

Носов Михаил Александрович

Физика цунами

*Межфакультетский учебный курс Московского
государственного университета имени М.В.Ломоносова*

Лекция №1

2022



Katsushika Hokusai (1830)
«The Great Wave of Kanagawa»



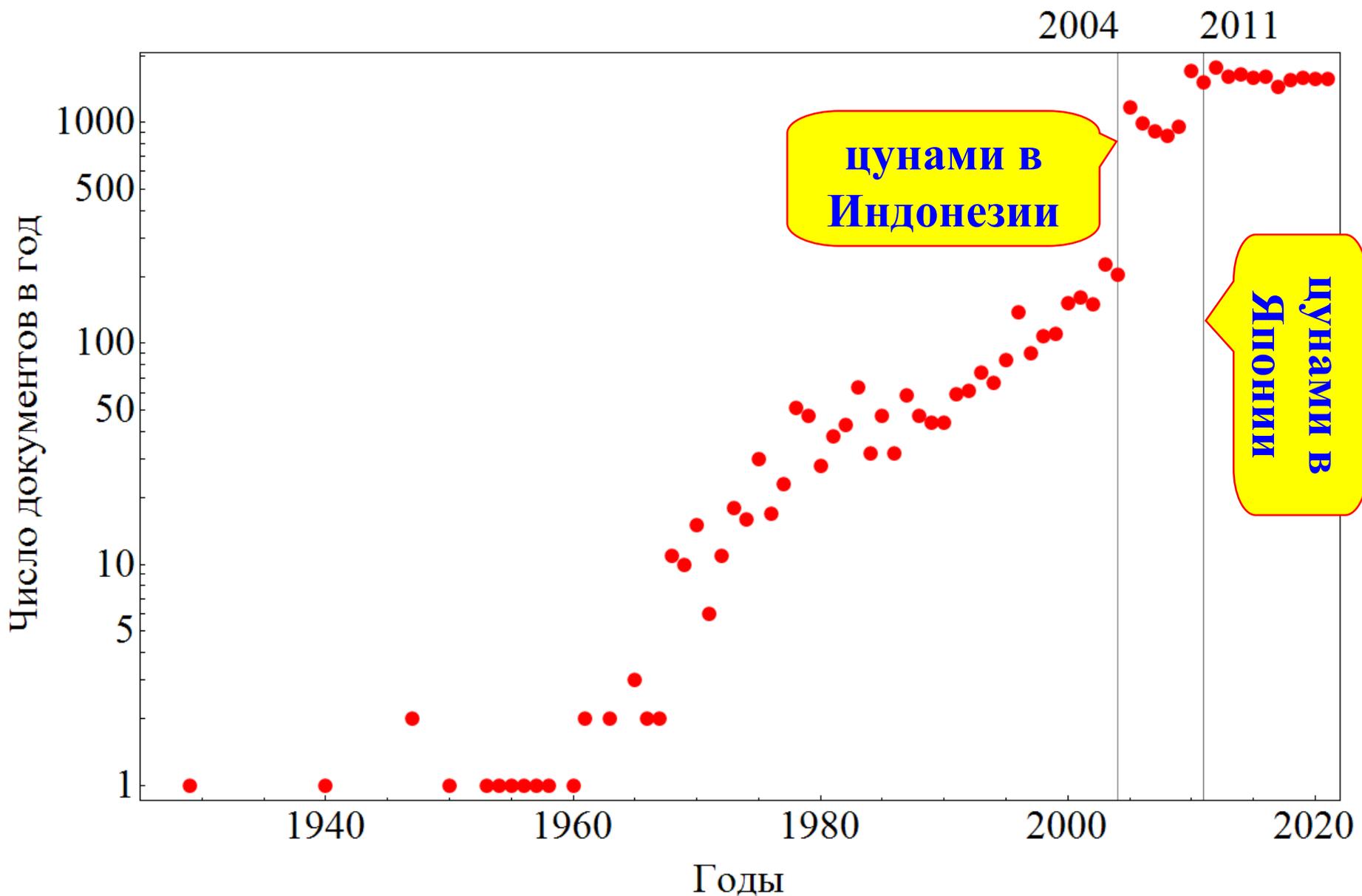
*“...В мире есть такое диво:
Море вздуется бурливо,
Закипит, поднимет вой,
Хлынет на берег пустой...”*

Заметки при чтении "Описания земли Камчатки"
С. П. Крашенинникова / А.С.Пушкин

А.С. Пушкин

**Интенсивное заселение и хозяйственное
освоение прибрежных территорий –
единственный
~~главный~~ фактор увеличения цунамиска**

Число документов, найденных по ключевому слову «tsunami» (<https://www.scopus.com/>)



Кто занимается проблемой цунами?

физики

океанологи

сейсмологи

геофизики

геологи

географы

вулканологи

инженеры

геоморфологи

гидроакустики

математики

почвоведы

программисты

морские биологи

историки

палеонтологи

социологи

юристы

археологи

психологи



December 26th, 2004, foreign tourists who had ventured far out on the sand after the water receded react as the first of six tsunamis starts to roll towards Hat Rai Lay Beach, near Krabi in southern Thailand. (AFP/AFP/Getty Images)

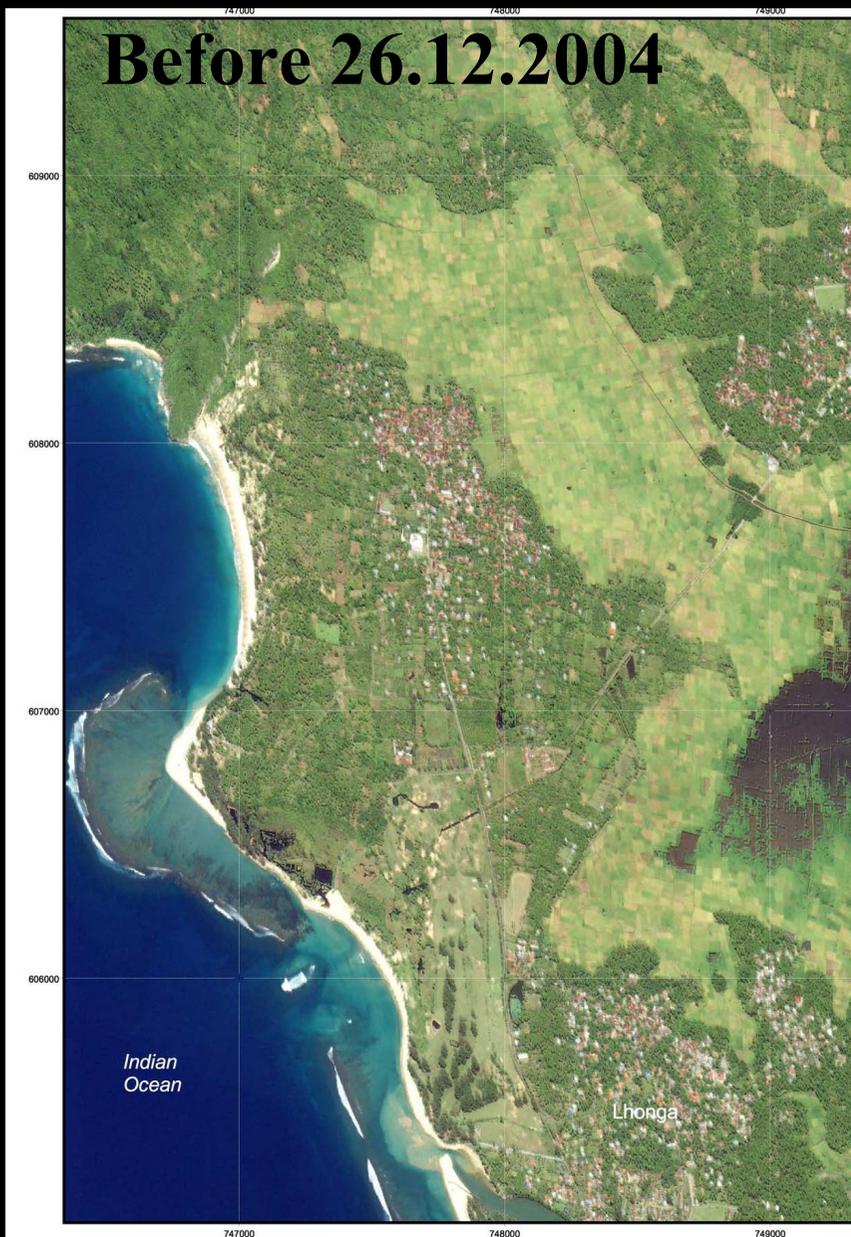
Цунами 26 декабря 2004 г







Indonesia – Banda Aceh



Катастрофическое землетрясение и цунами в Японии 11 марта 2011 г



Кесеннума,
Япония, март 2012



The No. 18 Kyotoku-maru

Япония, март 2012



Япония, март 2012



Япония, Онагава, март 2012



«Поражающие факторы» цунами

Основные:

- Внезапное затопление части суши
- Волновое воздействие на сооружения
- Эрозия

Вторичные:

- Пожары
- Загрязнение окружающей среды
- Эпидемии (в результате разрушения береговой инфраструктуры)

Необходимость изучения волн цунами обусловлена

**Многочисленными
человеческими
жертвами**

**Колоссальным
материальным
ущербом**

**Ущерб от цунами 11.03.2011
в Японии 0.25 трлн USD**

Бюджет РФ на 2011 г 8.8 трлн руб.

Природные катастрофы в XX веке унесли 4 млн. человеческих жизней

1. Землетрясения

2. Наводнения

3. Тайфуны

4. Вулканические
извержения

5. Цунами (~1%)

6. ...

Степень
готовности
«max»

Цунами в
Индийском
океане

26.12.2004:
228 000

погибших

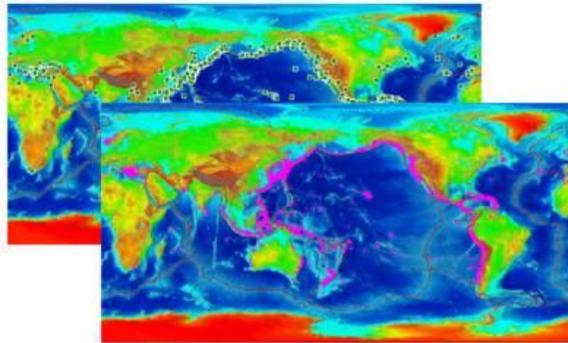
Цунами в
Японии

11.03.2011:
20 000

погибших

Степень
готовности
«0»

NGDC/WDS Global Historical Tsunami Database



[Natural Hazards Interactive Map](#)

[Database Introduction](#)

[Tsunami Source Event References](#)

[Tsunami Runup References](#)

Please cite this data/database as:
doi:10.7289/V5PN93H7

NGDC/WDS Global Historical Tsunami Database

The **Global Historical Tsunami Database** consists of two *related* files containing information on tsunami events from 2000 B.C. to the present in the Atlantic, Indian, and Pacific Oceans; and the Mediterranean and Caribbean Seas.

1. **TSUNAMI SOURCE EVENT Search:** information on the **source** of the tsunami.

Data include: source location, date, and time, event magnitude, maximum water height, total number of deaths, injuries and damage for the event.

- [Advanced Tsunami Source Event Search](#)
- [More Advanced Tsunami Source Event Search](#) (additional search fields for **total number of deaths** (earthquake, volcanic eruption, landslide, etc.)

NOTE: Some events do not have runup information; other events have many locations where a runup height was recorded

[Download tsunami event data](#) (tab-delimited); [Event Variable Definitions](#)

2. **TSUNAMI RUNUP Search:** information on locations where **tsunami effects** occurred.

Data include: arrival date and time, travel time, maximum water heights, horizontal inundation distances, deaths, injuries, and damage for specific locations.

- [Advanced Tsunami Runup Search](#)

[Download tsunami runup data](#) (tab-delimited); [Runup Variable Definitions](#)

https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml

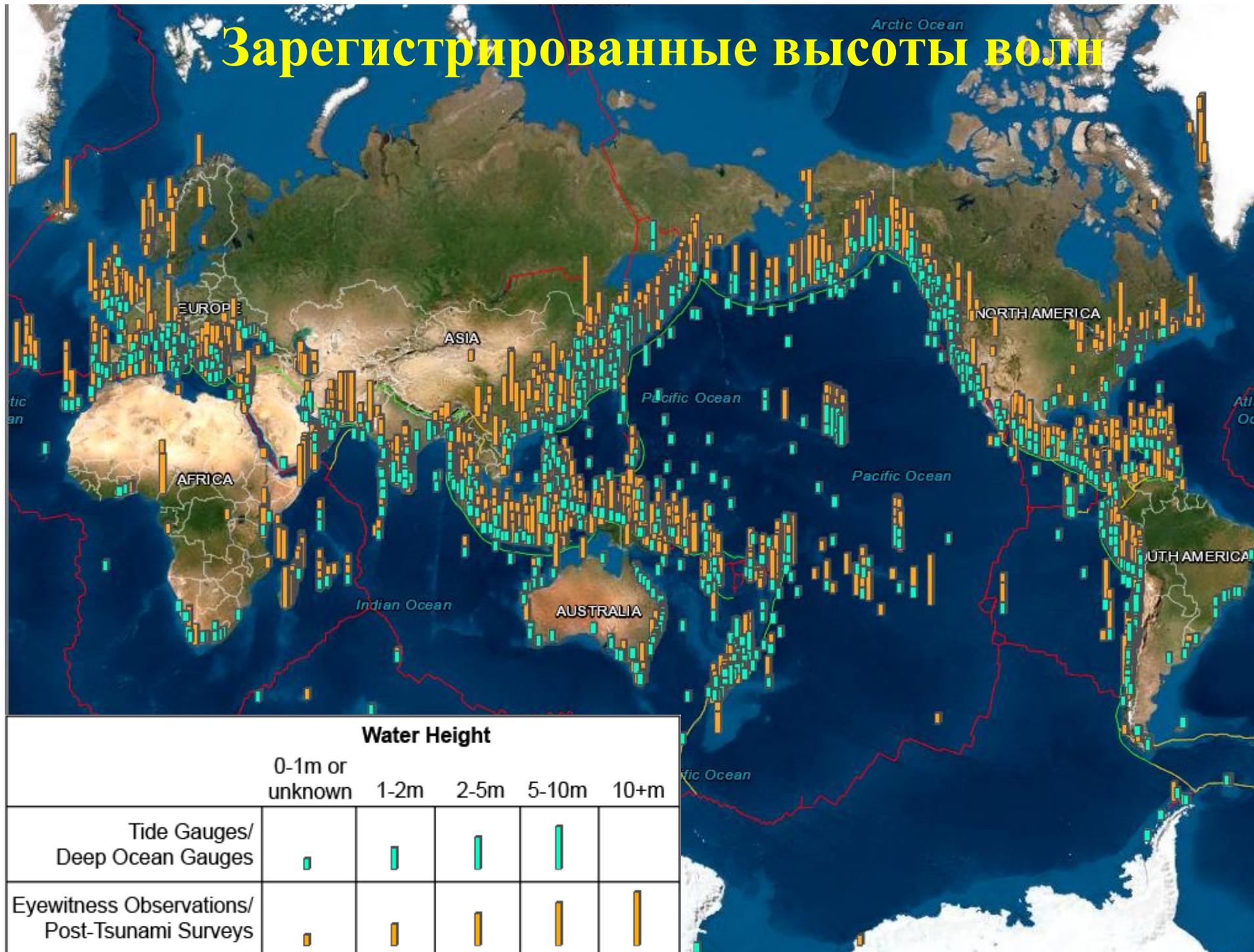
Источники цунами (2000 В.С. – н.в.)



Effects of the Tsunami:	Earthquake Magnitude: ≥ 9 ≥ 8 ≥ 7 ≥ 6 ≥ 5 not recorded	Volcanic Eruption	Landslide	Unknown/Miscellaneous
Very Many Deaths (~1001 or more deaths)	●●●●●●●●●●	▲	■	?
Many Deaths (~101 to 1000 deaths)	●●●●●●●●	▲	■	?
Some Deaths (~51 to 100 deaths)	●●●●●●●	▲	■	?
Few Deaths (~1 to 50 deaths)	●●●●●●	▲	■	?
No Deaths or Unknown	○●○●○●○●○●○●○●○●○	▲	■	?

2767 событий (на 16.02.2022)

Зарегистрированные высоты волн

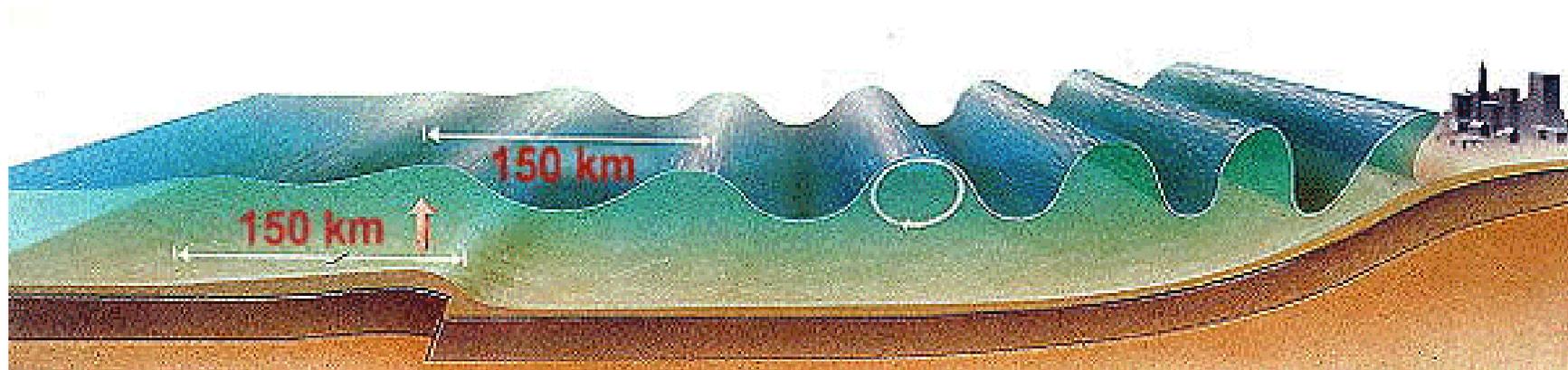


津波

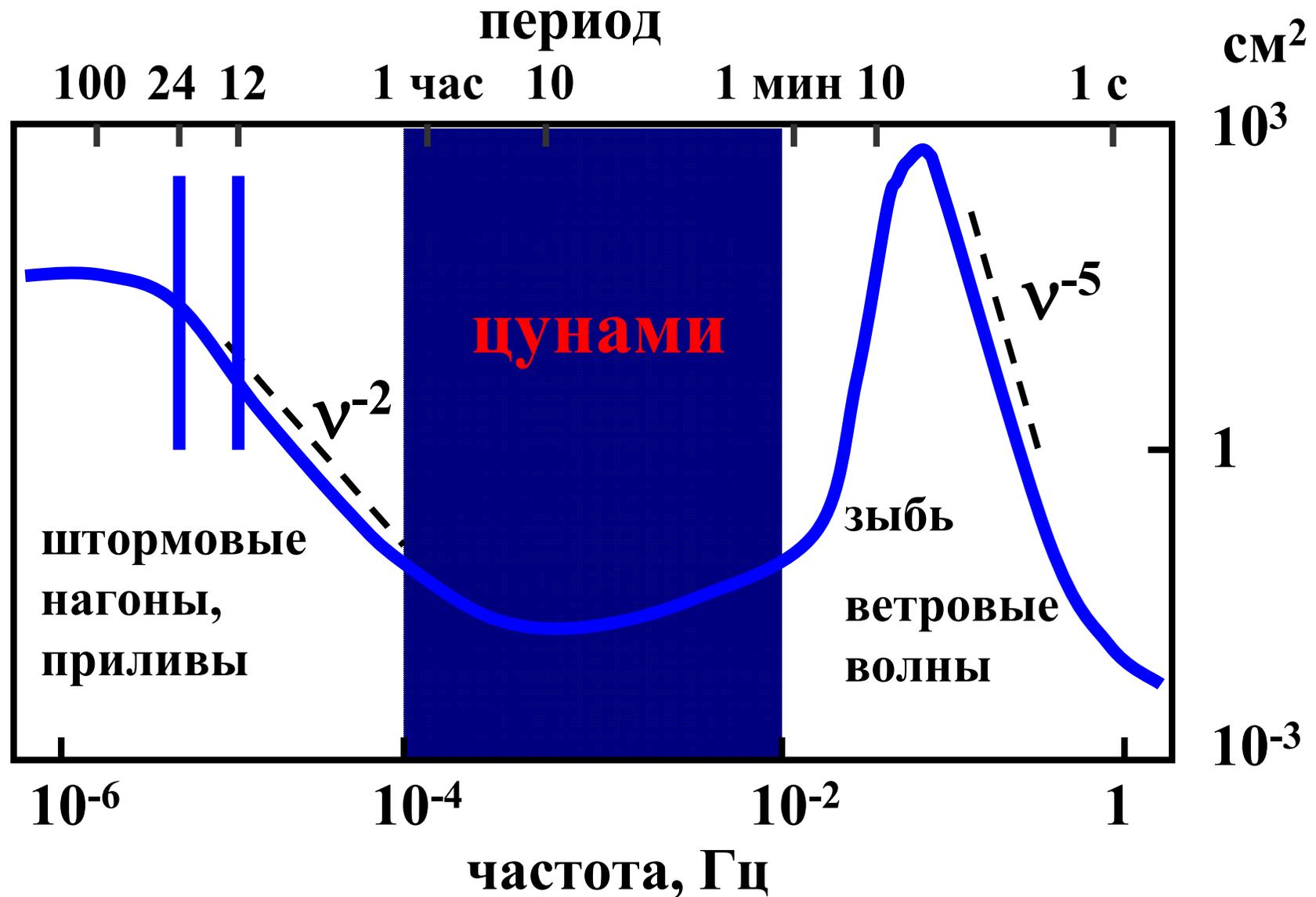
Harbor wave

Волна в гавани

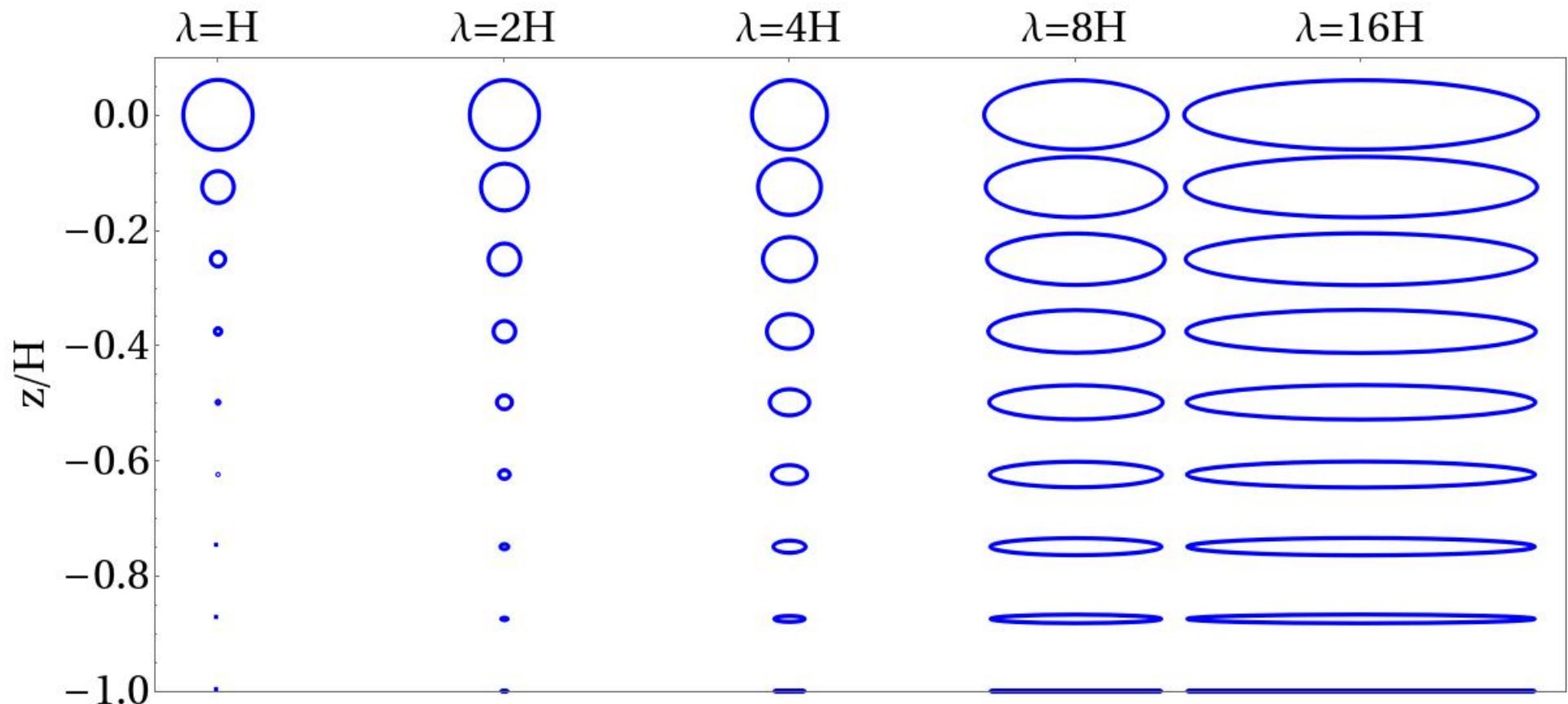
Цунами – серия низкочастотных гравитационных поверхностных волн, вызванных мощным воздействием на водный слой



Спектр гравитационных поверхностных волн в океане



Траектории движения частиц воды в гравитационных поверхностных волнах



λ – длина волны, H – глубина



100 - 1000 км



$A \sim 1 \text{ м}$



$H \approx 4 \text{ км}$

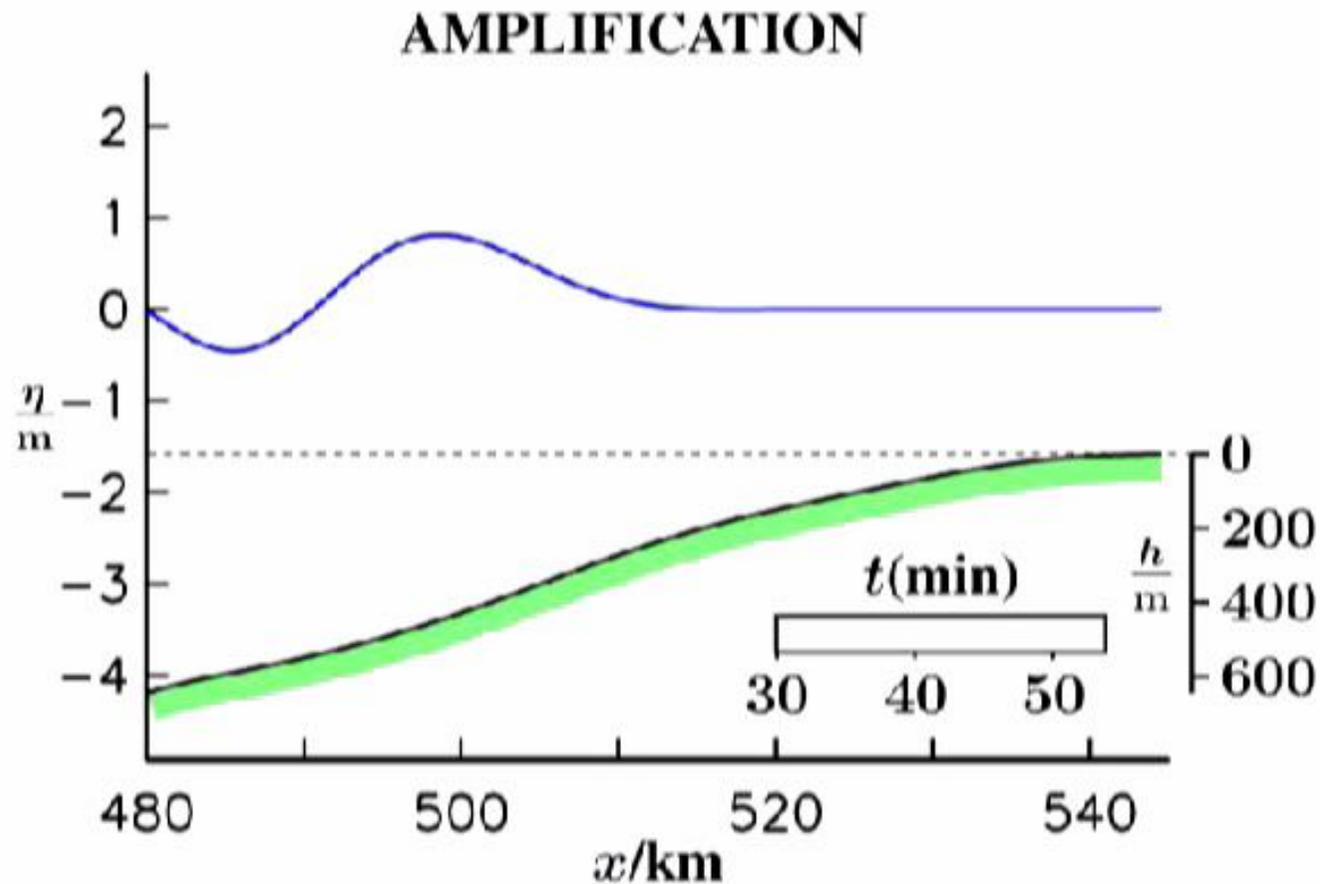
$$c = \sqrt{gH} \approx 200 \text{ м/с}$$

$$U_{\text{гориз}} = A \sqrt{g/H} \approx 0.05 \text{ м/с}$$

Особенность цунами №1 – способность волн сохранять разрушительный потенциал при распространении на трансокеанские расстояния (более 10 тыс.км)

- Чилийское цунами 1960 г. пересекло Тихий океан (17 тыс.км) и проявилось с амплитудой 4-6 м в Японии (138 погибших, \$50 млн. ущерб) и на дальневосточном побережье СССР (30 млн.руб. ущерб)
- Алеутское цунами 1946 г., преодолев 16 тыс.км разрушило экспедиционную хижину на острове Винтер (вблизи Земли Грэхема в Антарктиде)

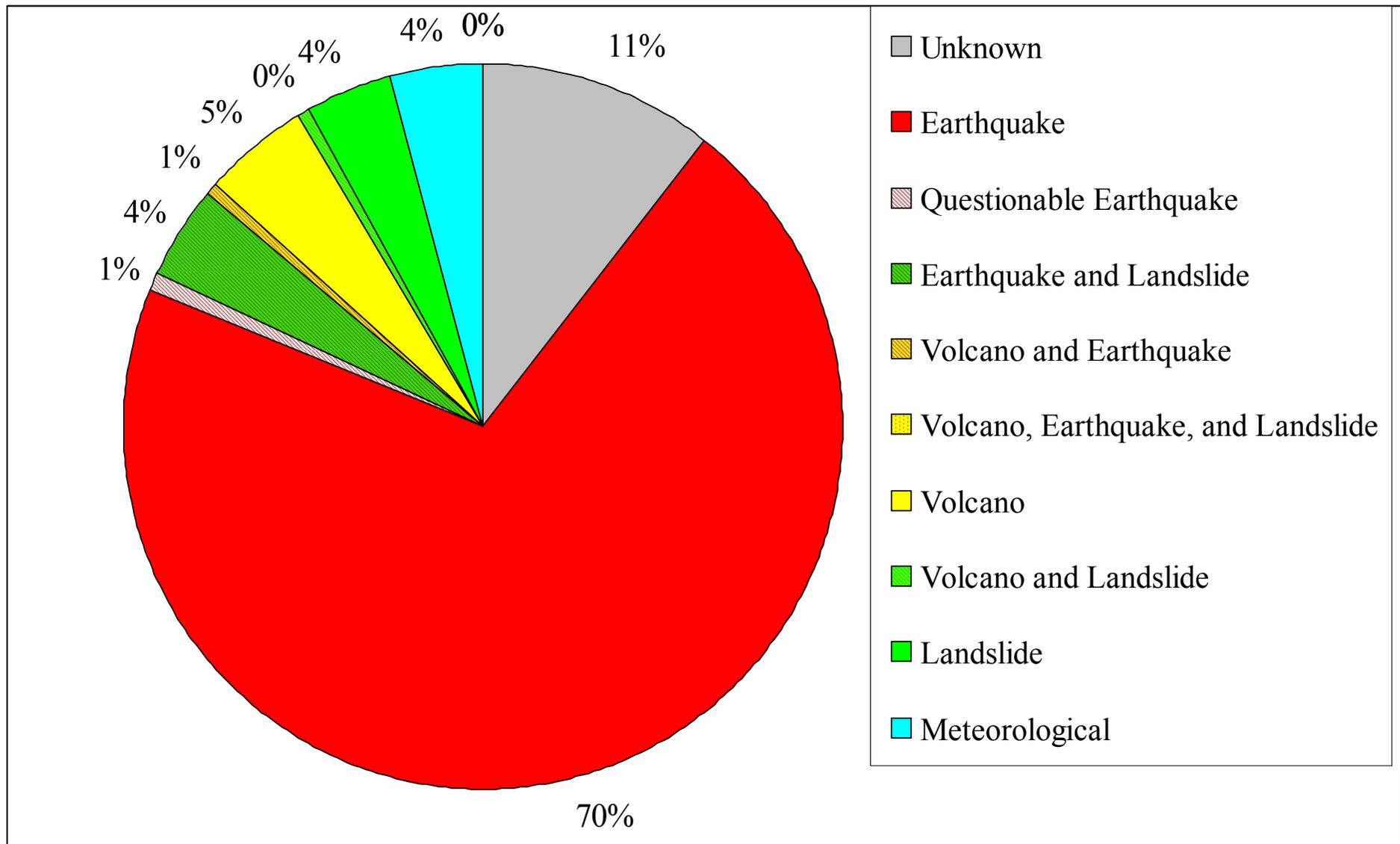
Особенность цунами №2 – увеличение амплитуды смещения поверхности воды и скорости горизонтальных течений при уменьшении глубины



Цунами – серия низкочастотных гравитационных поверхностных волн, вызванных **мощным воздействием** на водный слой

- **подводные землетрясения**
- **оползни и обвалы**
- **вулканические извержения**
- **метеорологические причины**
- **падение метеоритов**

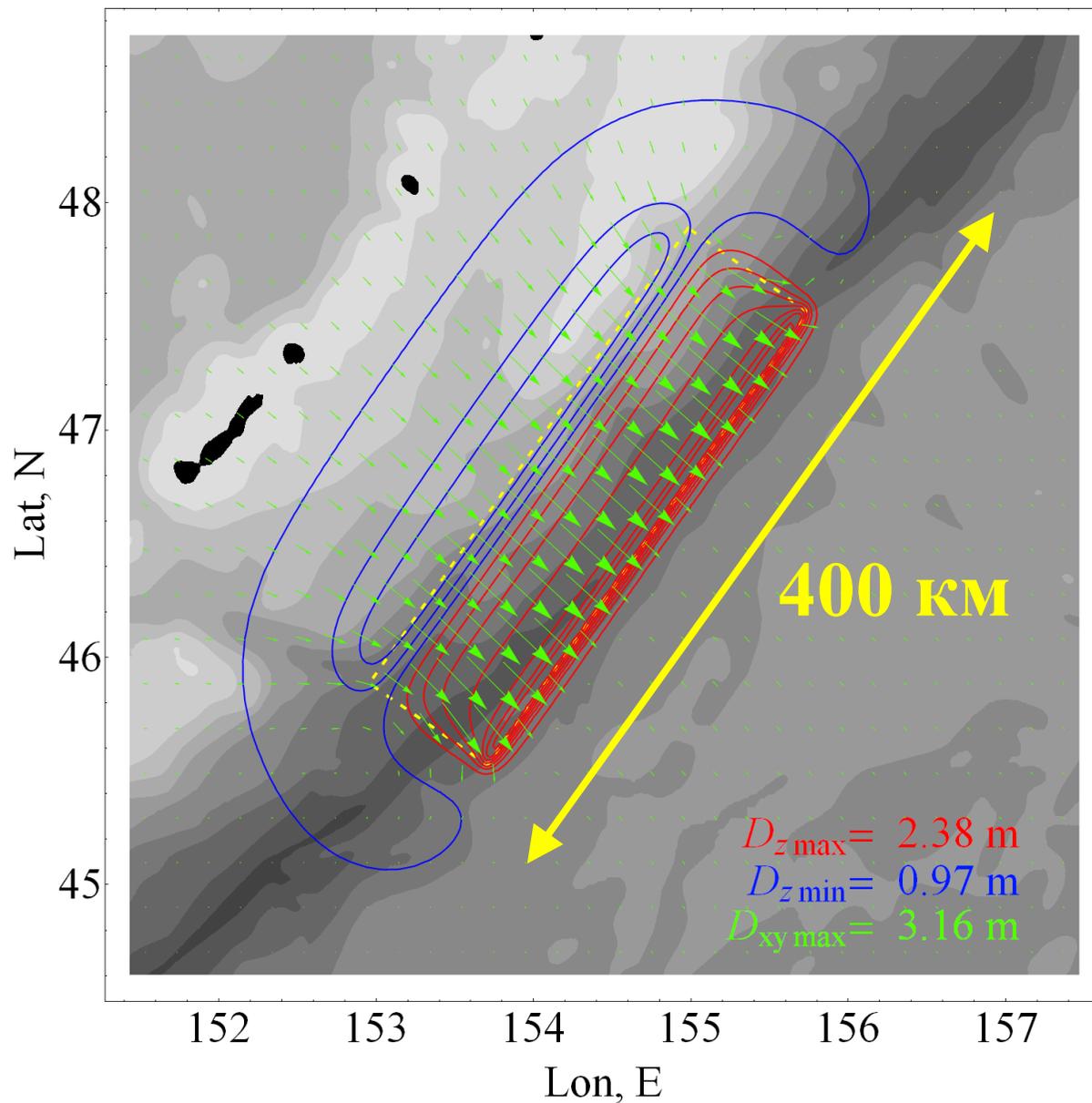
NGDC/WDS Global Historical Tsunami Database



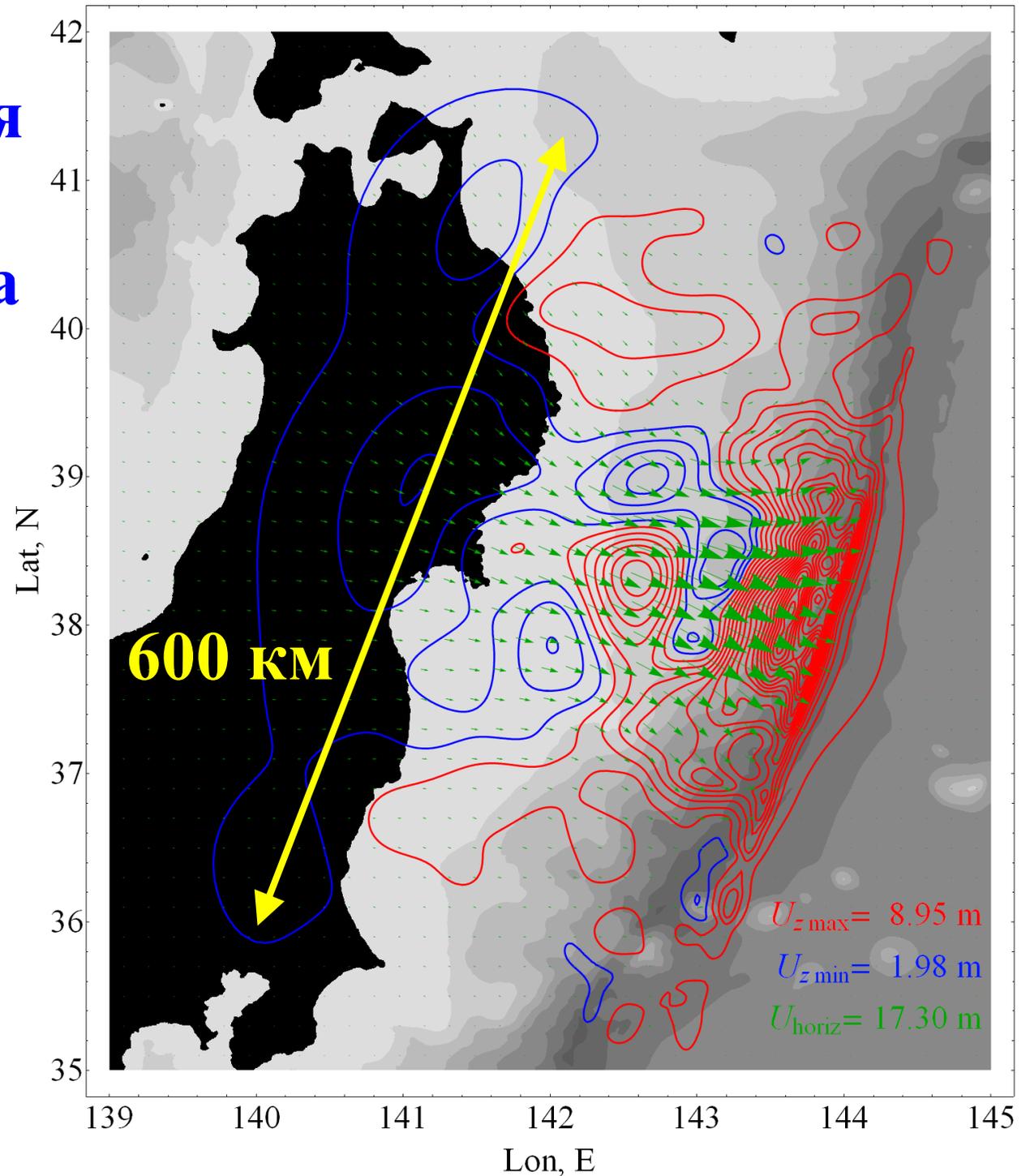
https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml

**Генерация цунами
землетрясениями
(>70%)**

Косейсмическая деформация дна в очаге цунами 15.11.2006 на Центральных Курилах



**Косейсмическая
(остаточная)
деформация дна
океана в очаге
цунами Тохоку
11.03.2011
(Япония)**

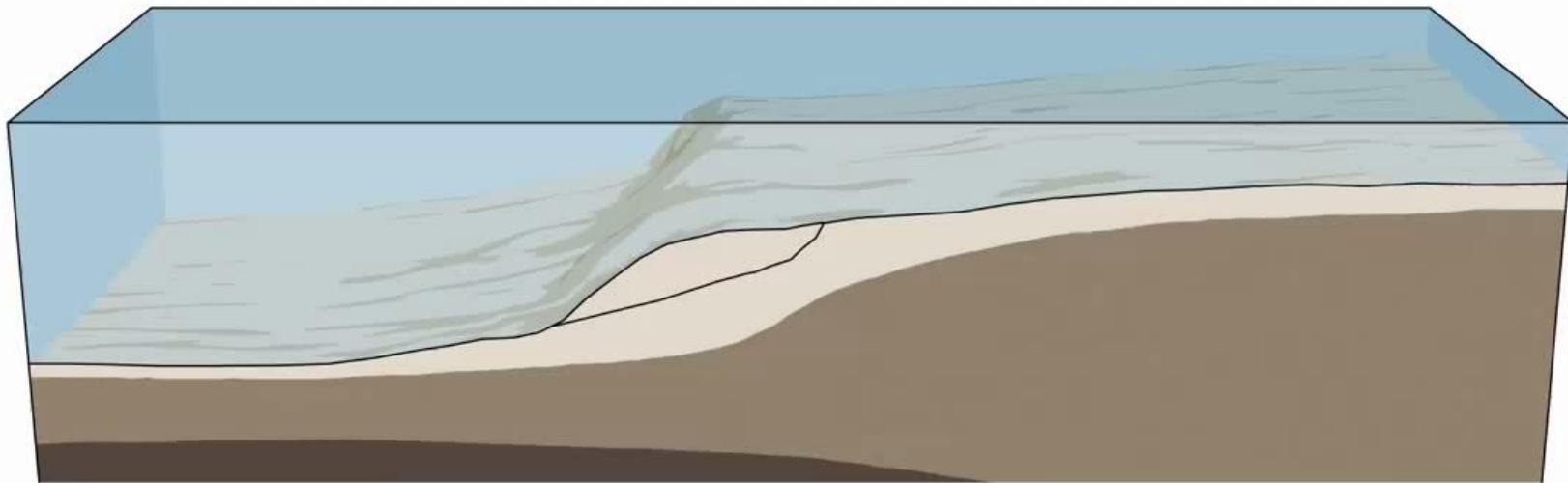


Генерация

цунами

ОПОЛЗНЯМИ И

обвалами



***Подводные оползни могут обеспечивать
дополнительный вклад в сейсмотектонические
цунами !!!***

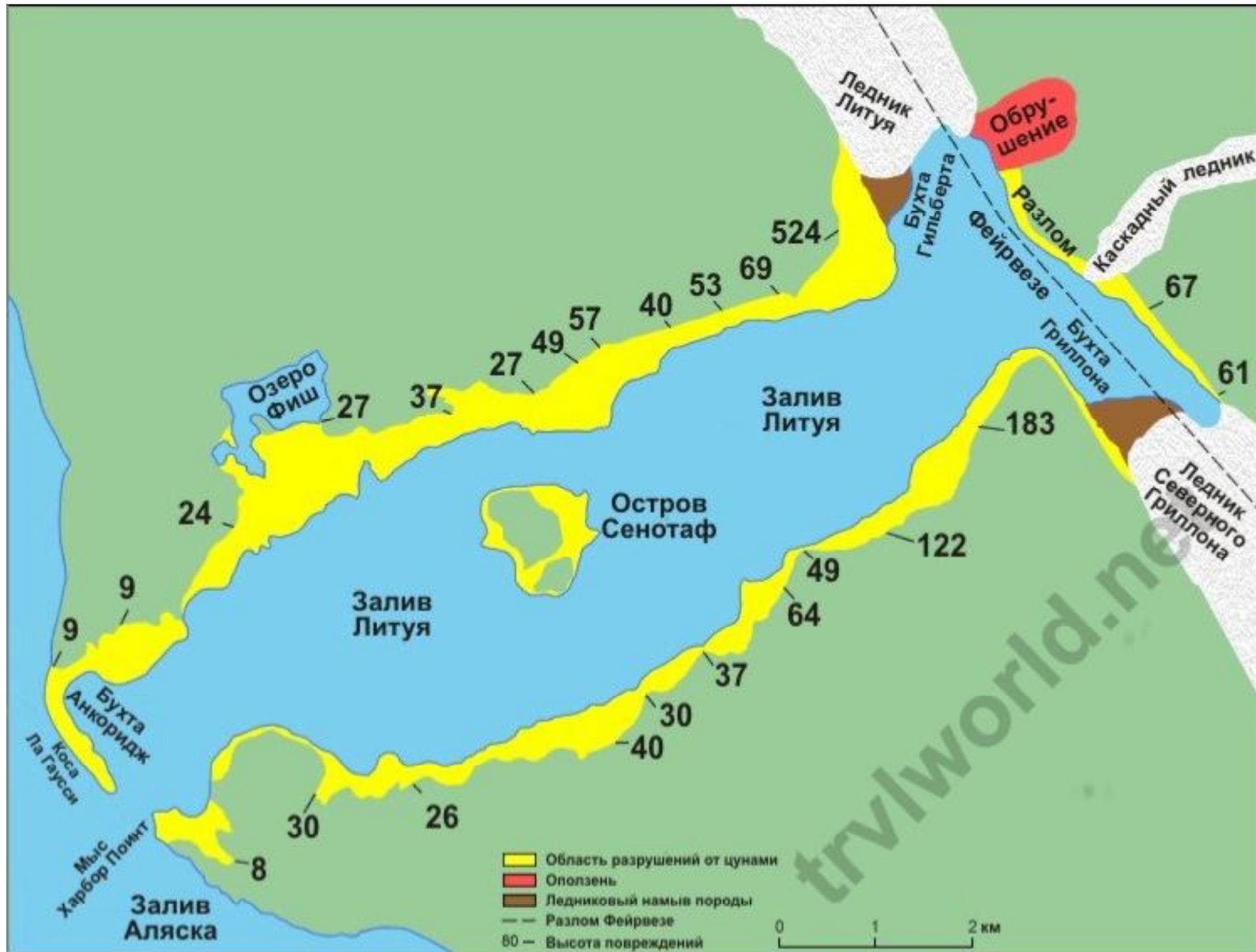
Бухта Литуйя, Аляска, 9 июля 1958 г
оползень объемом $\sim 0.3 \text{ км}^3$

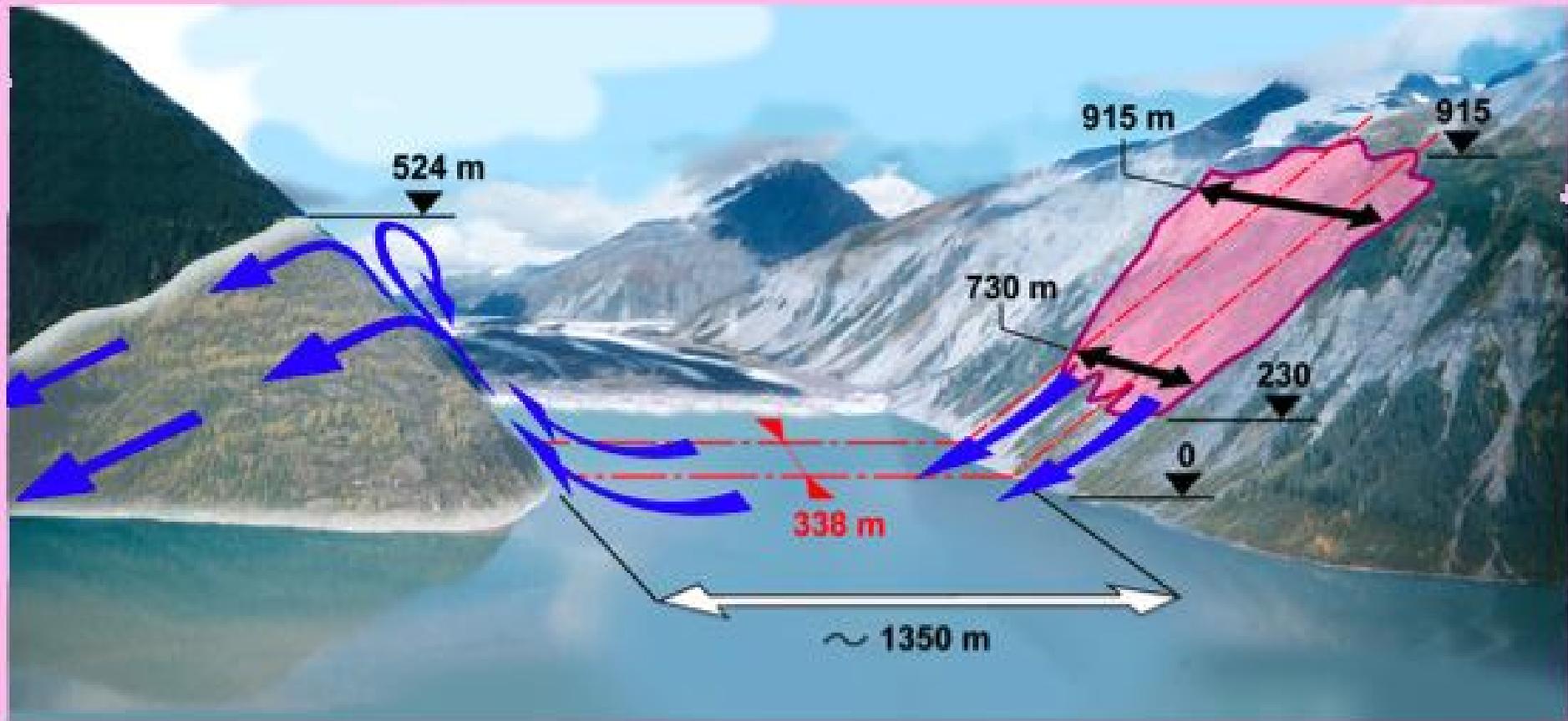


524 m



300m







Лаперуз, Жан-Франсуа

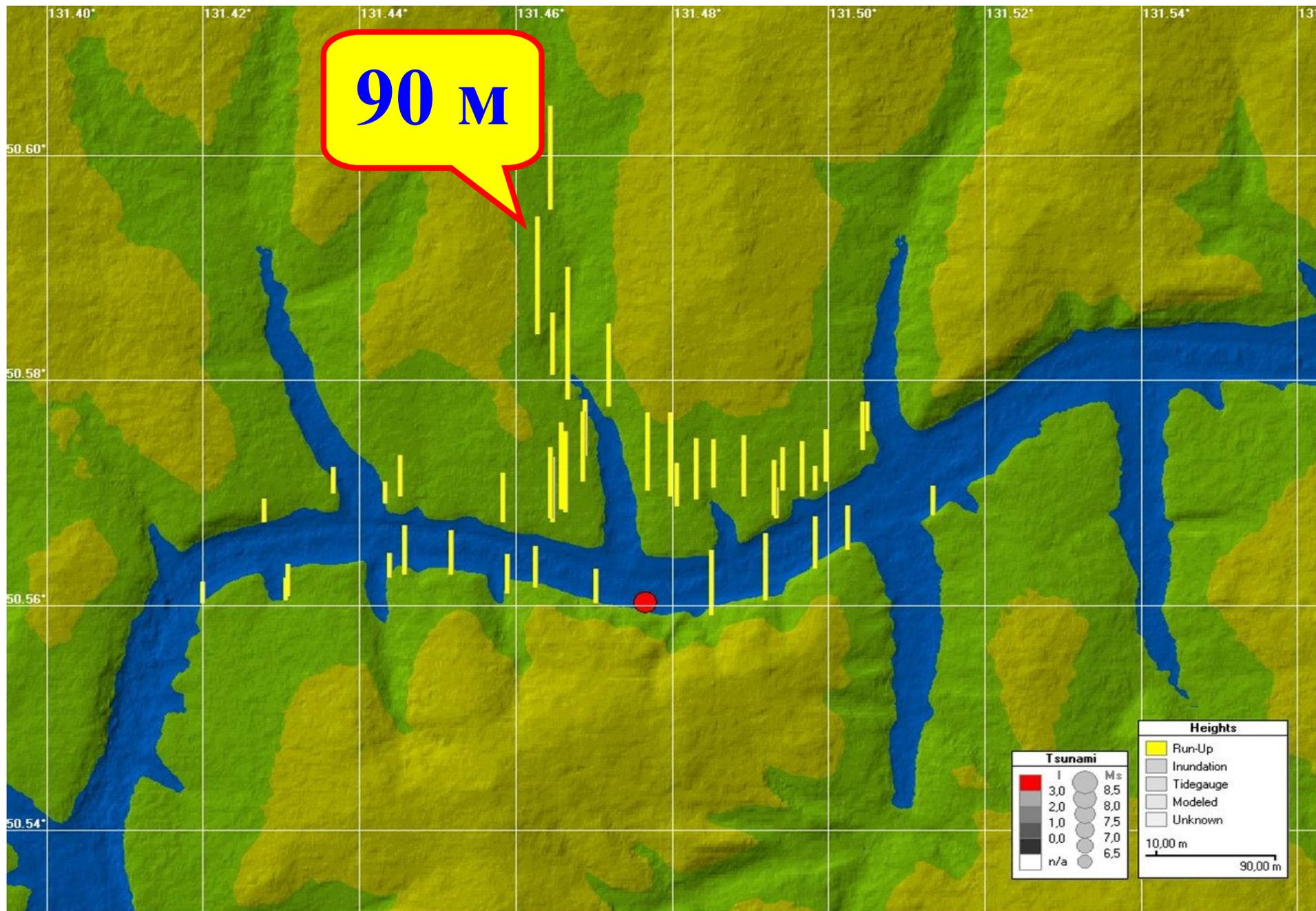
1741 — 1788

**Экспедиция Лаперуза
пострадала от
оползневого цунами в
бухте Литуя в 1786 г**

«Ледяное» цунами в Бурейском вдхр. 11.12.2018



Общий вид чаши отрыва и тела оползня. Снимок с квадрокоптера «Фантом-4»
А.Н.Остроухова (ИВиЭП ДВО РАН) от 19.06.2019.



Визуализация измеренных высот заплеска в графической оболочке PDM/TSU

Оползневые цунами в реках

«...Верстах в двухстах от устья Иртыша мы видели шкуну, лежавшую беспомощно на боку в песках. Она проходила в версте от правого берега как раз в момент обвала. От падения такой массы земли с вековыми деревьями вода отпрянула от берега, образовав на реке волнение, и настолько сильное, что опрокинуло плоскодонную шкуну, ... отбросив ее к левому берегу... Из экипажа и пассажиров шкуны несколько человек погибли в реке, несколько были изувечены...»

К.М. Станюкович «В далекие края»

Генерация

цунами

вулканическими

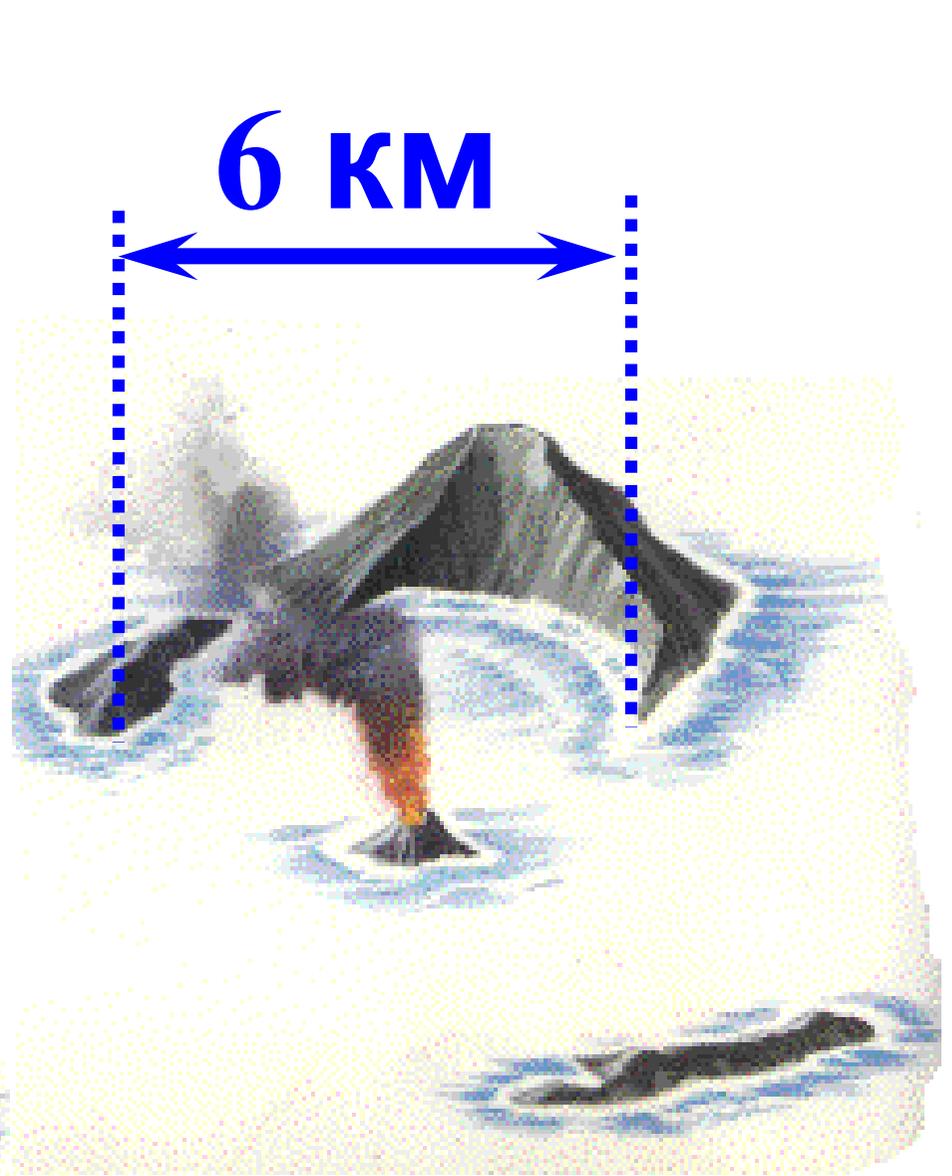
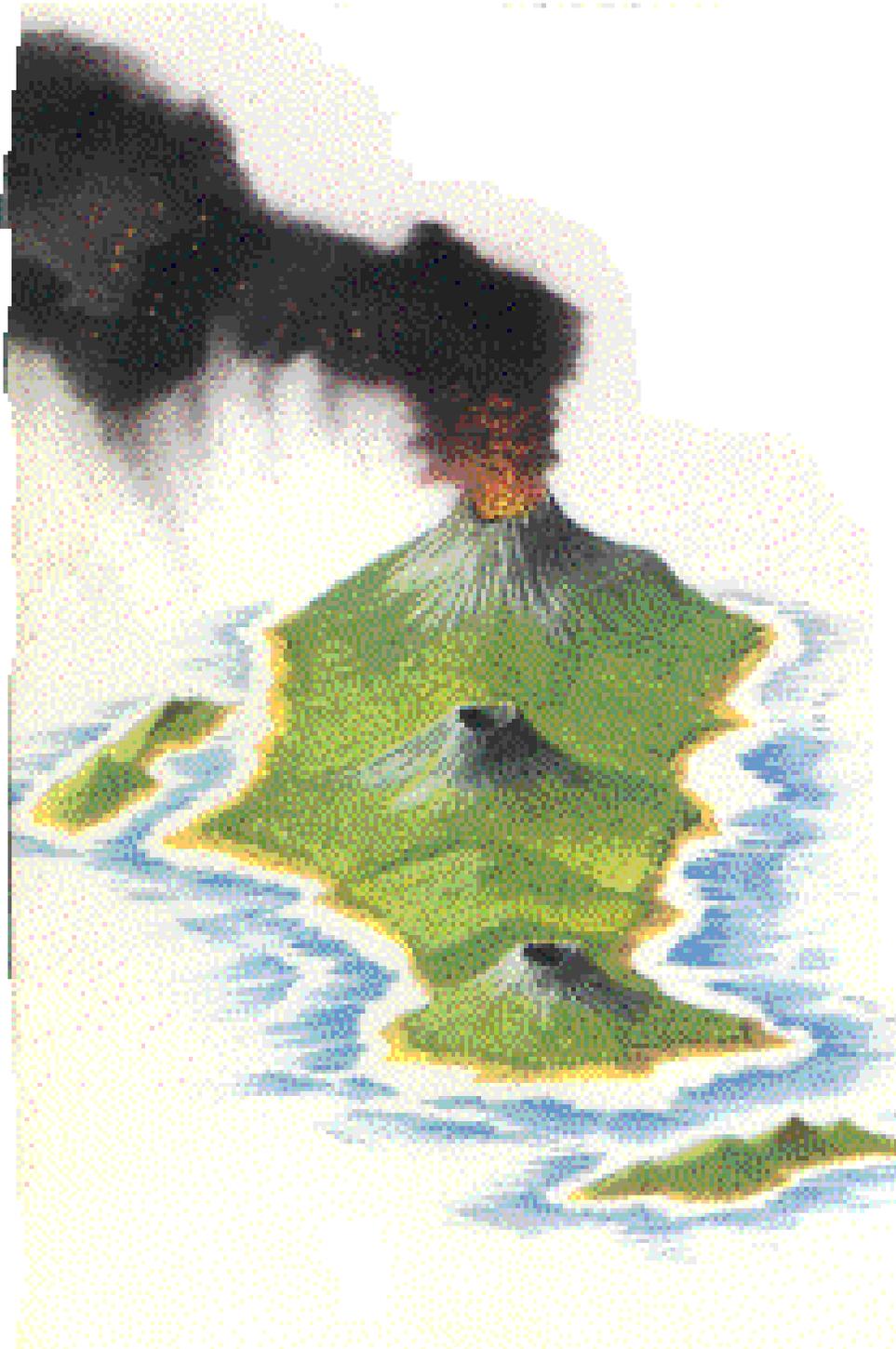
извержениями

Кракатау, 1883



Объем
извергнутого
материала **30 км³**

Максимальная
высота волн
цунами **42 м**



Санторин (Тира), ~1600 г. до н.э., $H_{max} = 30m$

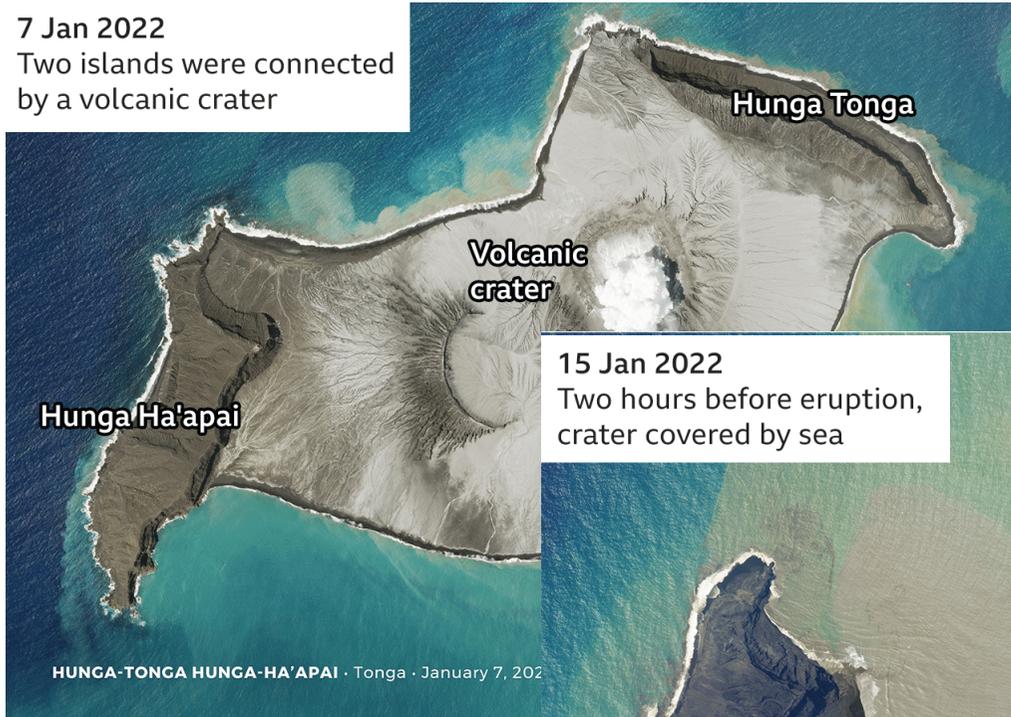
Гибель
цивилизации
на острове
Крит



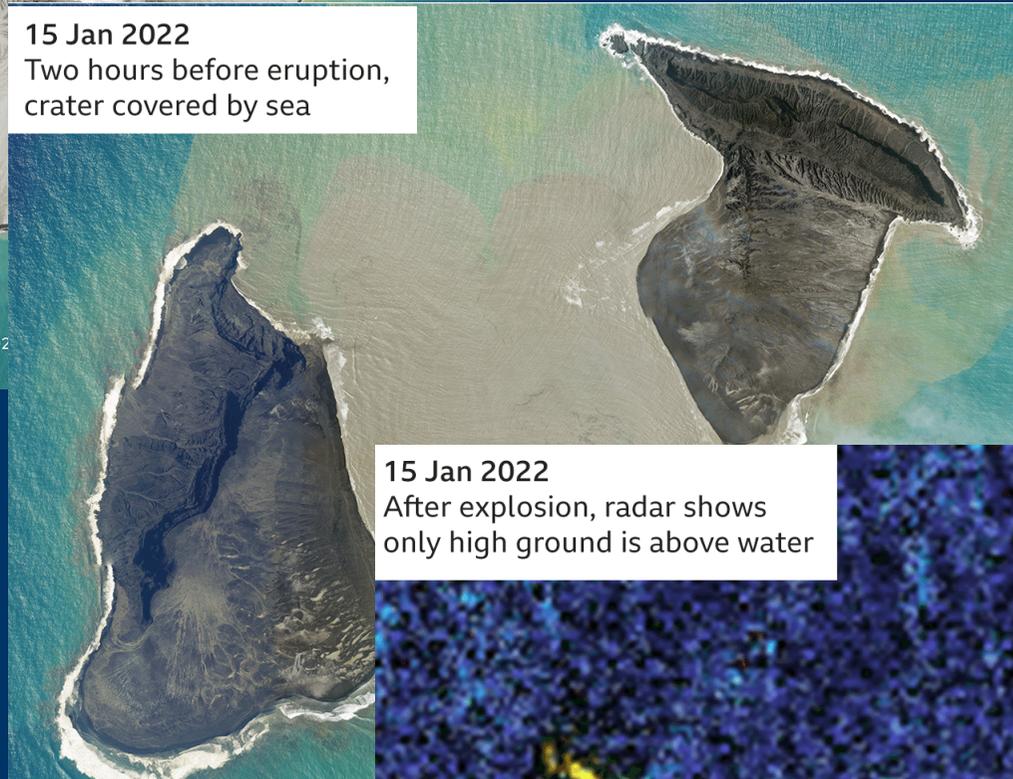
7 Jan 2022

Two islands were connected
by a volcanic crater

Hunga Tonga–Hunga Ha‘apai 15.02.2022



15 Jan 2022
Two hours before eruption,
crater covered by sea



15 Jan 2022
After explosion, radar shows
only high ground is above water

