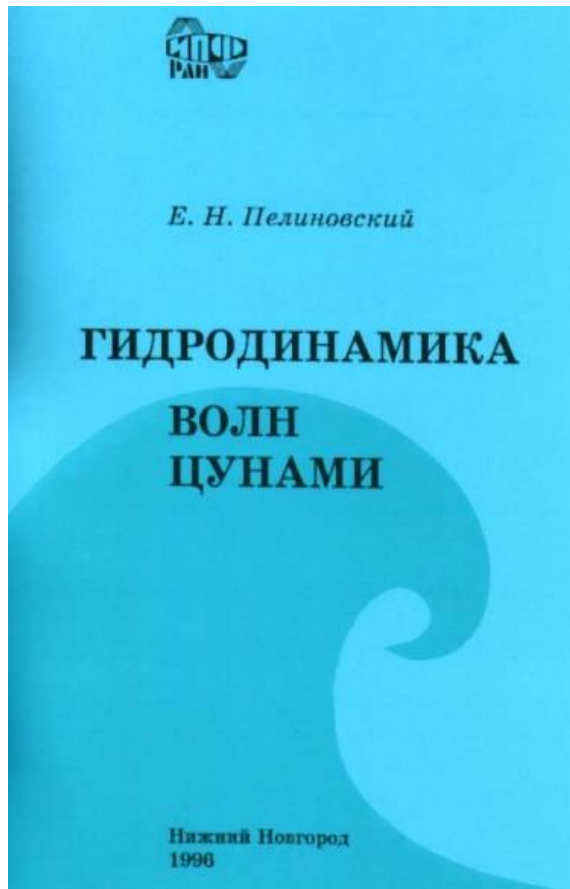
Лаборатория нелинейной гидрофизики
Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичева ДВО РАН

Мегагрант № 075-15-2022-1127 Нелинейная гидрофизика с приложениями
к природным катастрофам Дальневосточного региона

ДВФУ 11 октября 2023 года

Цунами в мире, России и компьютере

Е.Н. Пелиновский



Inter Tsunami Commission

津波

*Цунами
(с японского):
Большая Волна
в Гавани*

Причины возникновения:

1. Землетрясения (85%)
2. Вулканы
3. Оползни
4. Метео-цунами
5. Астероиды и взрывы в воде



Масштабы:
Период 5-30 мин
Длина 20-100 км
Высота 1-30 м

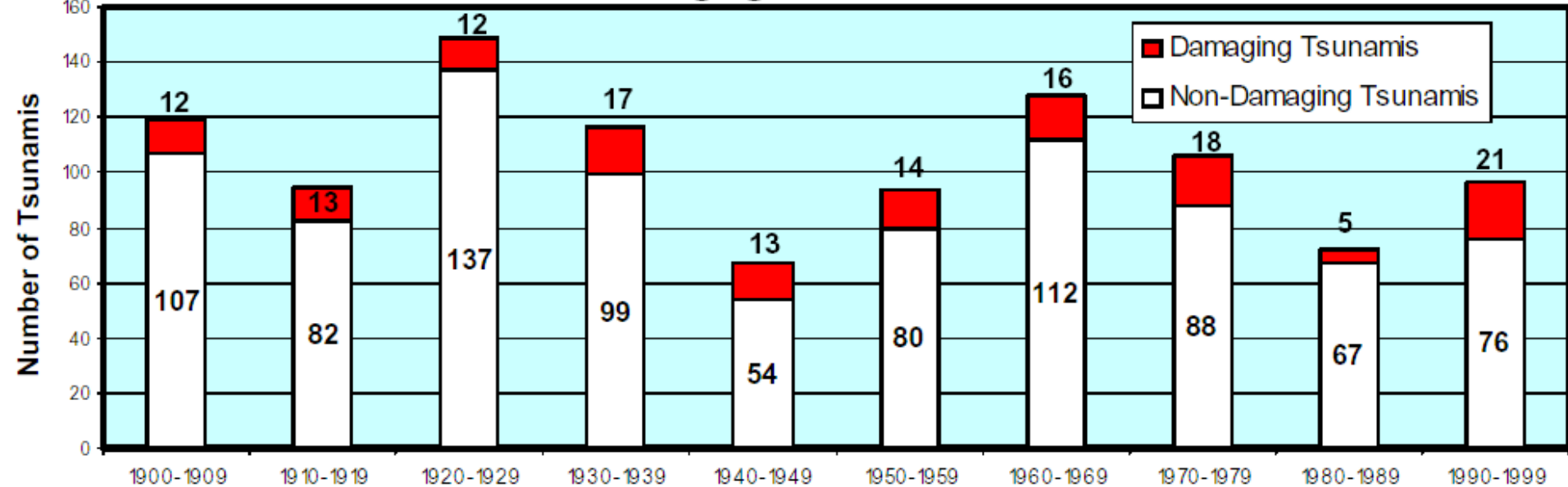
Статистика ущерба стихийных бедствий:

1. Наводнения (40%)
2. Тропические циклоны (20%)
3. Землетрясения (15%)
4. Засуха (15%)

(Цена человеческой жизни 360 тысяч долларов)

3 миллиона людей были жертвами природных катастроф за 1970-1990, 300 тысяч – только во время цунами 2004 г.

Цунами – убийца номер 5



Статистика цунами в 20-м столетии (NGDC)

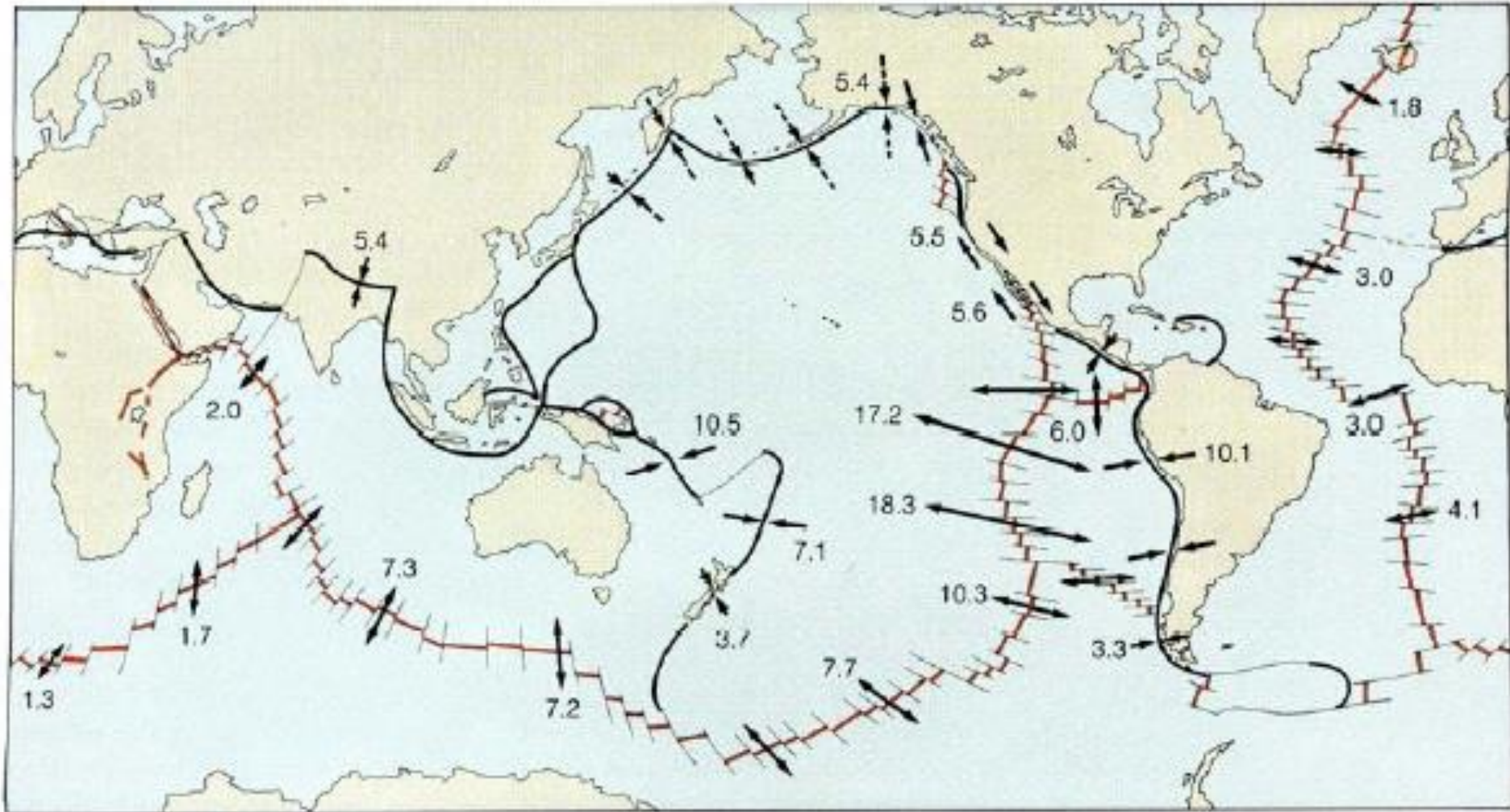
В среднем - 10 цунами в год,
(одно из них катастрофическое)

World Tsunami Awareness Day, November 05

Генеральная Ассамблея ООН постановила объявить **5 ноября Всемирным днем распространения информации о цунами** для повышения осведомленности общественности об этом стихийном бедствии. Выбор даты 5 ноября связан с историей "Инамура-но-хи" о японском крестьянине, который 5 ноября 1854 года пожертвовал своим имуществом, чтобы спасти жизни жителей своей деревни. Он поджёг принадлежавшие ему снопы риса, и, тем самым, быстро оповестил людей о цунами, благодаря чему они успели покинуть деревню, а затем приложил все силы для того, чтобы отстроить деревню заново. **Возвел насыпь и засадил ее деревьями для того, чтобы защитить деревню от возможных будущих цунами.**

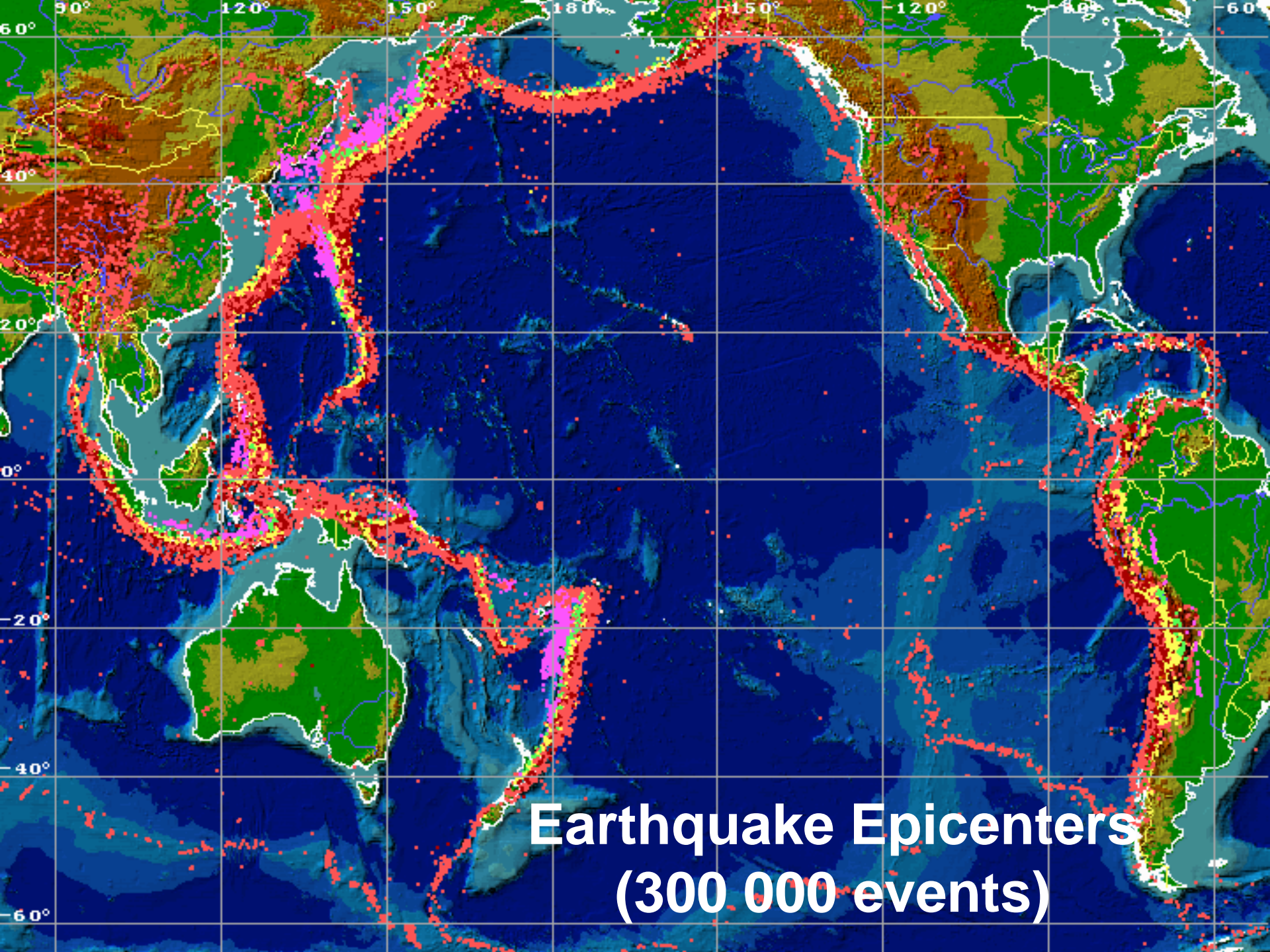
Цунами от подводных землетрясений

Движение тектонических плит

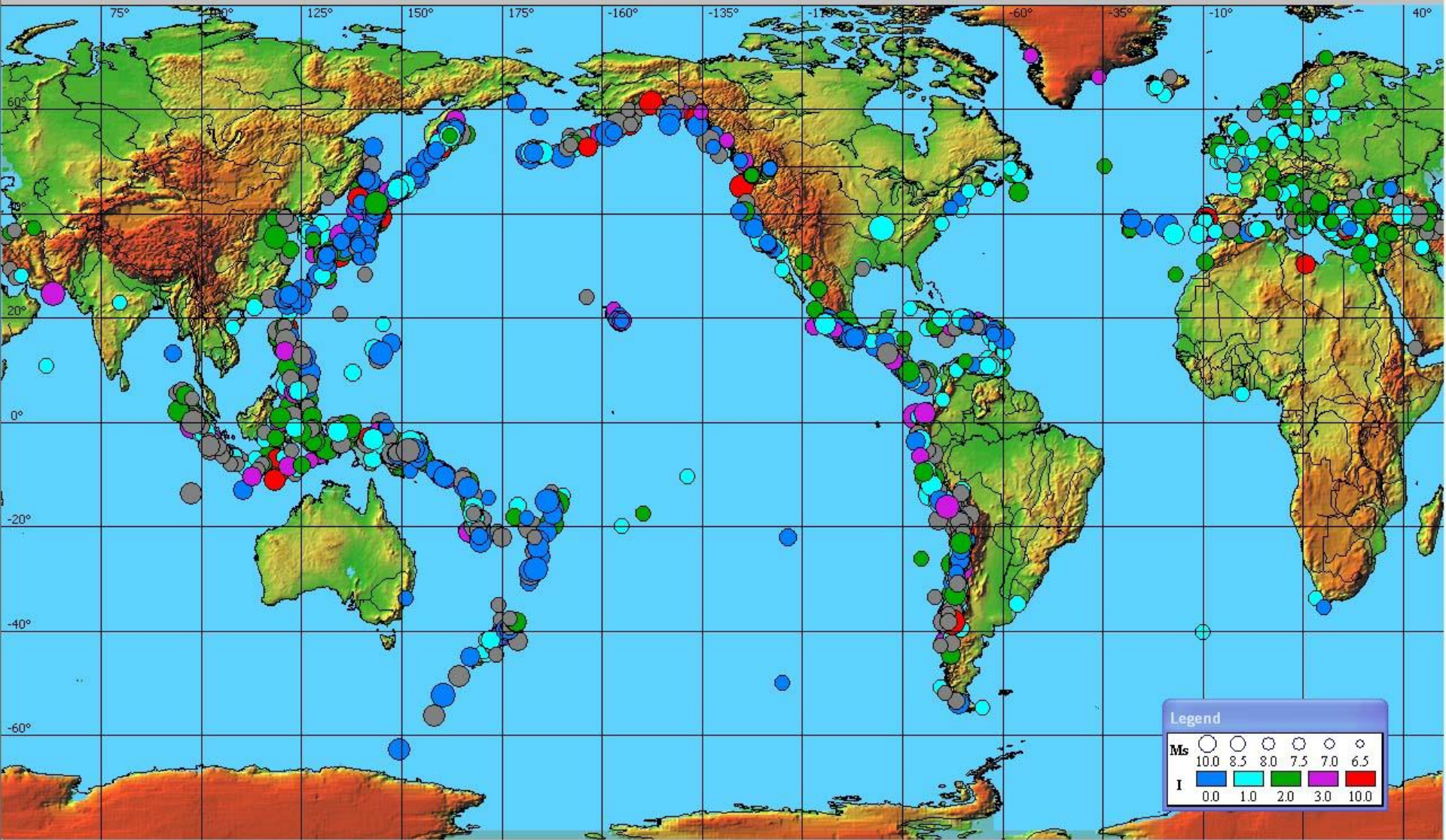


Скорость в мм/год

Hamblin & Christiansen, 1995



**Earthquake Epicenters
(300 000 events)**



Распределение цунами в мире

Gusiakov, 2005

Шкала Рихтера для землетрясений

(логарифм энергии извержений)

M = 6 \longleftrightarrow **1 атомная бомба**

M < 2 – микроземлетрясения

M = 4-5 и выше (несколько тысяч ежегодно) - **опасны**

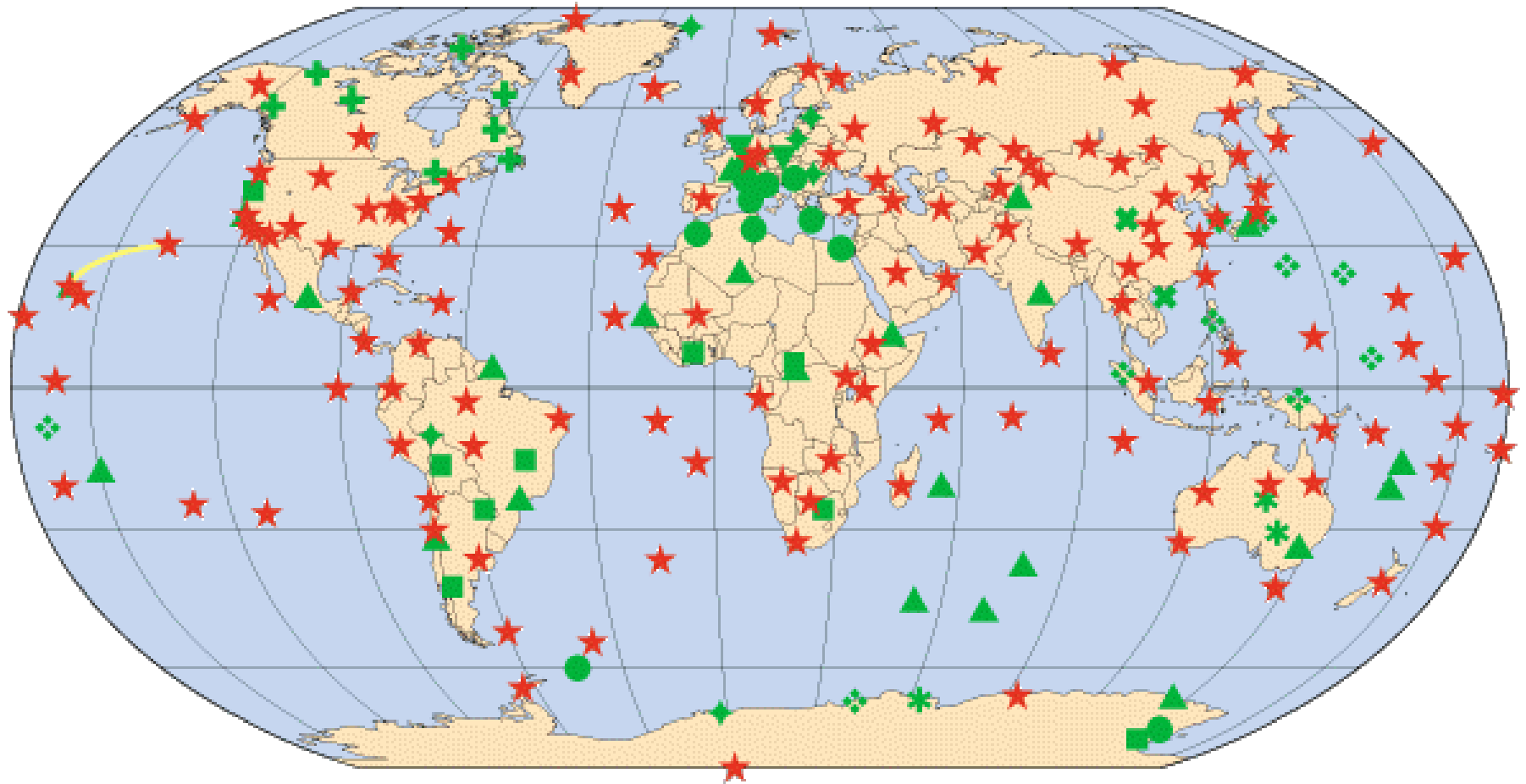
M = 8 – сильные землетрясения (один в год)

M = 9-10 – предел прочности Земли

Цунами 2004 г. в Индийском океане **M = 9.3**

SEISMOGRAPHIC NETWORK

GSN & FEDERATION OF DIGITAL BROADBAND SEISMIC NETWORKS (FDSN)



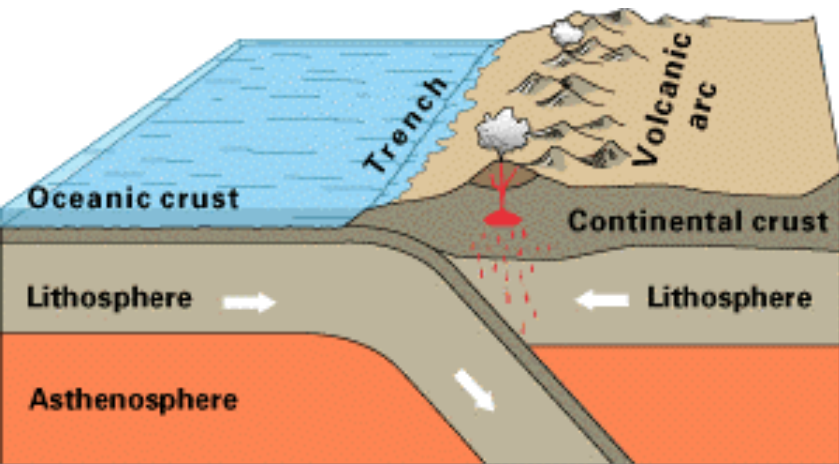
IRIS GSN	France	Japan	Italy	Germany	China	Australia	U.S.	Canada	Other
★	▲	◆	●	◇	✱	✱	■	+	▼

Mercalli Intensity Scale effect on Earth's surface

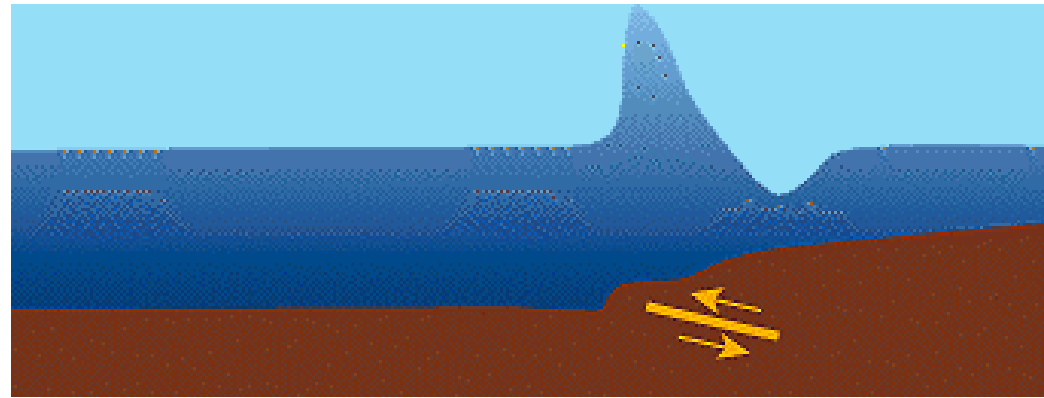
- I. Not felt except by a very few under especially favorable conditions**
- II. Felt only by a few persons at rest, especially on upper floors of buildings**
- III. Felt quite noticeably by persons indoors, especially on upper floors. Vibrations similar to the passing of a heavy train**
- IV. Felt indoors by many. Dishes, windows disturbed; walls make cracking sound. Like heavy truck striking building**
- V. Felt by nearly everyone; many awakened. Some dishes, windows broken. Pendulum clocks may stop**
- VI. Felt by all, many frightened. Some heavy furniture moved; a few instances of fallen plaster. Damage slight**
- VII. Damage slight to moderate in well-built ordinary structures; considerable damage in poorly built or badly designed structures; some chimneys broken**
- VIII. Considerable damage in ordinary substantial buildings with partial collapse. Damage great in poorly built structures. Fall of chimneys, factory stacks, columns, monuments, walls. Heavy furniture overturned**
- IX. Damage great in substantial buildings, with partial collapse. Buildings shifted off foundations**
- X. Some well-built wooden structures destroyed; most frame structures destroyed with foundations. Rails bent**
- XI. Few, if any (masonry) structures remain standing. Bridges destroyed. Rails bent greatly**
- XII. Damage total. Lines of sight and level are distorted. Objects thrown into the air.**

Two earthquakes: 1933 and 1956

Генерация цунами

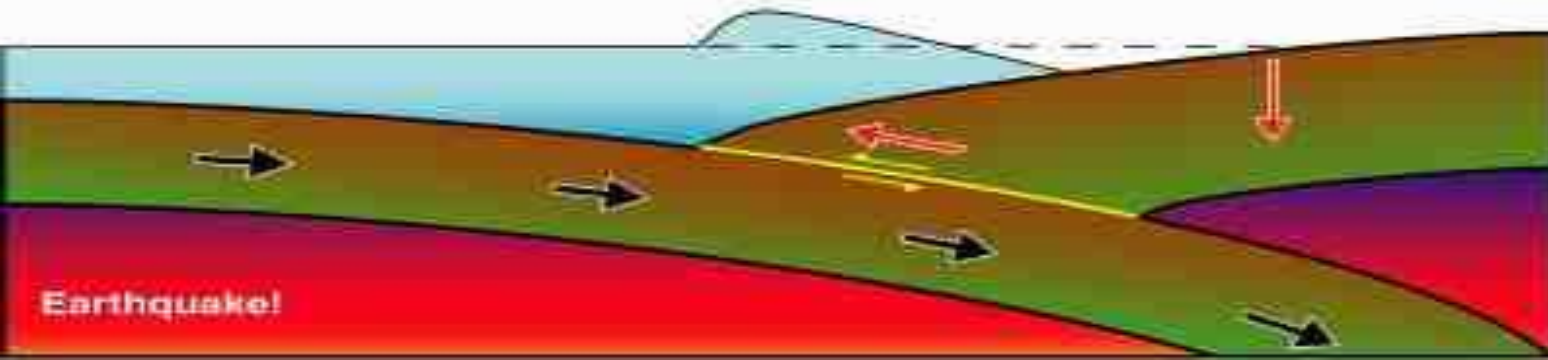
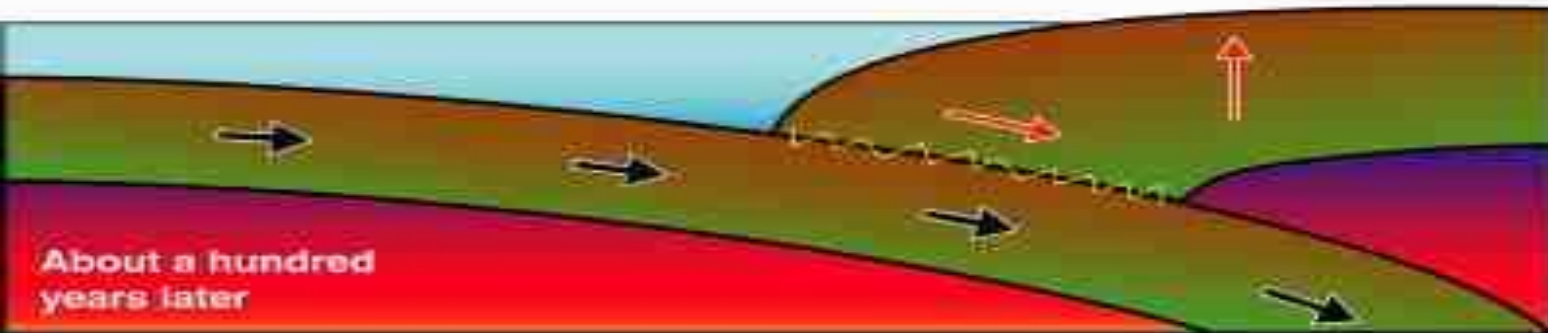
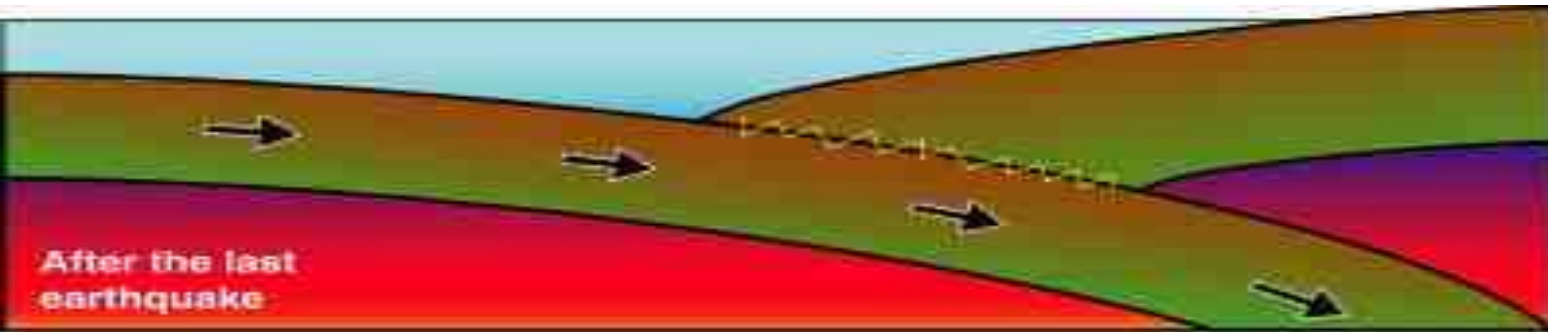


Oceanic-continental convergence



Землетрясения приводят к смещению морского дна, которые вызывают колебания столба воды и переходу потенциальной энергии колебаний в кинетическую энергию волн цунами, распространяющихся в горизонтальном направлении

Накопление напряжений на границах плит (сотни лет)



Волны цунами охватывают всю толщу воды.

С какой скоростью бегут волны?

Предположения:

- 1. Волны существуют благодаря полю тяжести**
- 2. Волны охватывают всю толщу воды**

У нас есть два параметра:

- 1. Ускорение силы тяжести - g**
- 2. Глубина бассейна - H**

С какой скоростью бегут волны?

Волны цунами охватывают всю толщу воды.

С какой скоростью бегут волны?

Предположения:

- 1. Волны существуют благодаря полю тяжести**
- 2. Волны охватывают всю толщу воды**

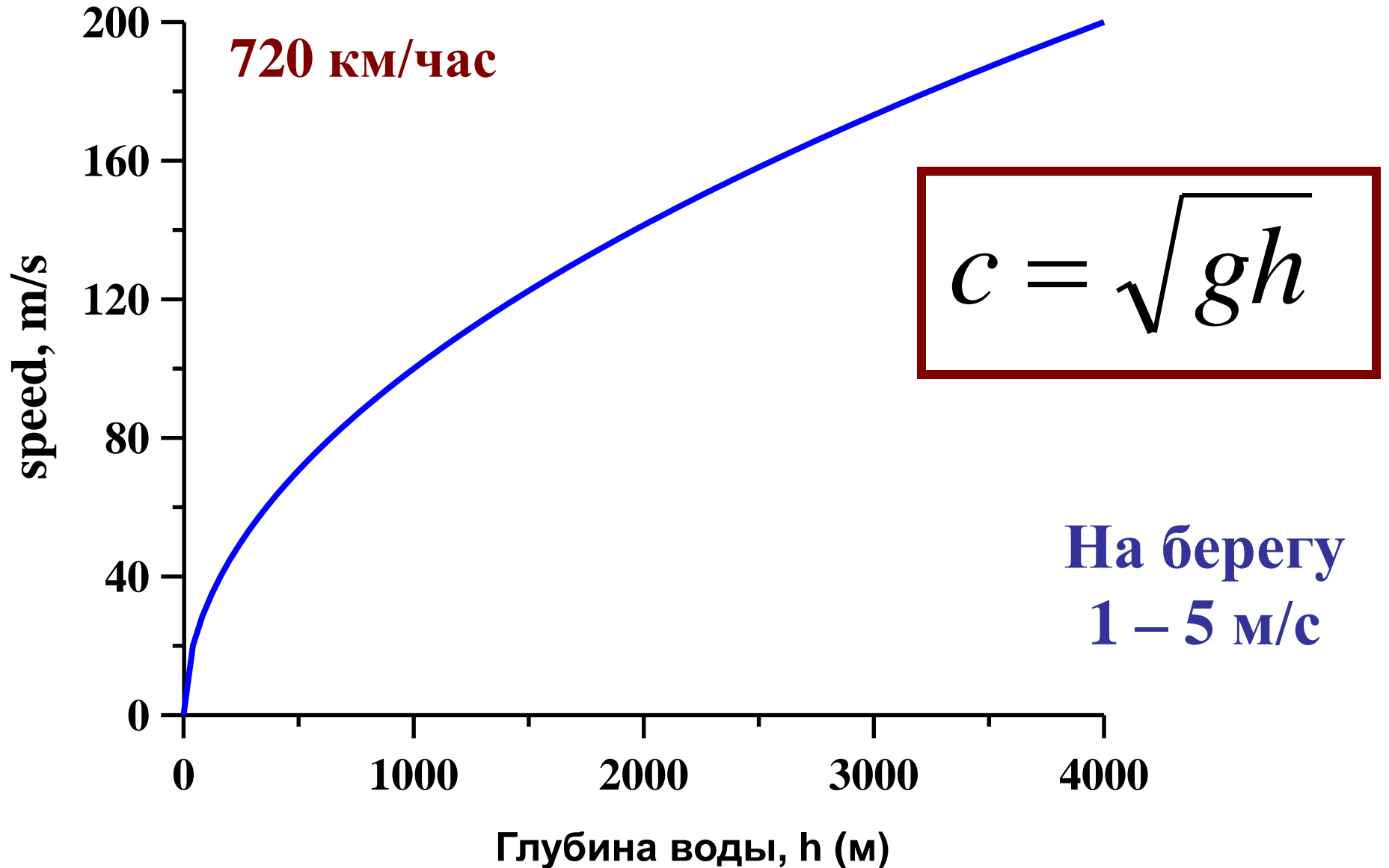
У нас есть два параметра:

- 1. Ускорение силы тяжести - g**
- 2. Глубина бассейна - h**

С какой скоростью бегут волны?

$$c \sim \sqrt{gh}$$

Скорость волн цунами



Если цунами зародилось в Чили, то когда оно придет в Россию?

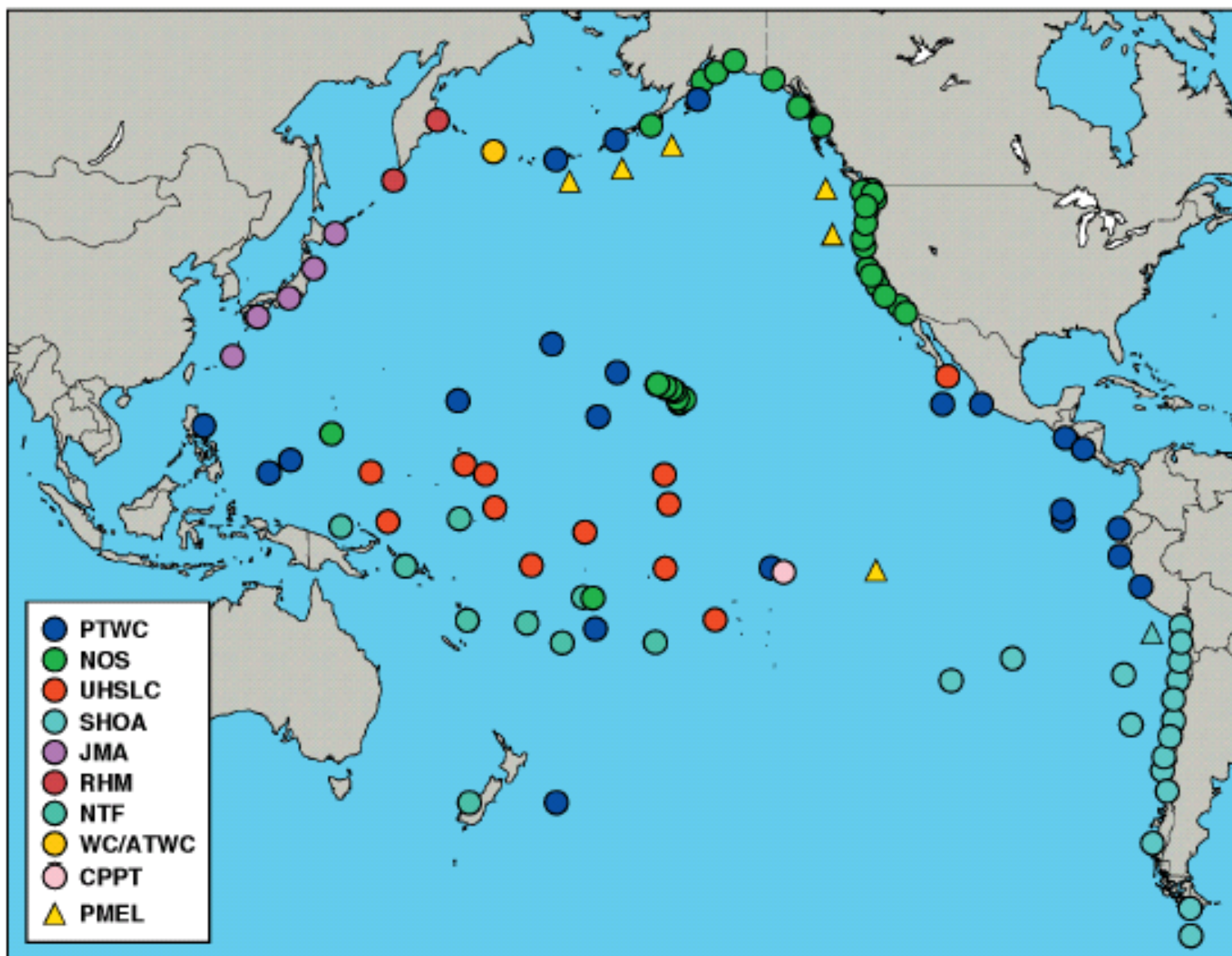
Расстояние примерно 20 тысяч км

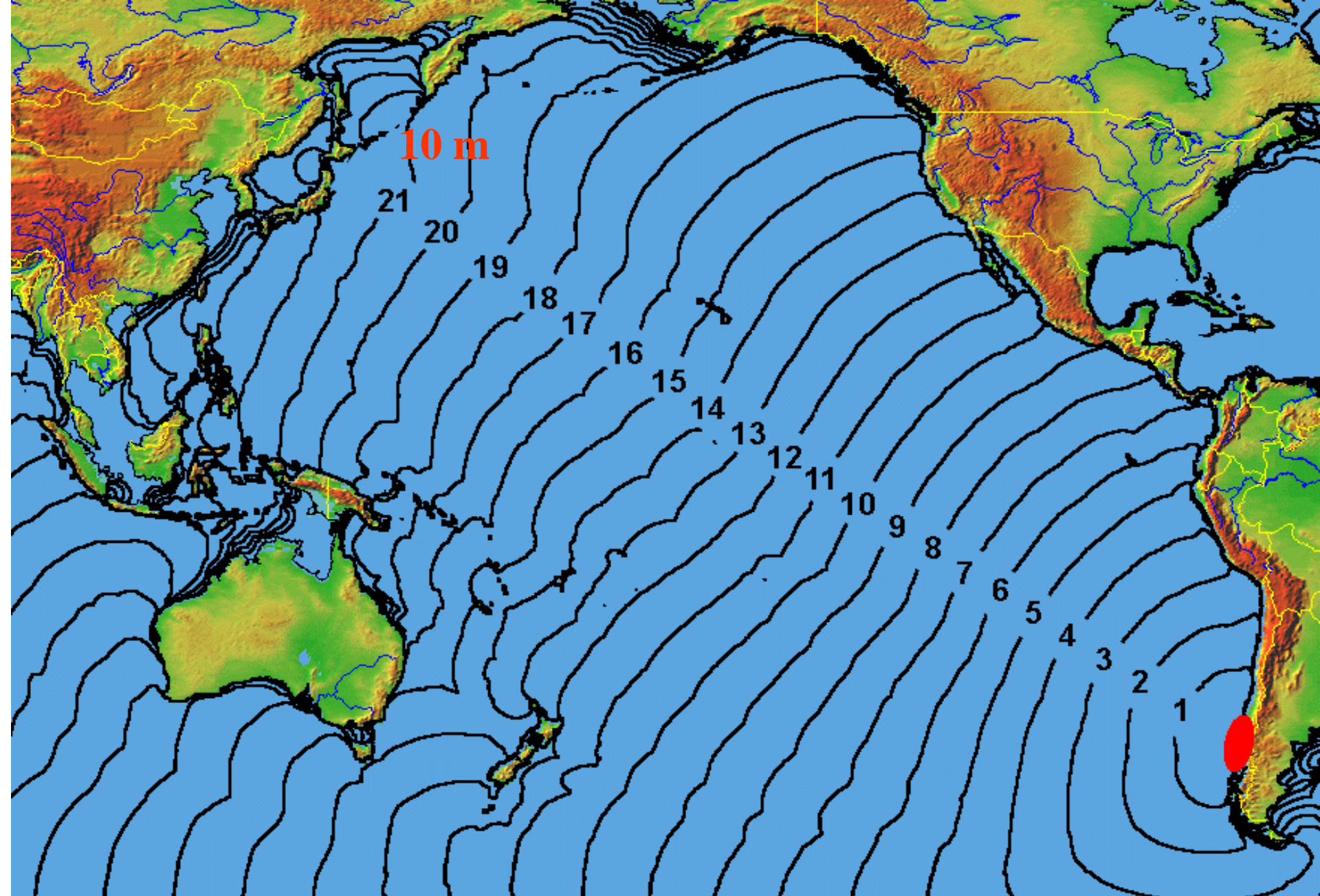
Глубина океана 4 км

ВРЕМЯ??

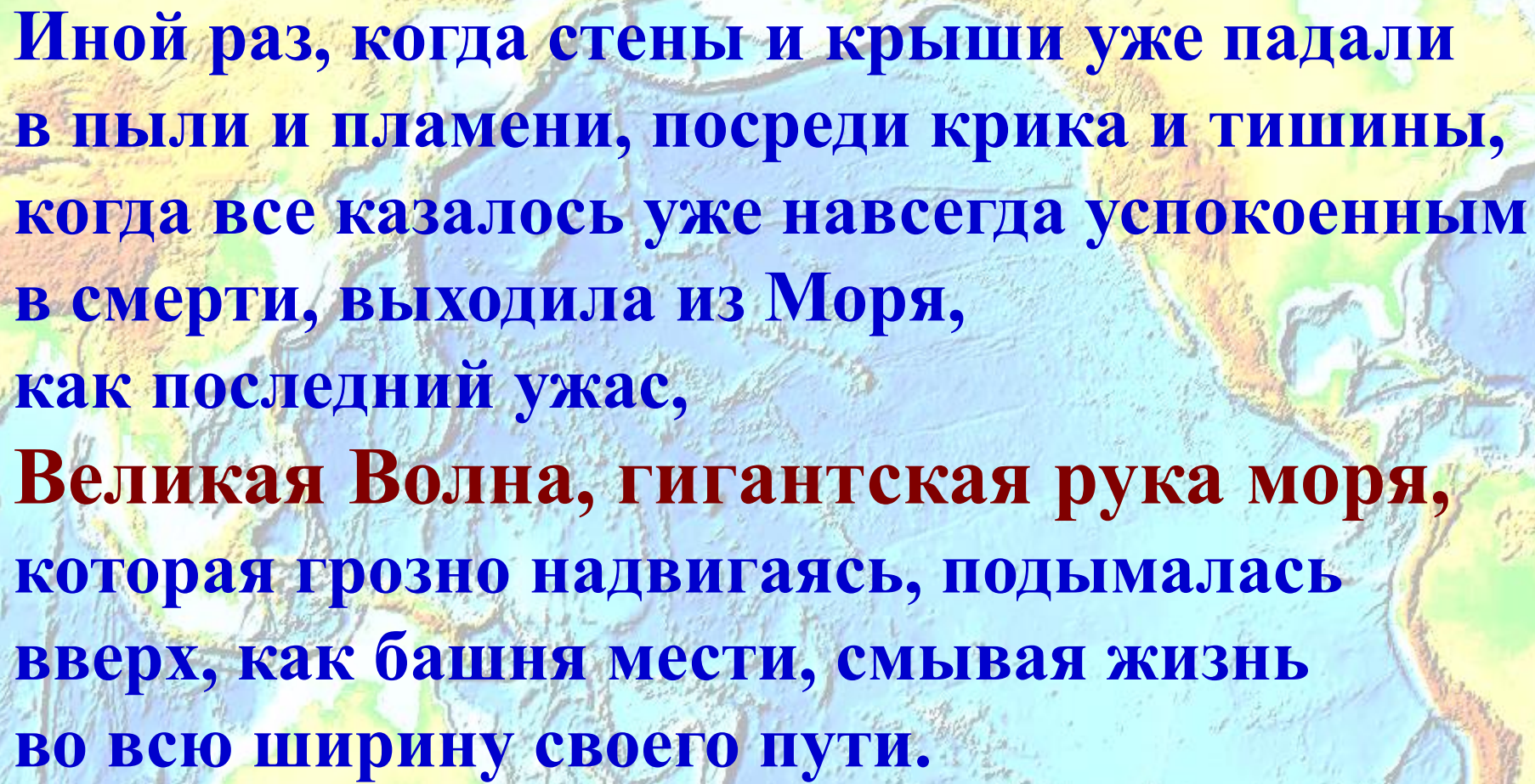


IOC ICG/ITSU





Чилийское цунами 22 мая 1960 года

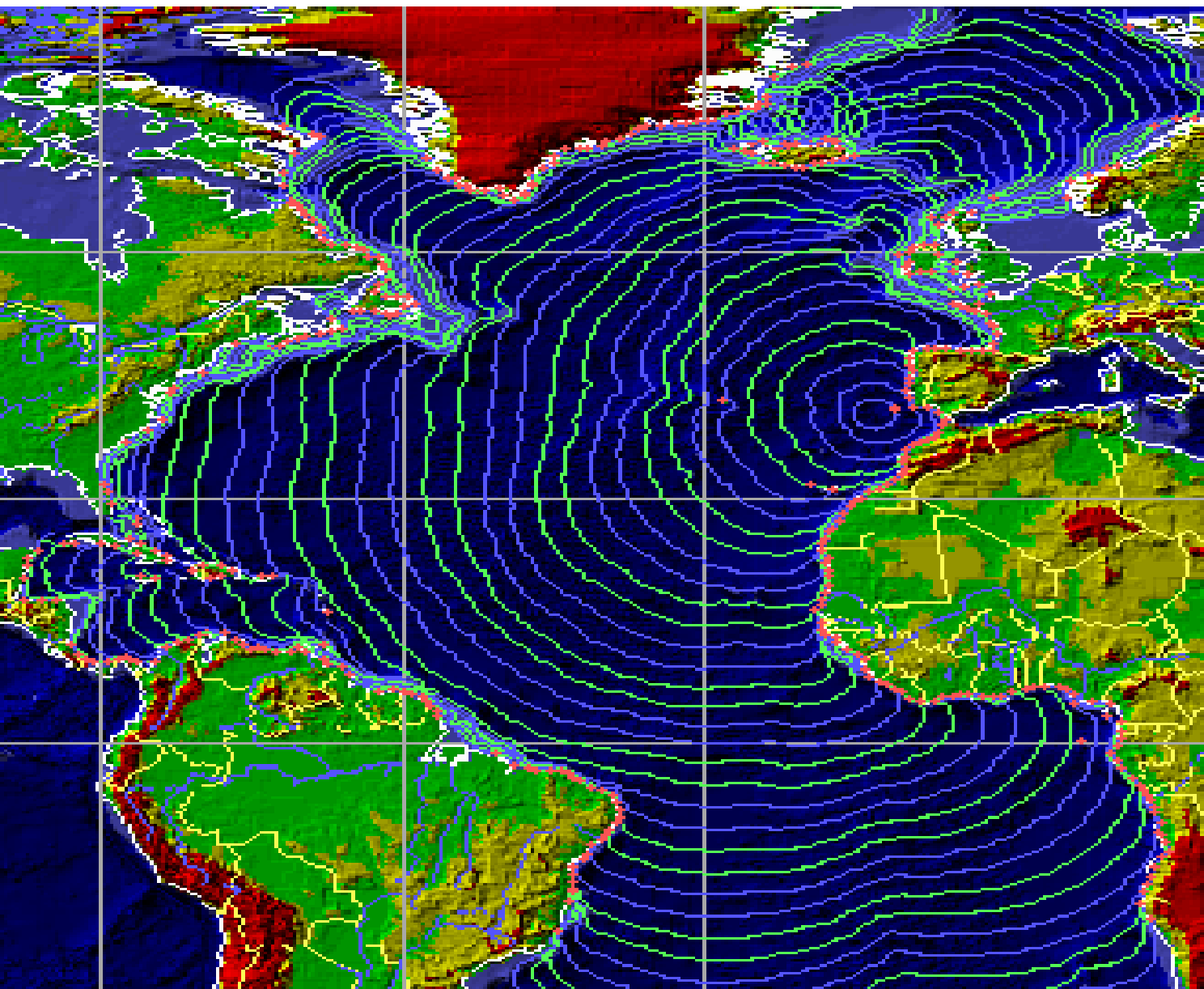


Иной раз, когда стены и крыши уже падали
в пыли и пламени, посреди крика и тишины,
когда все казалось уже навсегда успокоенным
в смерти, выходила из Моря,
как последний ужас,
Великая Волна, гигантская рука моря,
которая грозно надвигаясь, подымалась
вверх, как башня мести, смывая жизнь
во всю ширину своего пути.

Цунами 1960 года

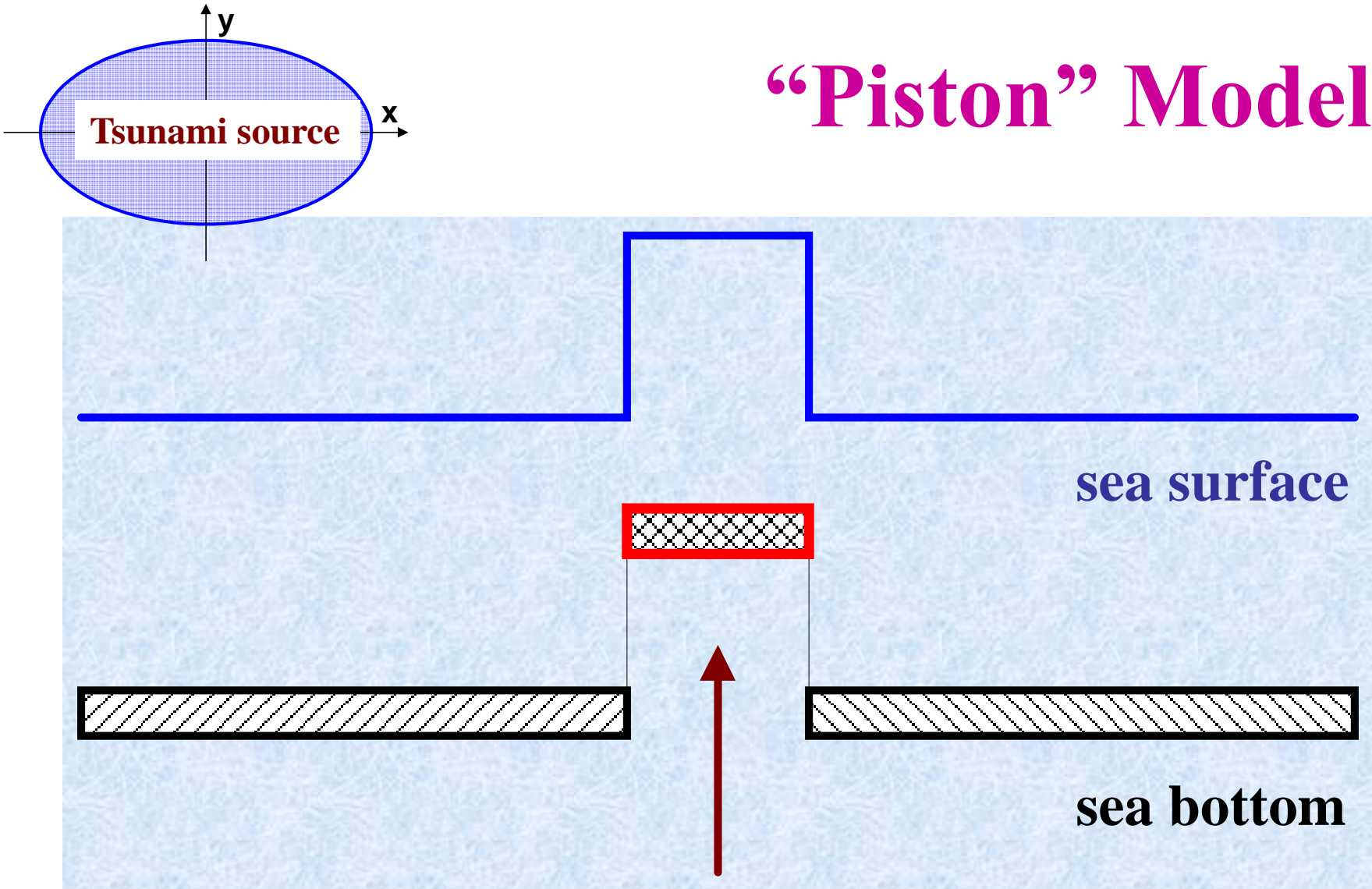
*Пабло Неруда (Чили)
«Скитаясь по Вальпараисо»*

Цунами 1755 в Лиссабоне



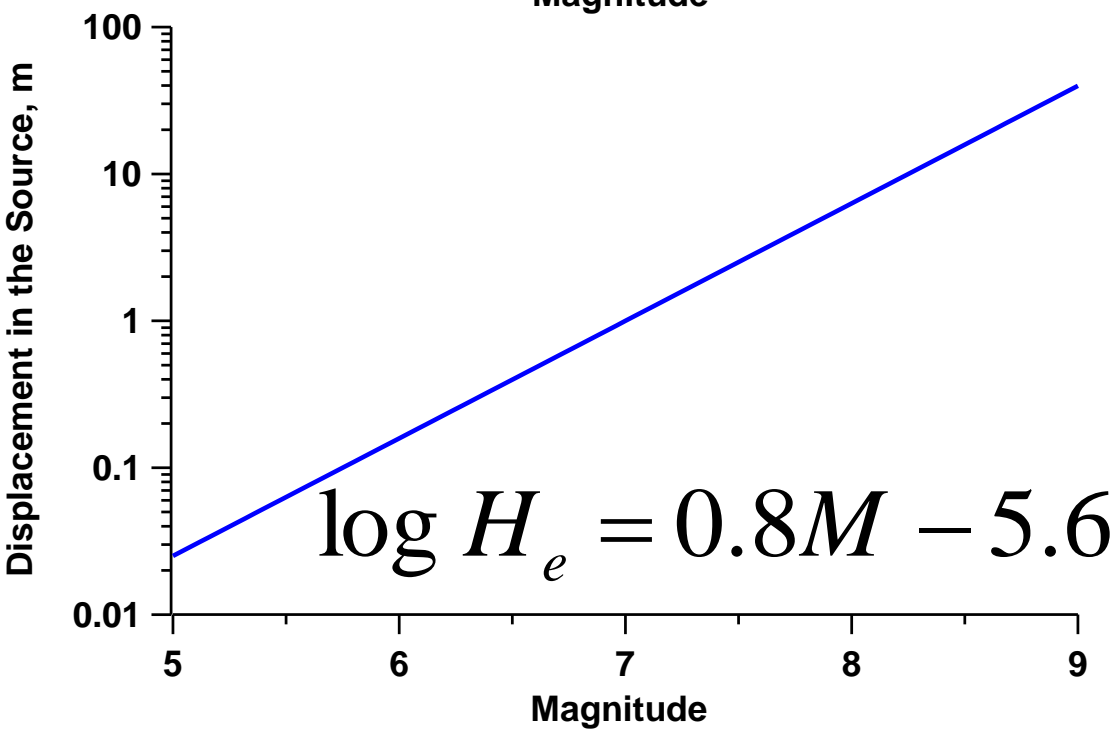
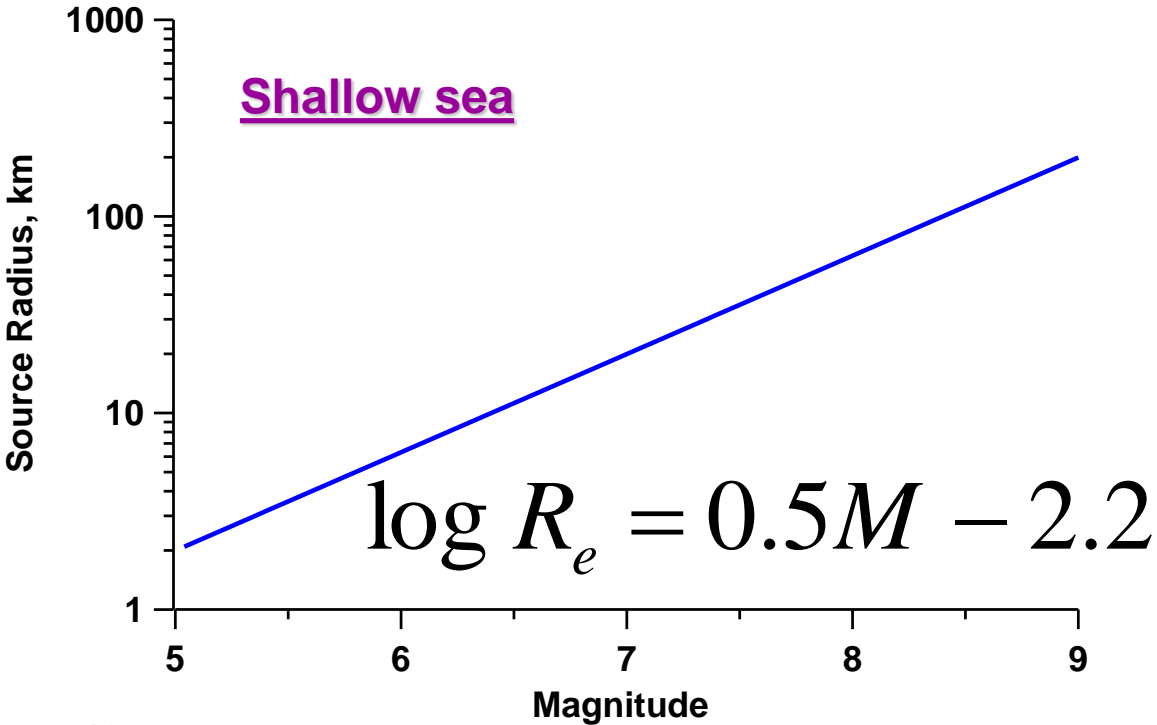
Через 6 часов
Волна
достигла
Карибы
с высотой
до 7 м

“Piston” Model



Dimensions – function of earthquake parameters

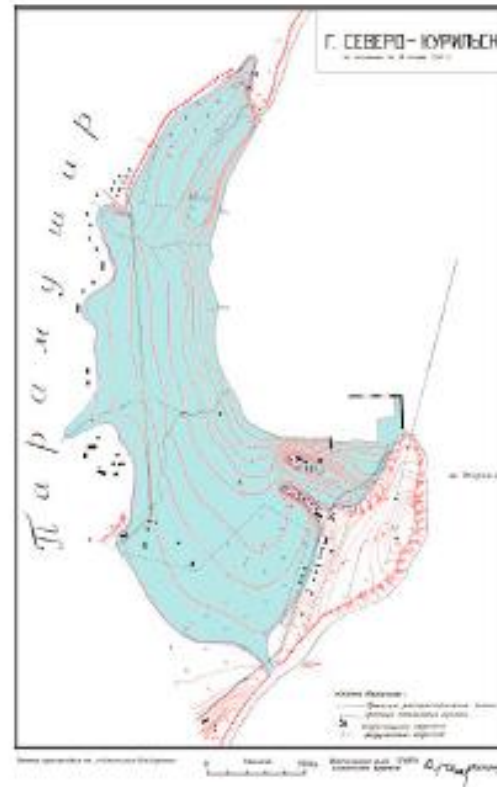
“Seismic” Tsunami Source



**M –
Earthquake
Magnitude**

**M = 6 →
1 atomic bomb**

5 ноября 1952 года произошла самая страшная природная катастрофа в истории Сахалинской области. В результате выхода на северные Курильские острова гигантской волны цунами практически полностью был уничтожен Северо-Курильск (на город обрушились волны, достигавшие в высоту **10-15 метров**), а также многие прибрежные поселки. На Северных Курилах погибли **2336 человек**



**Карта Северо-Курильска: до (слева)
и затопленной зоны (справа)**

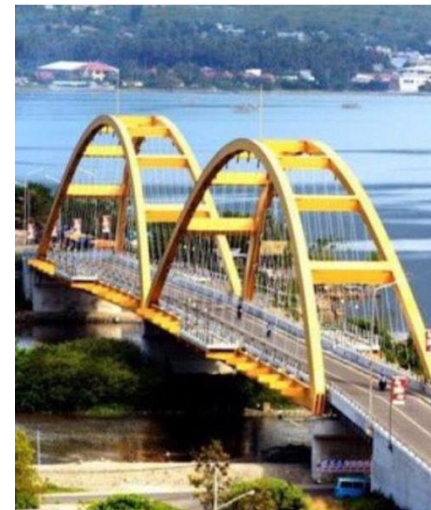
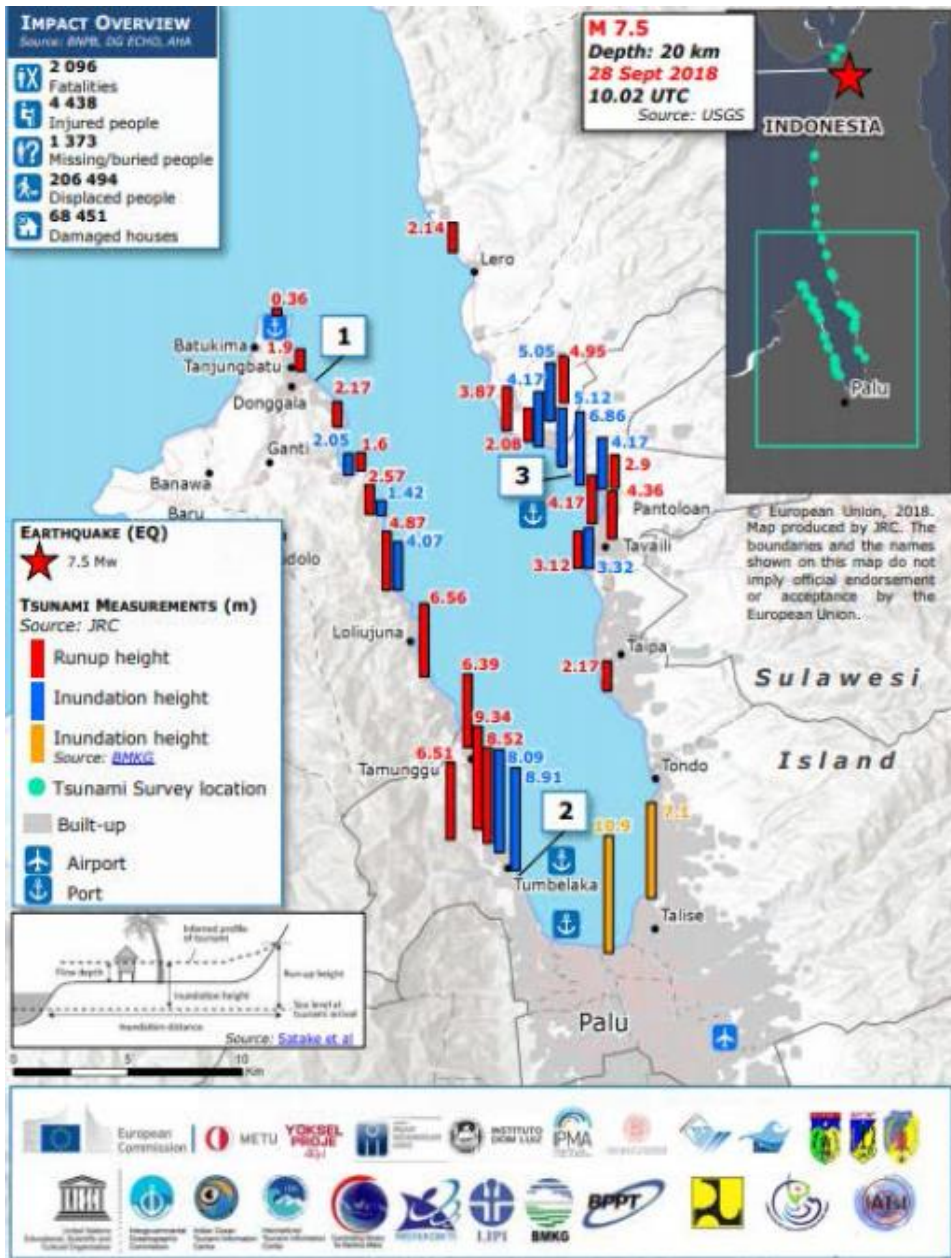
Перенесенный дом



Palu, Sulawesi, Sunday 28 Sept, City Day Holiday

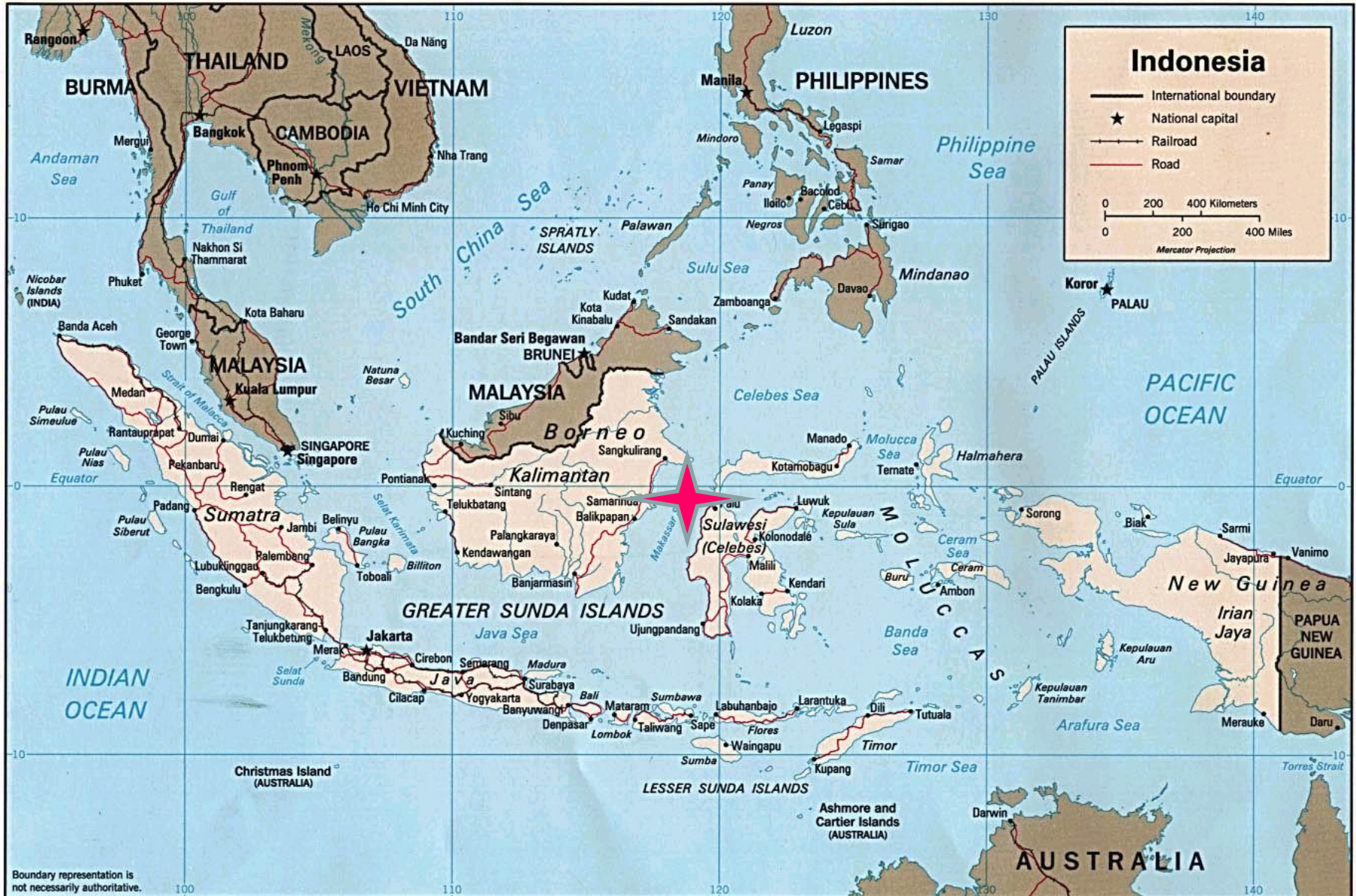
Typical Indonesian House, 0-5 min after the earthquake





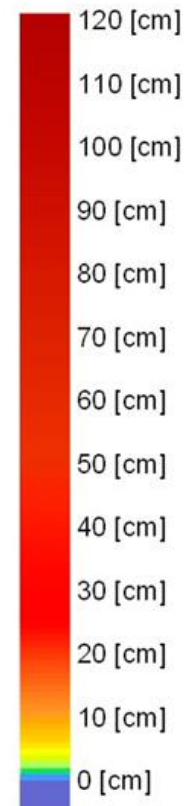
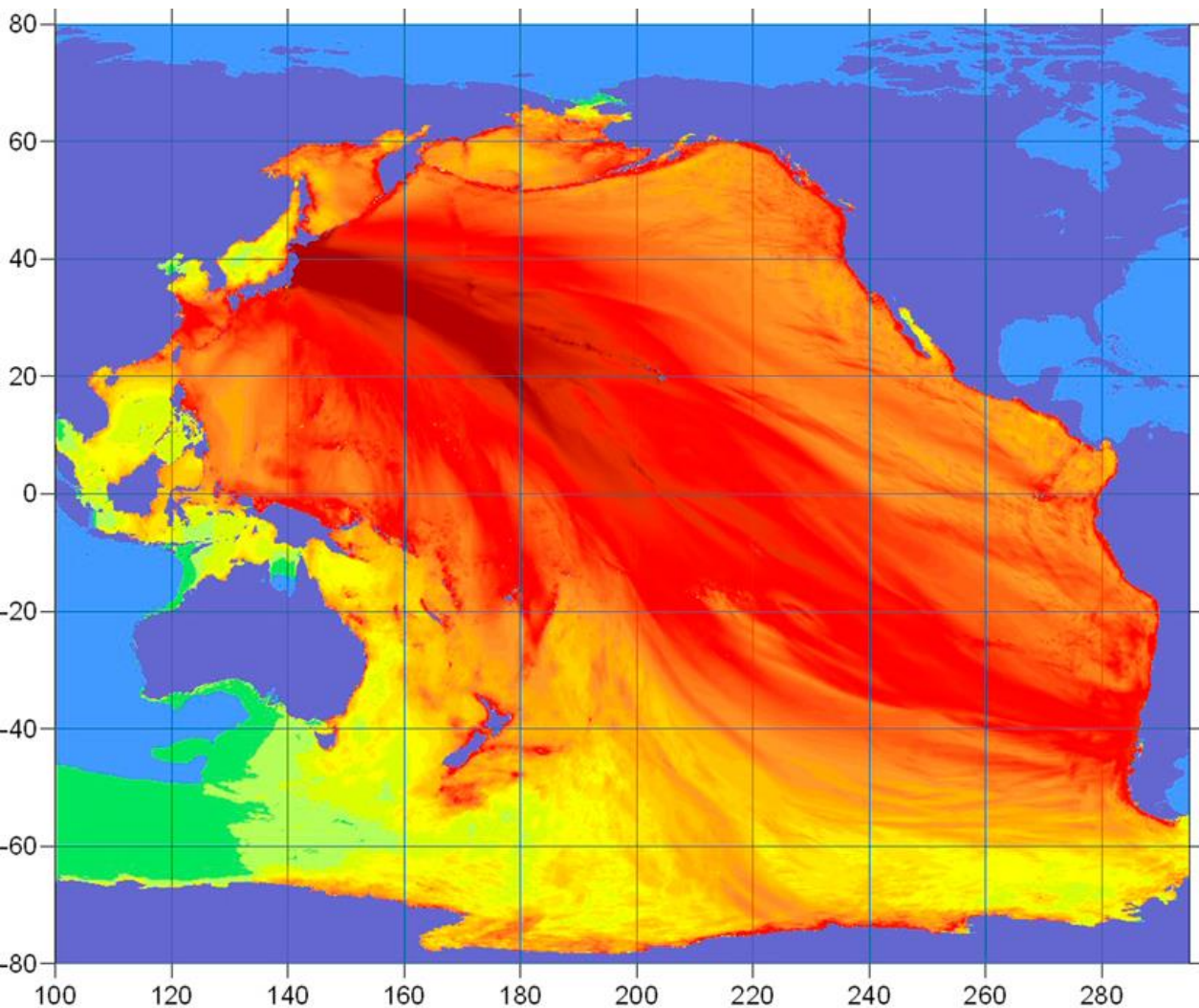
Int. Field Survey, October - November

28 September 2018, Indonesia, Sulawesi Island more than 2000 people were killed; wave amplitudes attain up to 11 m



Япония, 11 марта 2011 года

$M = 9.0$



Расчеты
высот
цунами

ANN HD















Атомная станция Fukushima

ДО



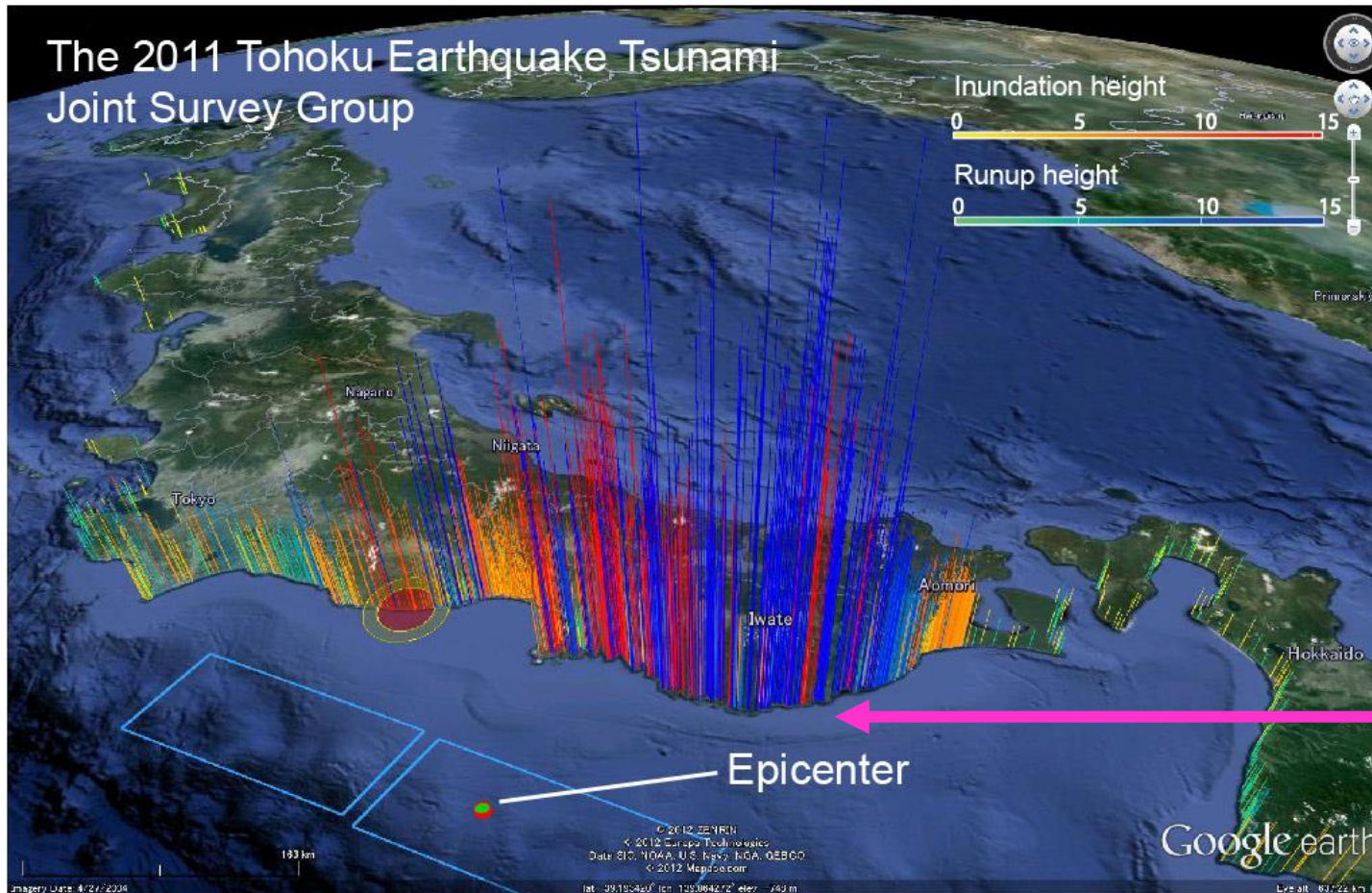
Атомная станция Fukushima

ПОСЛЕ



2011 East Japan-off Pacific coast earthquake

The earthquake triggered extremely destructive tsunami waves of up to **37 m** (runup height) in Koborinai port.



Koborinai

Field survey results by The 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Joint Survey Group

Цунами в Индийском океане, 26/12 2004

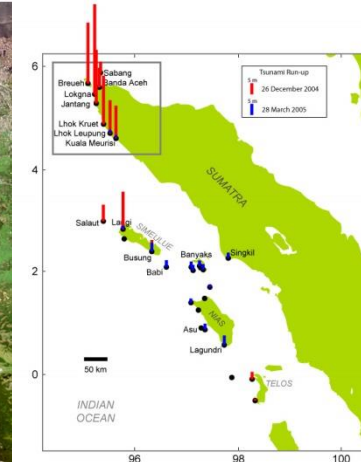
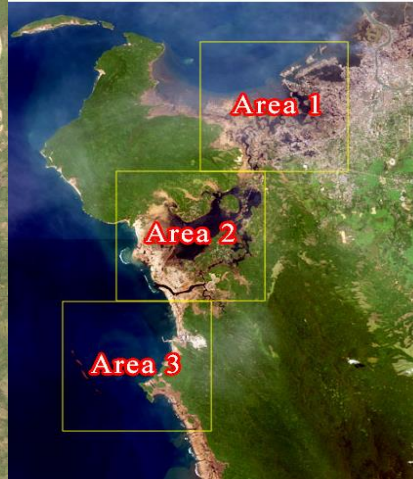
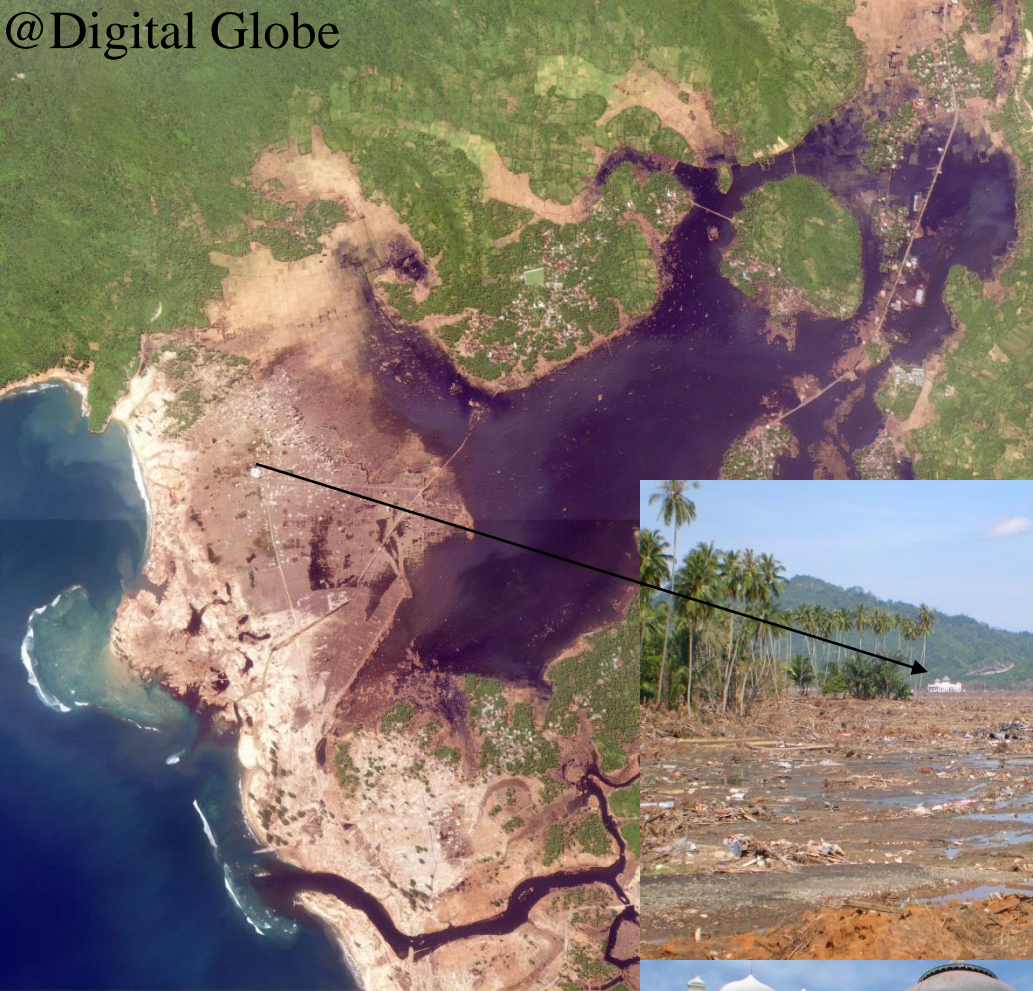
(300 тысяч погибло)

Теперь $M = 9.3$



Видео из Ачеха – неготовность к цунами



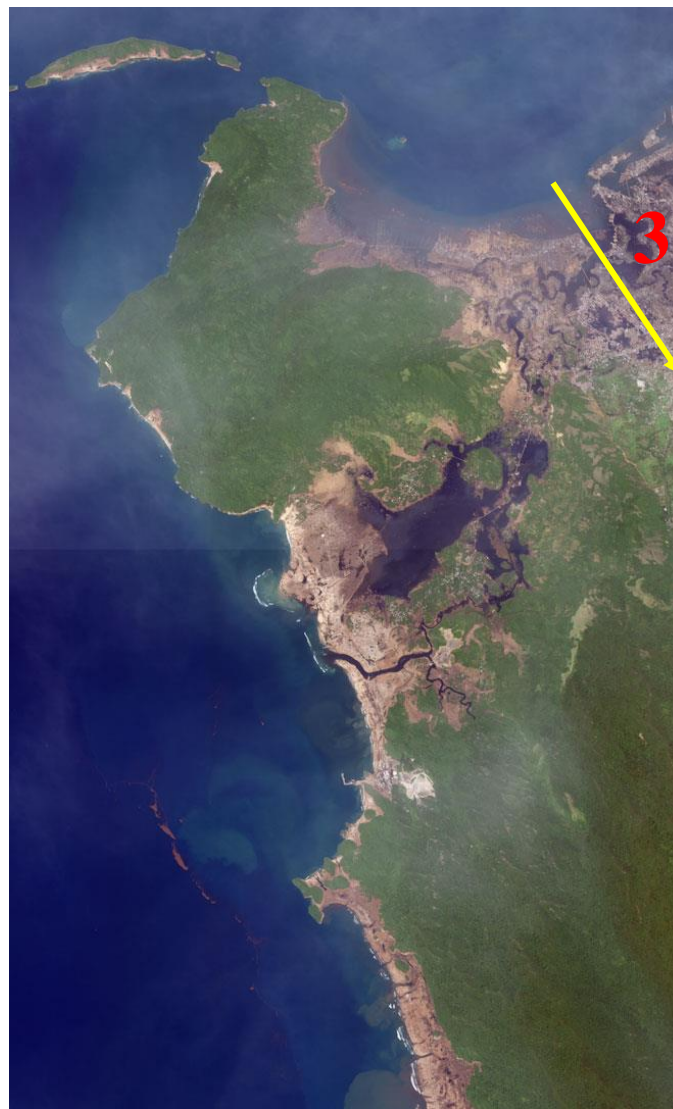


**Типичные
разрушения**

Снимки с космоса



ДО



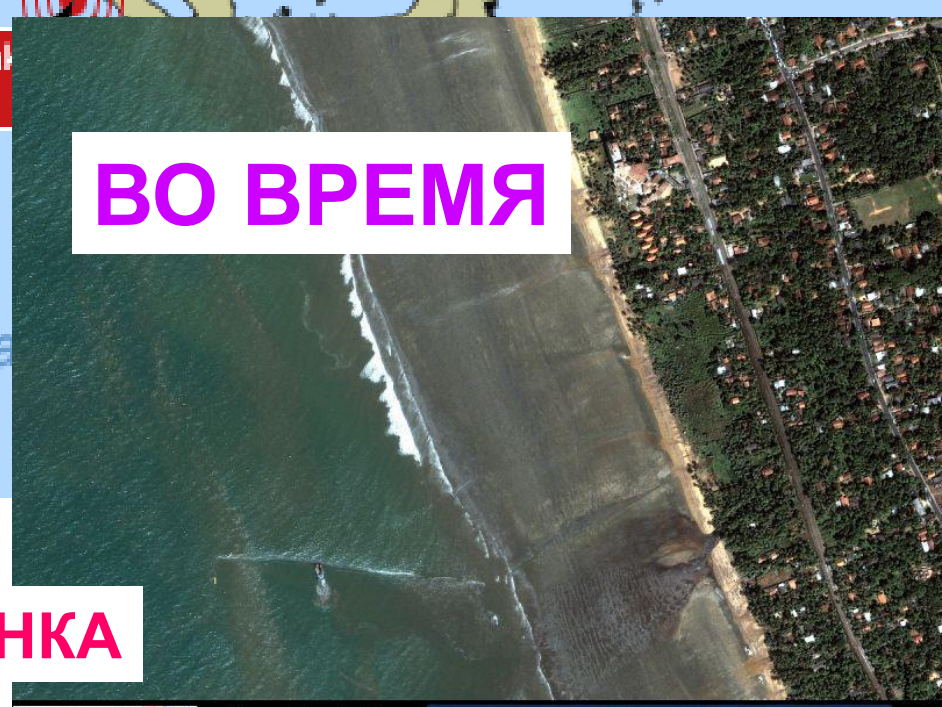
ПОСЛЕ



ДО

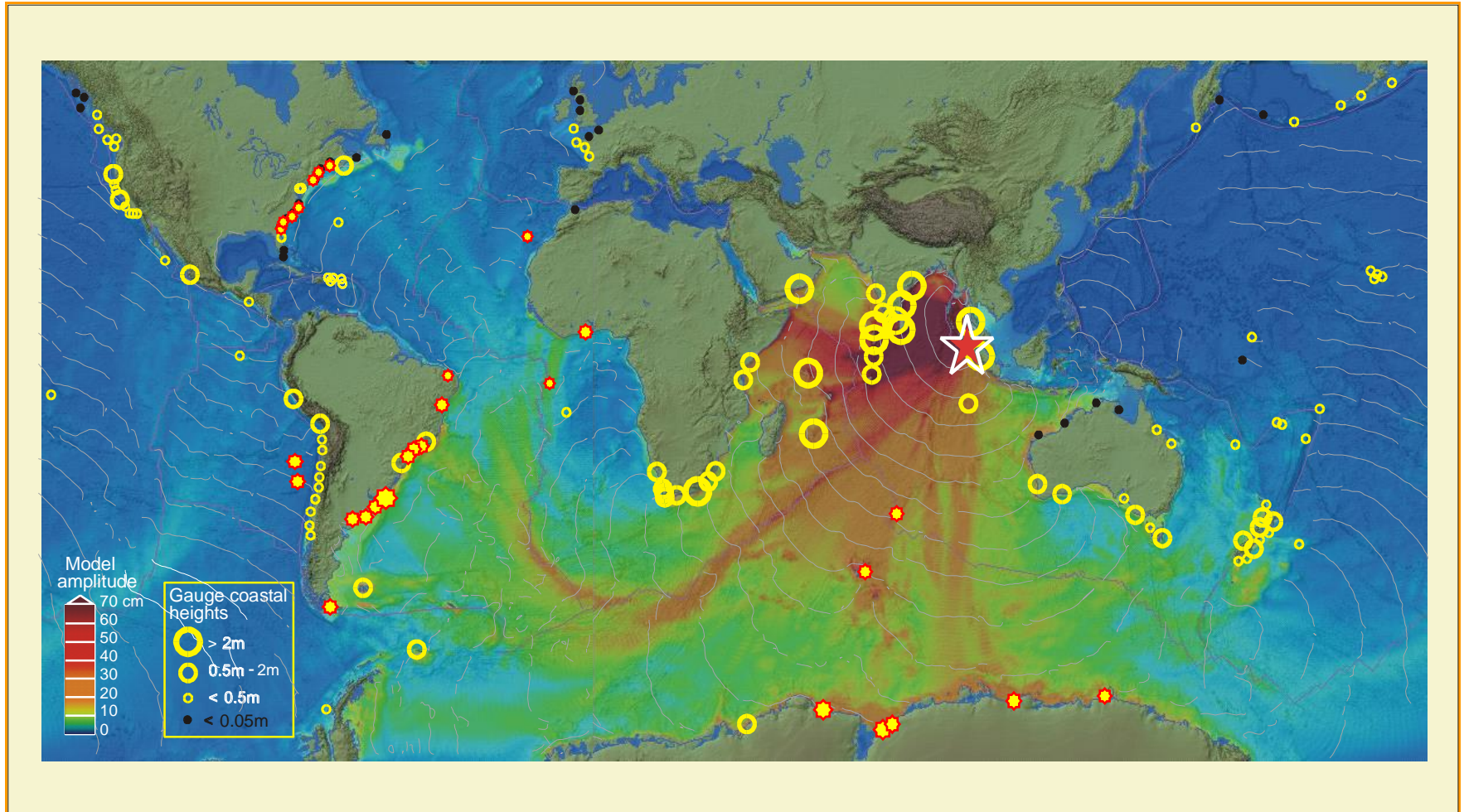


ВО ВРЕМЯ



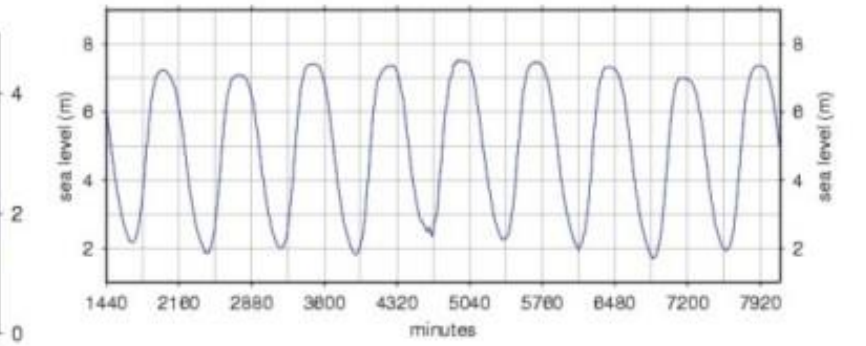
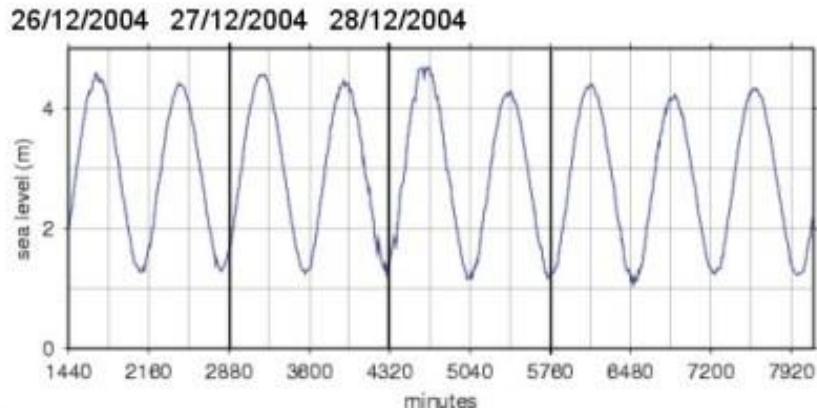
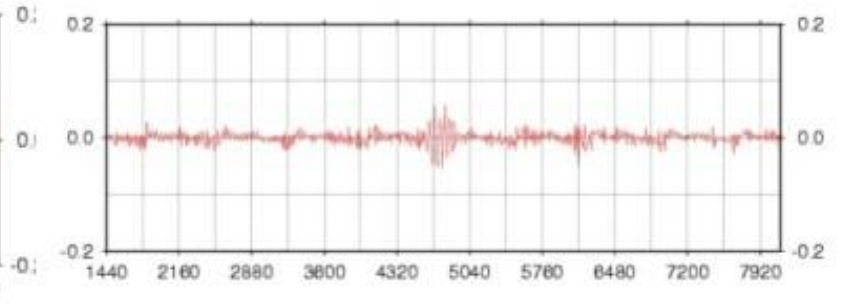
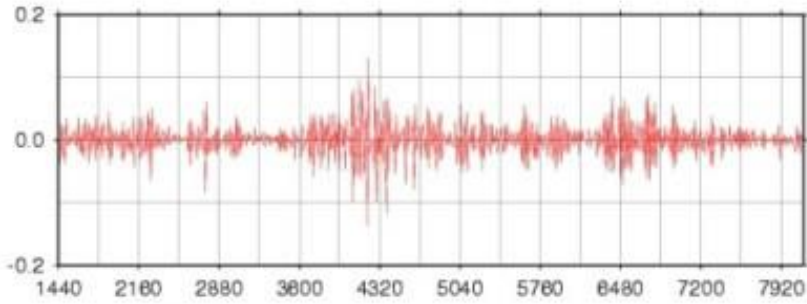
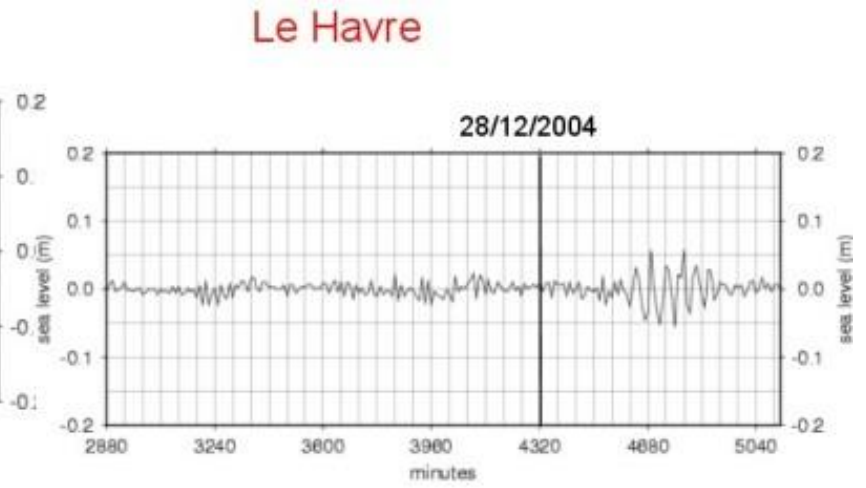
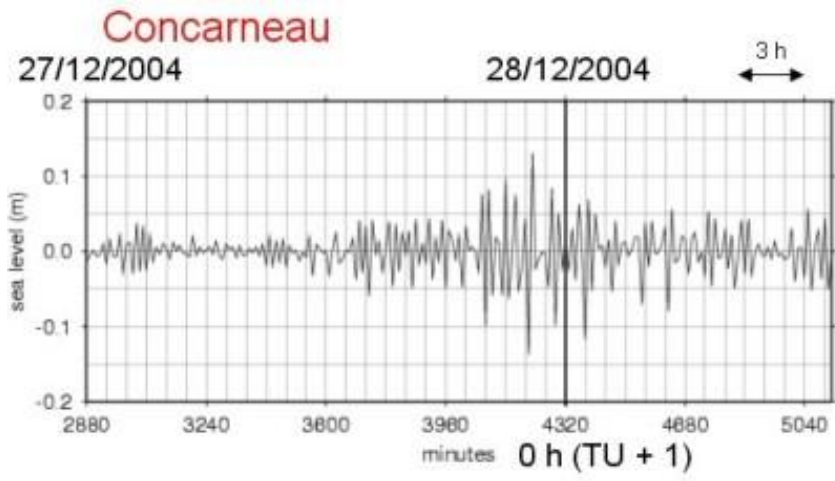
ШРИ ЛАНКА

Цунами 2004 года зарегистрировано во всем мире



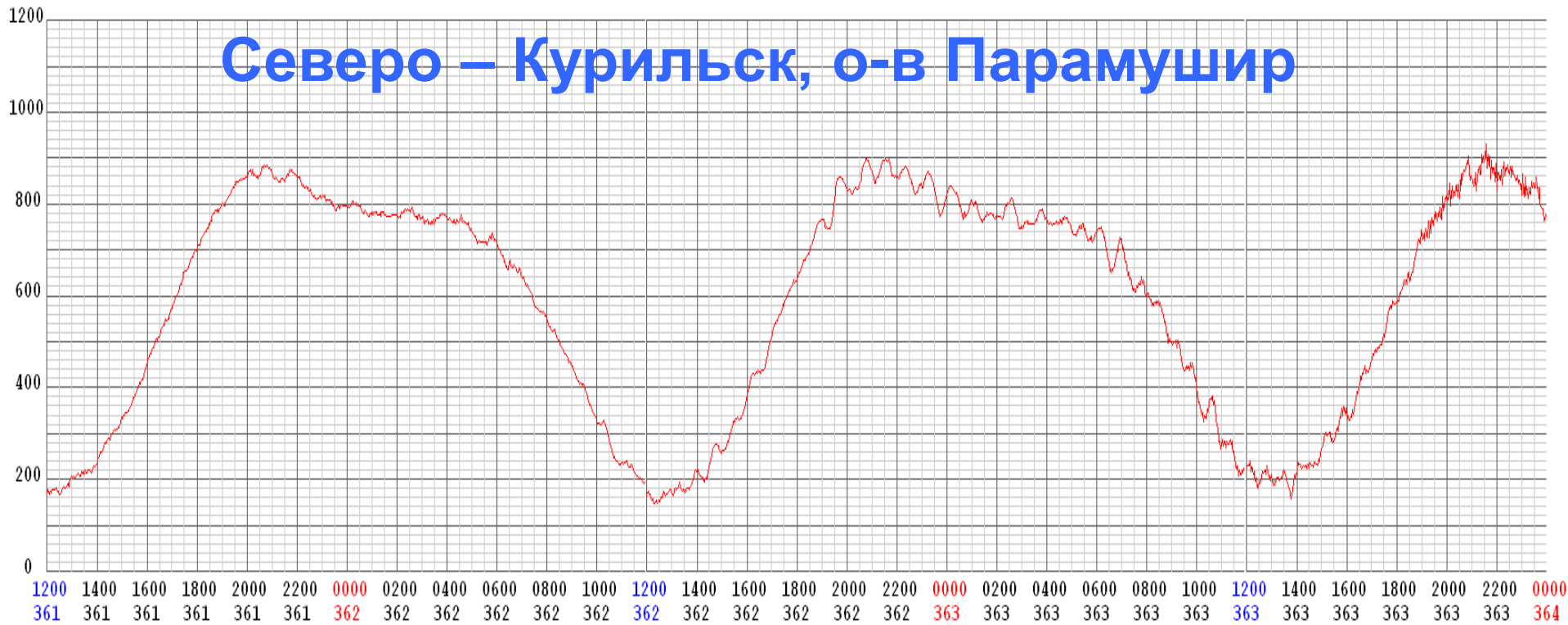
Maximum tsunami amplitudes computed by V.V. Titov (PMEL/NOAA)

Titov, Rabinovich, et al., Science, 2005

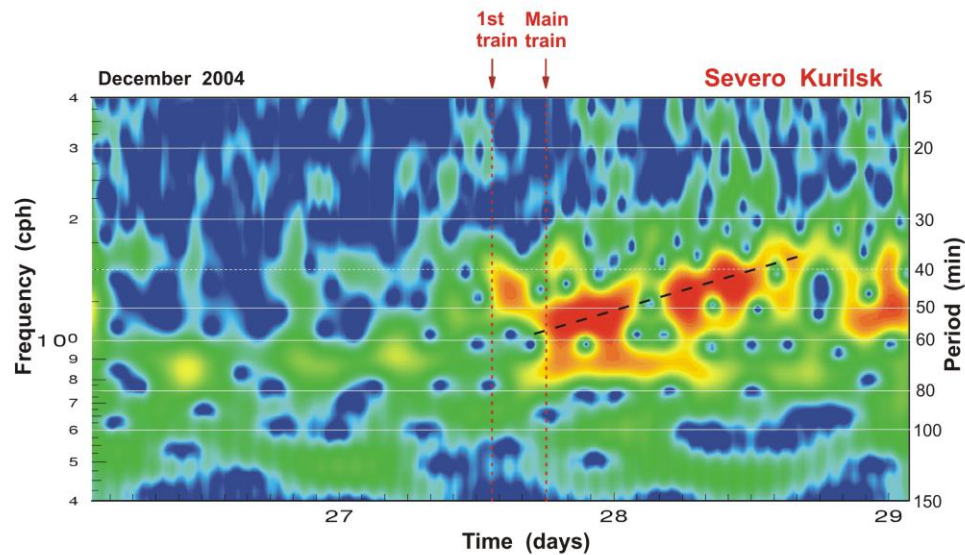


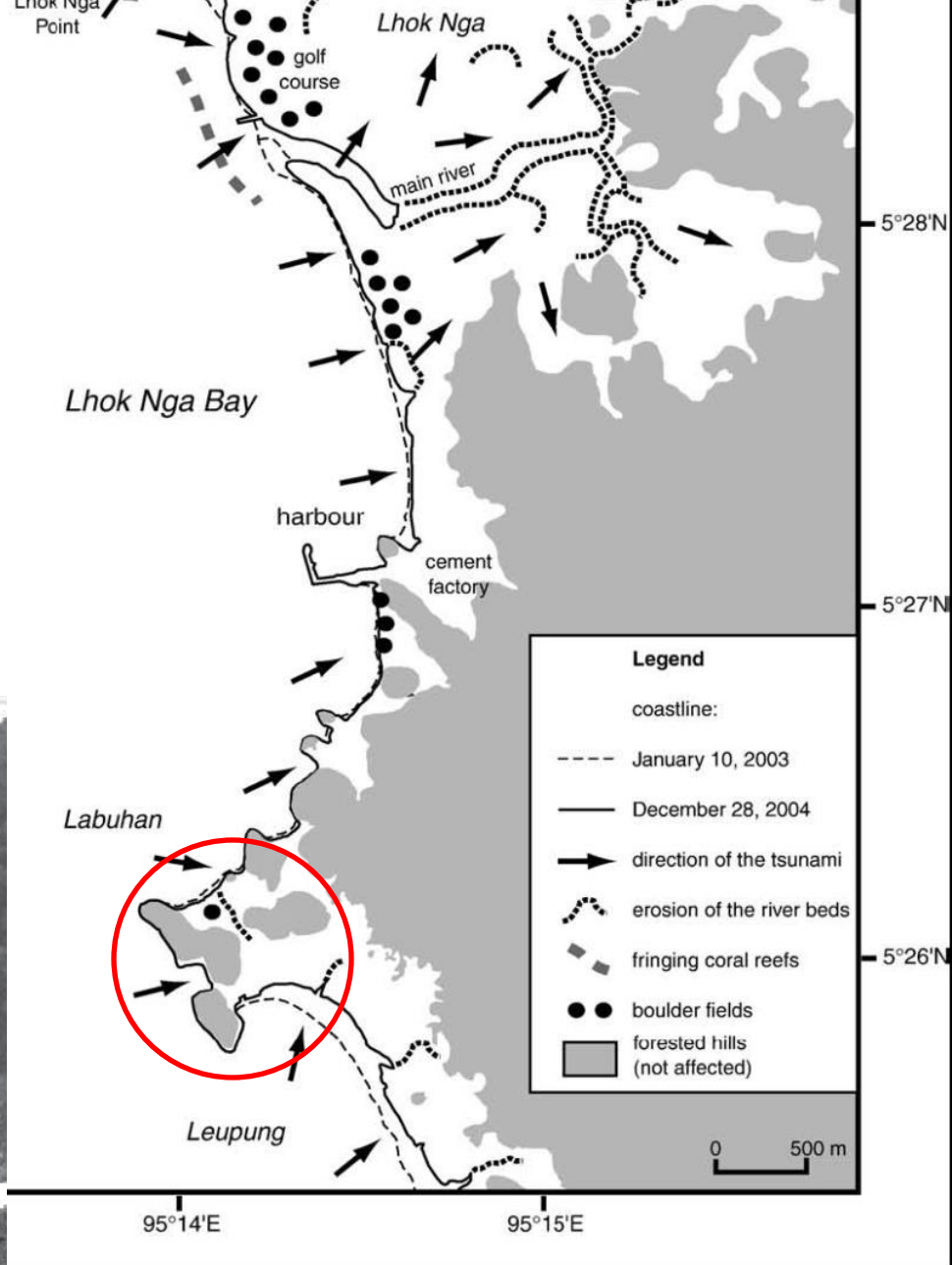
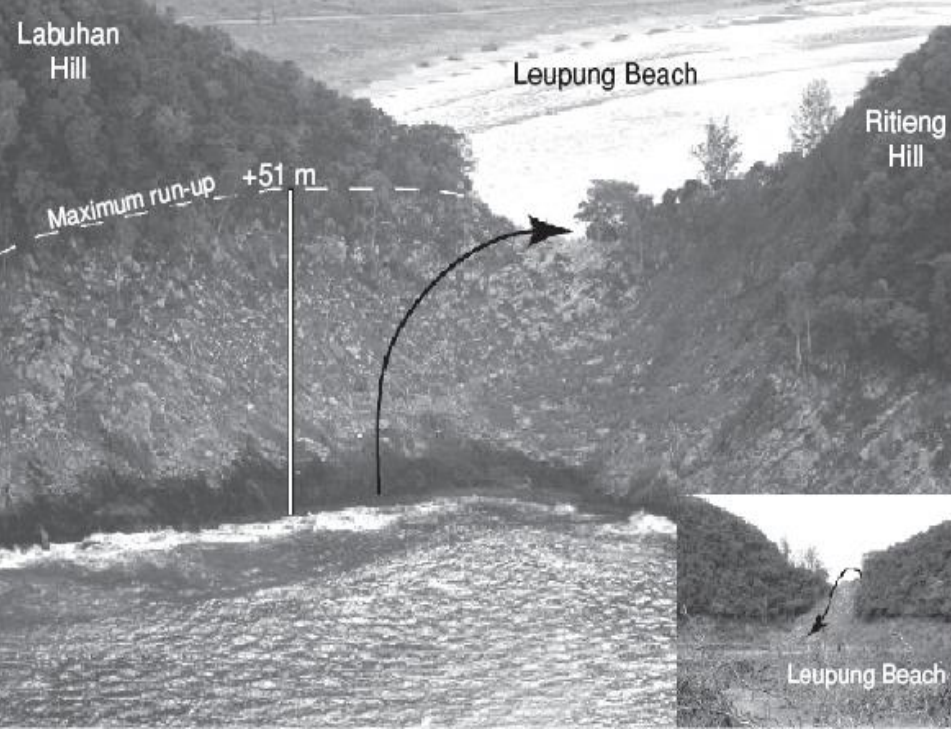
Индонезийское цунами зарегистрировано во Франции

Северо – Курильск, о-в Парамушир

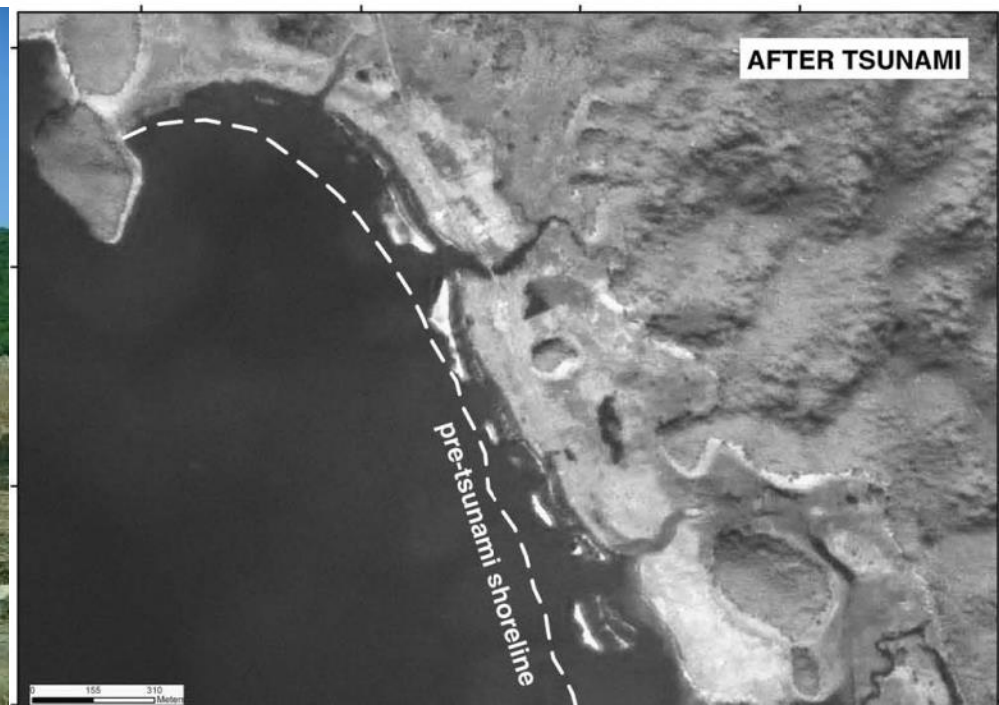
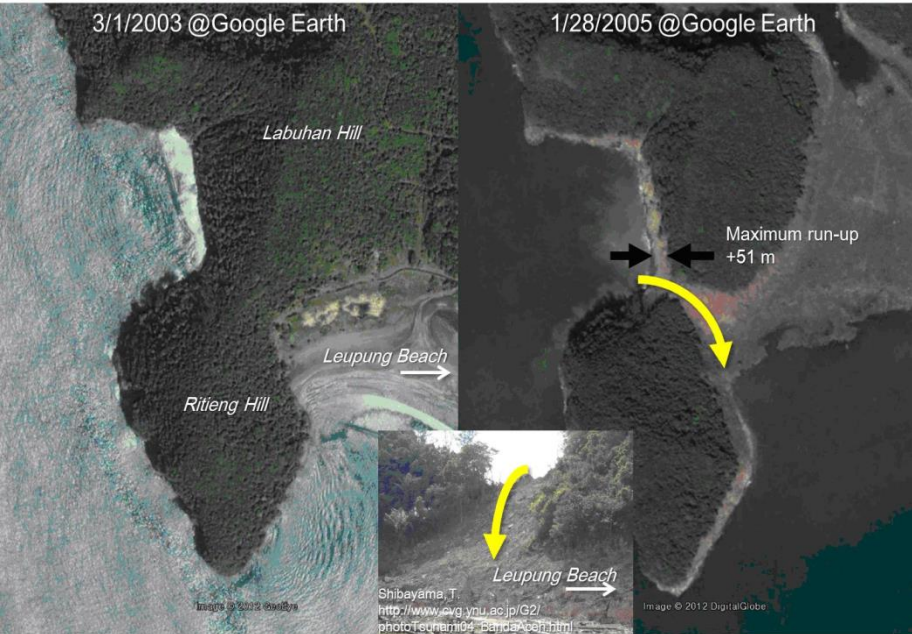


Sumatra Tsunami

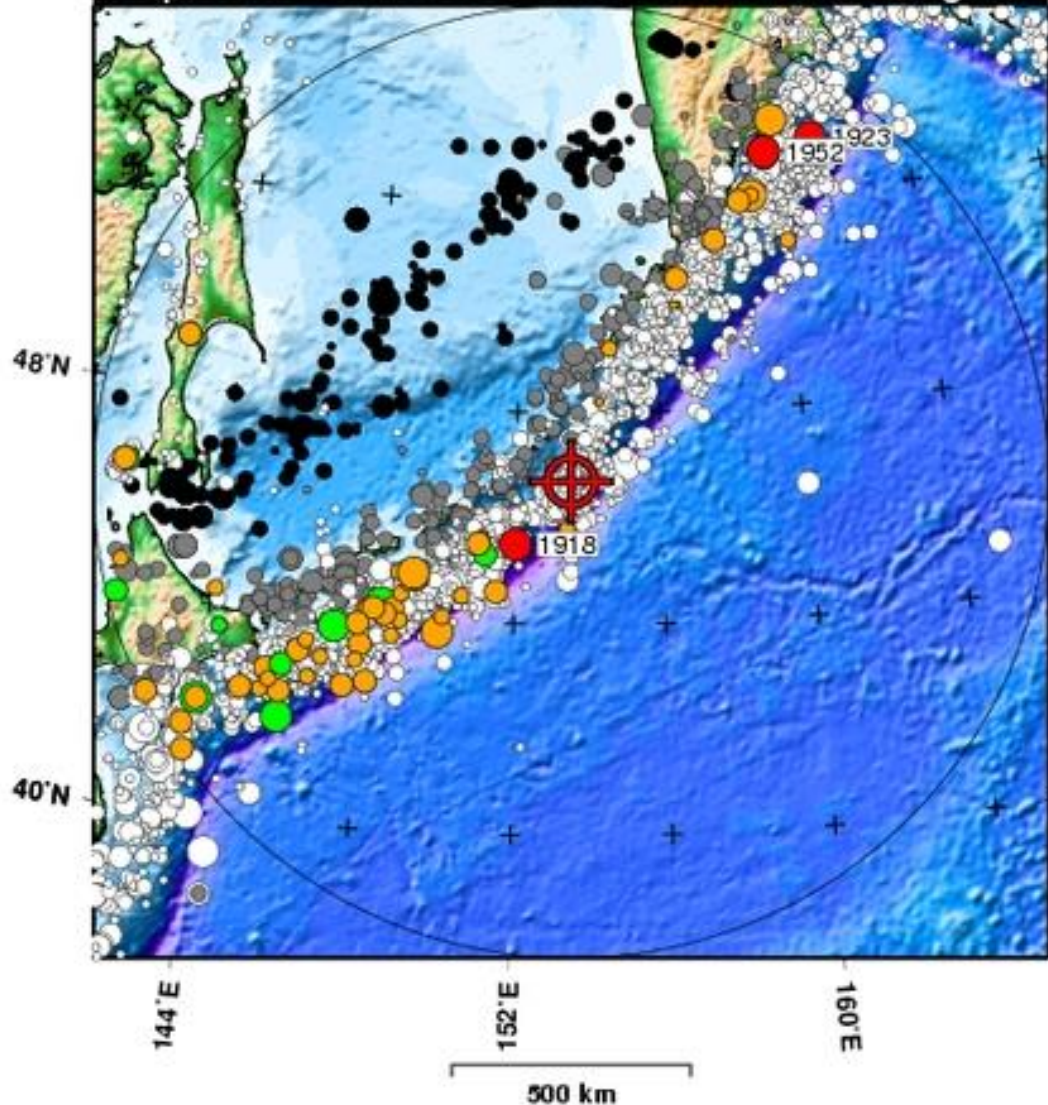




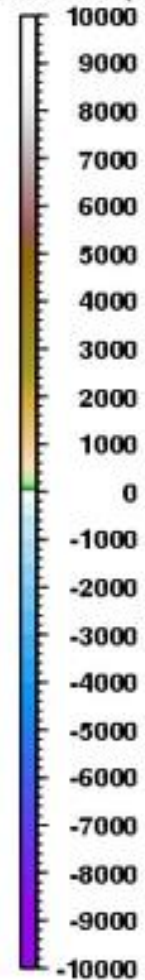
Максимальная высота 55 м



Epicenter - 15 NOV 2006 11:14Z 153.5E 46.7N Mag: 8.1



elevation (m)



15 ноября 2006 г.

M = 8

о. Симушир

Высота до 30 м

Historical seismicity within 1000 km of (46.7N 153.5E)

Tsunamigenic	Non-Tsunamigenic	Magnitude
● Distant Damage	○ Depth < 100 km	○ 8 or larger
● Local Damage	● Depth 100-300 km	○ 7 - 8
● No Damage	● Depth > 300 km	○ 6 - 7
		○ Less than 6



6 September 2006

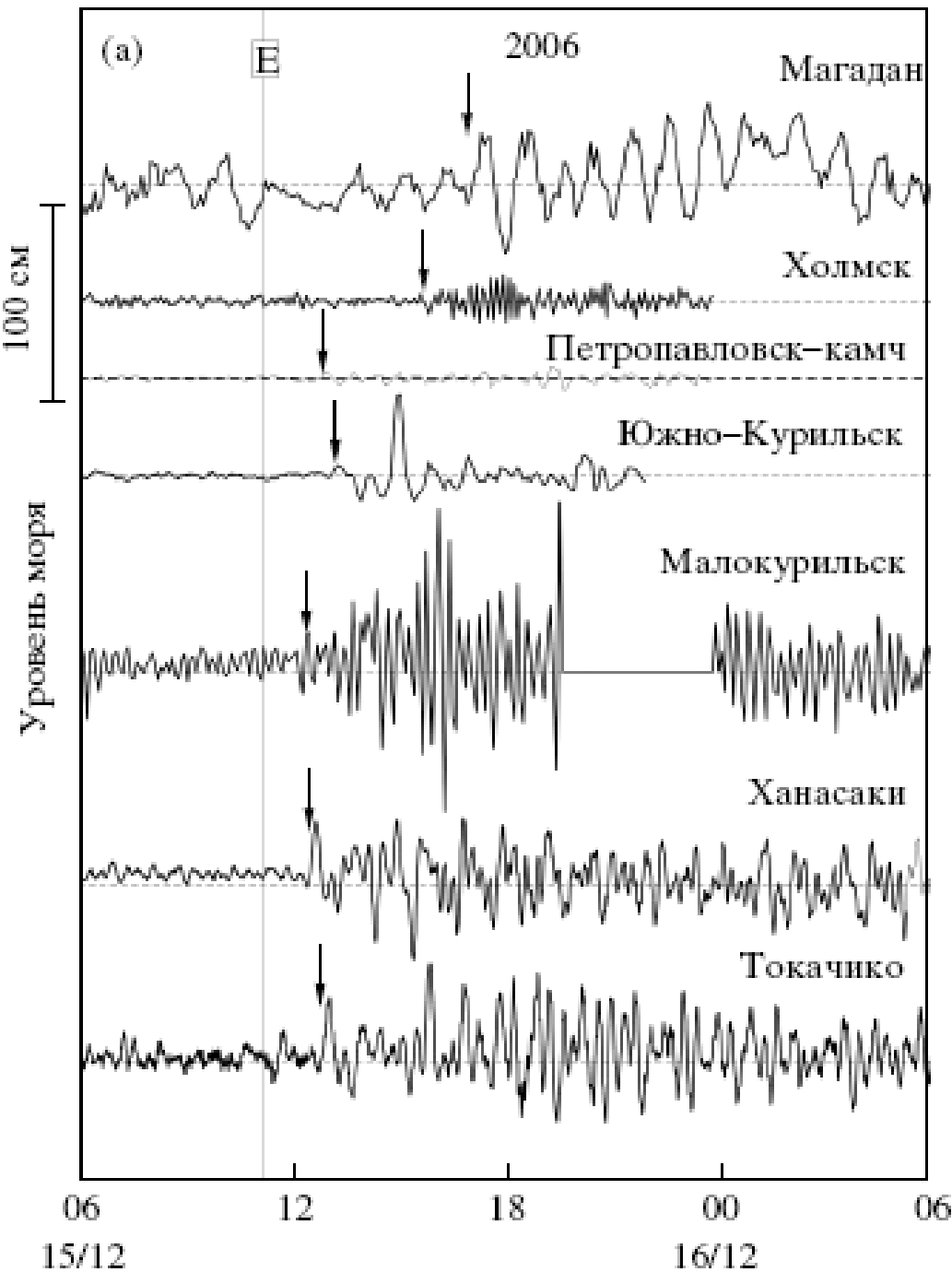
6 сентября
(до)

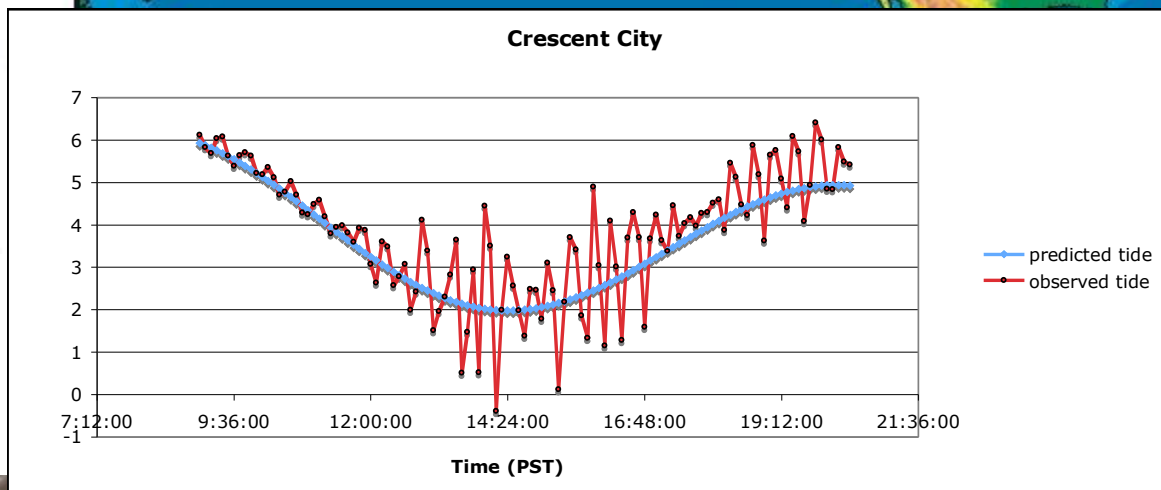
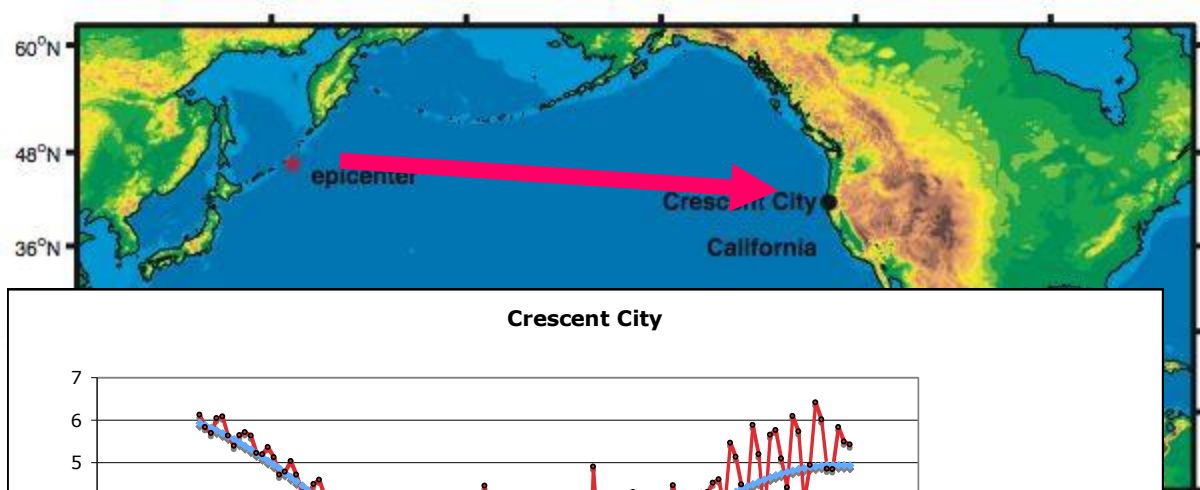
о-в Уруп

20 ноября
(после)



20 November 2006





УДК 551.46

НЕВЕЛЬСКОЕ ЦУНАМИ 2 АВГУСТА 2007 ГОДА: ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

© 2008 г. А. И. Зайцев, Д. П. Ковалев, А. А. Куркин, член-корреспондент РАН Б. В. Левин,
Е. Н. Пелиновский, А. Г. Чернов, А. Ялчинер

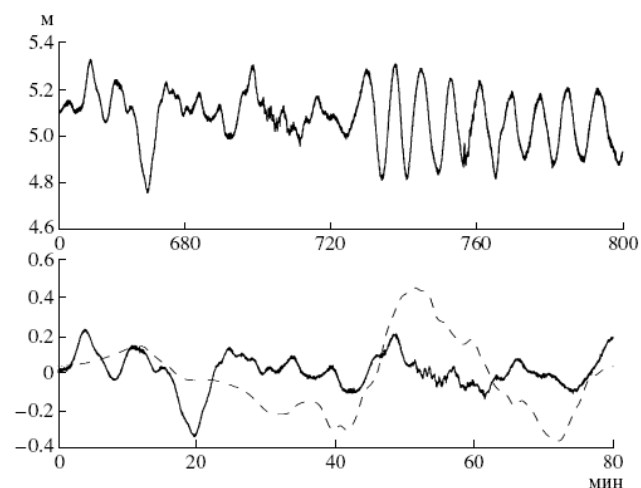


Рис. 4. Цифровая запись цунами 2 августа 2007 г. в порту г. Холмска (верхний фрагмент; время отсчитывается от момента землетрясения). Внизу – расчетное (штриховая линия) и измеренное (сплошная линия) колебания уровня моря.



Observers looking for evidence of tsunami inundation along the shore of Southern Sakhalin near Nevel'sk, where wave height was reported at 20 cm. Courtesy of Tatiana Ivelskaya.