

http://ocean.phys.msu.ru/courses/phys_tsu/

Носов Михаил Александрович

Цунами глазами физика



*отделение геофизики
физический факультет МГУ*

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



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

А.С. Пушкин

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



Цунами 26 декабря 2004 г. подходит к побережью
Тайланда (Hat Rai Lay Beach, AFP/AFP/Getty Images)

Цунами 26 декабря 2004 г







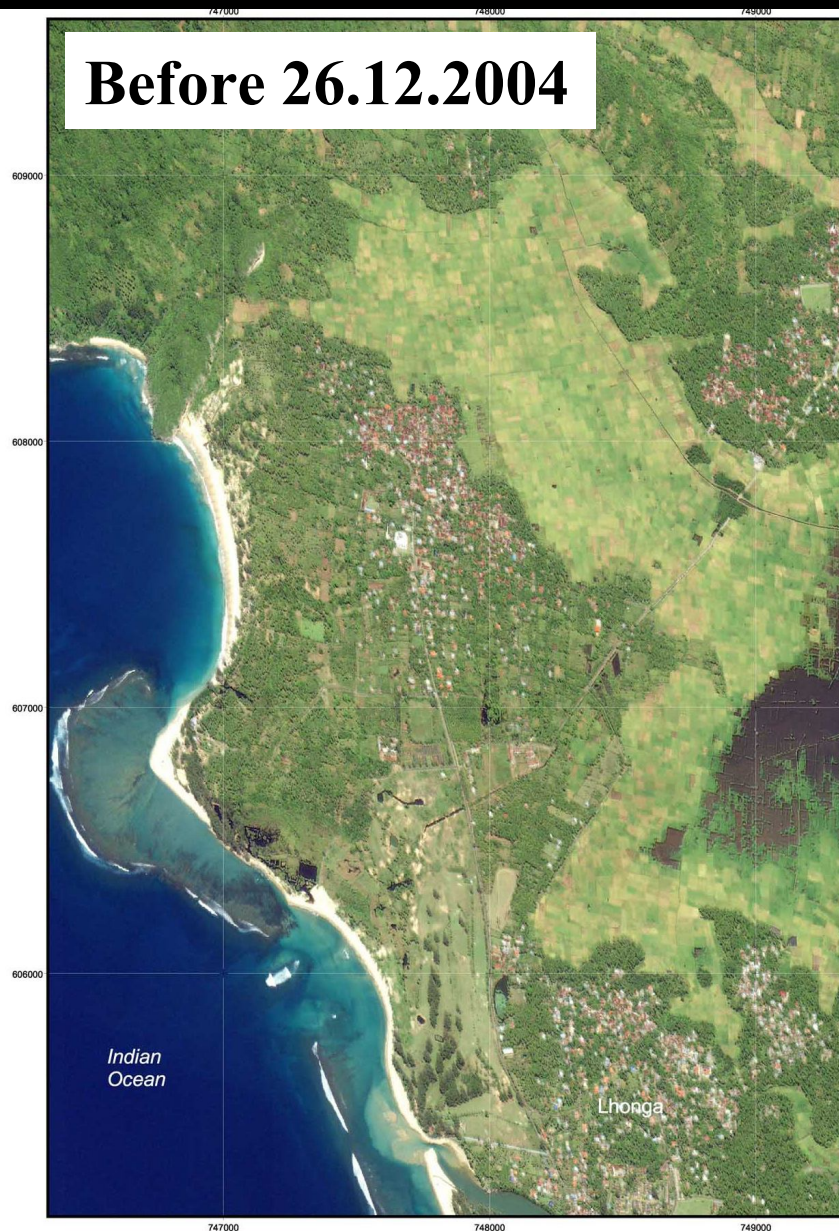






Indonesia – Banda Aceh

Before 26.12.2004



After 26.12.2004



Катастрофическое землетрясение и цунами в Японии 11 марта 2011 г.



Япония, март 2012



Япония, март 2012



Япония, март 2012



Япония, Онагава, март 2012



Япония, март 2012



Япония, март 2012



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 (ураганы)

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

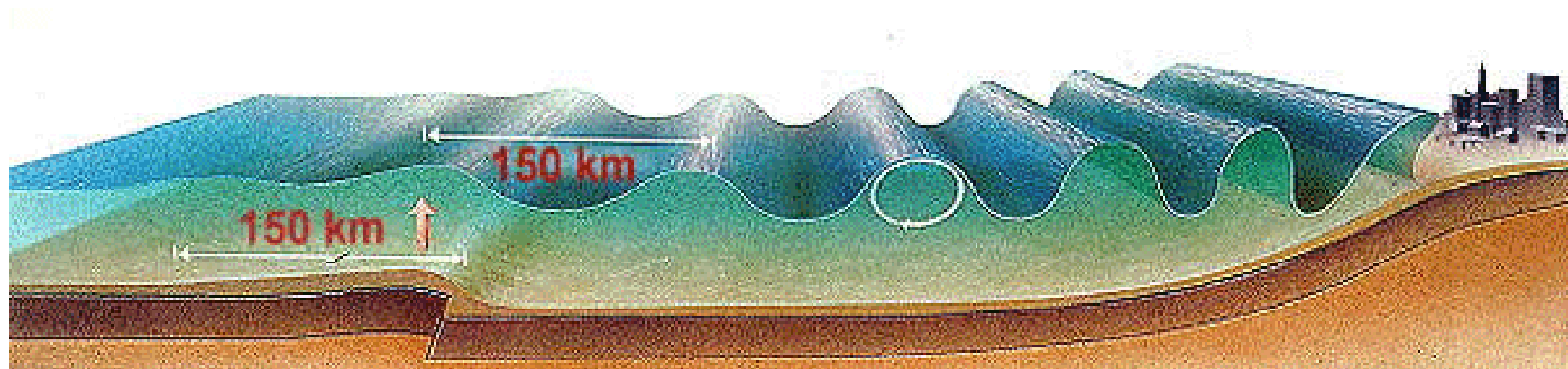
погибших

Степень
готовности
«0»

津波

Harbor wave
Волна в гавани

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



April 1, 1946

M7.1 Aleutian Islands earthquake

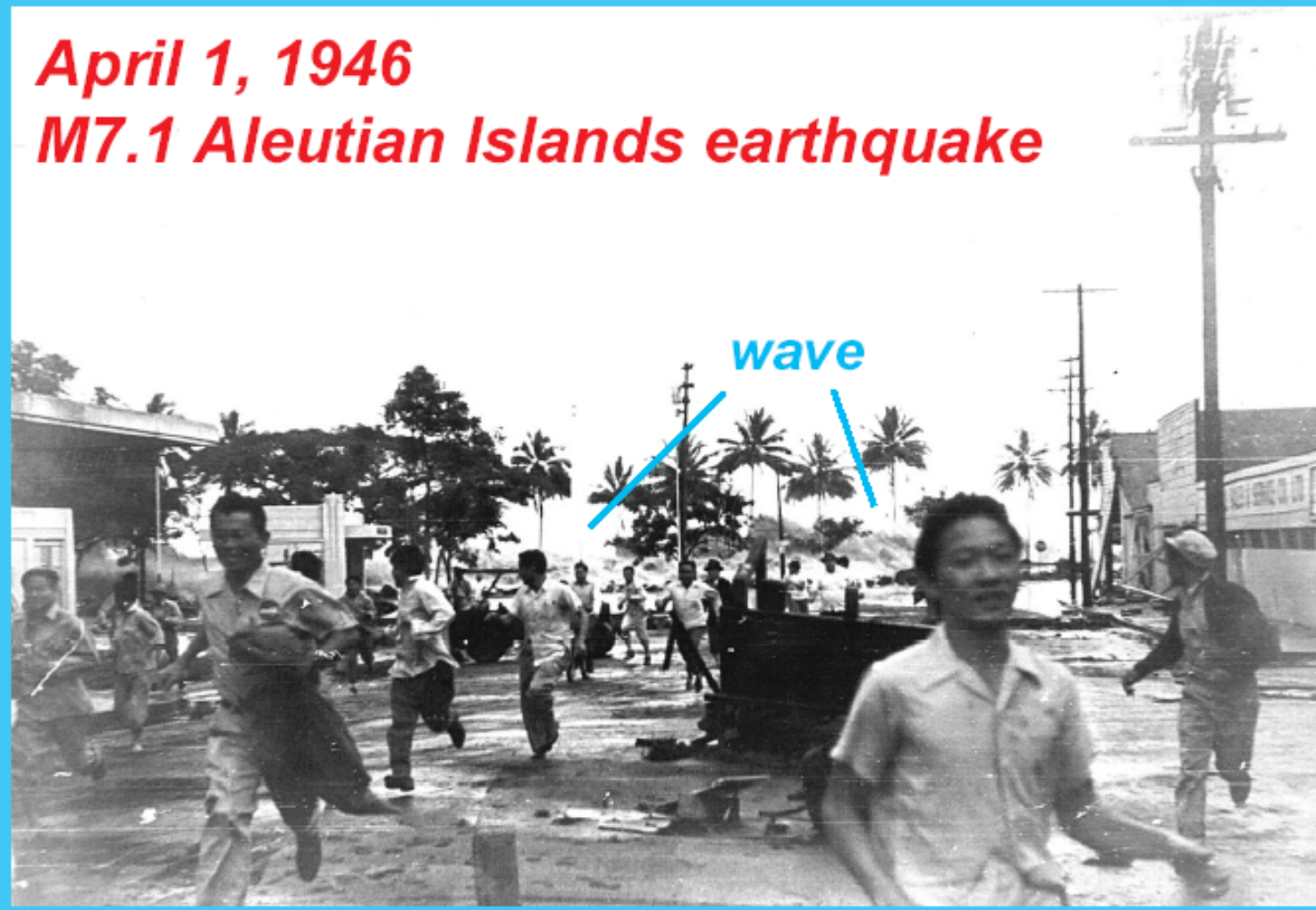
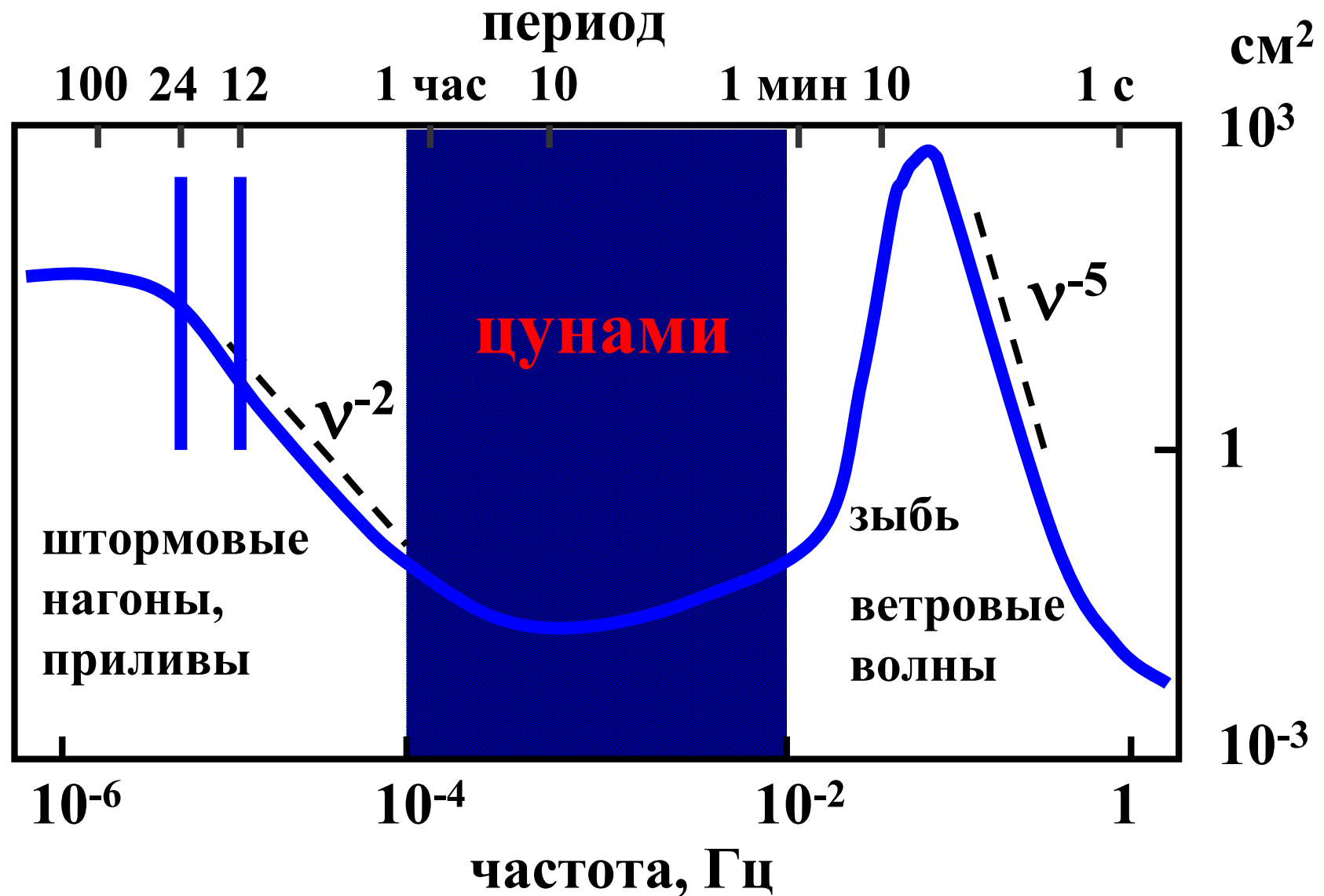


Photo credit: Bishop Museum

**Note water and debris on road in Hilo town ...
Don't be fooled, a tsunami is a series of waves.
This was NOT the 1st wave!**

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

Спектр гравитационных поверхностных волн в океане



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

возникающие под действием
силы тяжести в слое жидкости
со свободной поверхностью

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

■ подводные землетрясения

■ оползни и обвалы

■ вулканические извержения

■ метеорологические причины

■ падение метеоритов

Historical Tsunami Database for the World Ocean (HTDB/WLD)



Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
Tsunami Laboratory, Novosibirsk, Russia

English ▼

Web Encyclopedia on Natural Hazards

Search

Web Encyclopedia » Online Catalogs » HTDB

Online Database Search

Historical Tsunami Database for the World Ocean (HTDB/WLD)

Choose parameters for tsunami data search

To view the whole database click "search database" button, without modifying any parameters

Year: —

Depth: —

Magnitude: —

Tsunami intensity: —

Tsunami Magnitude: —

Wave Height: —

Moment magnitude: —

Abe's tsunami magnitude: —

Cause of Tsunami: (Ctrl+ Click to select more than one):

☐ Volcanic
☐ Landslide
☐ Meteorological
☐ Seiches

Area Coordinates ('-' for southern latitude and western longitude):

Latitude: —

Longitude: —

Number of Run-ups: —

Tsunamiogenic Region Code:

Basic reference code:

Source Region:

Damage: ☒ None ☒ Small ☒ Medium ☒ High

Validity: —

Results per page:

<http://tsun.sccc.ru/tsunami-database/index.php>

Global Historical Tsunami Database, National Geophysical Data Center / World Data Service / NOAA



NOAA > NESDIS > NCEI (formerly NGDC) > Natural Hazards

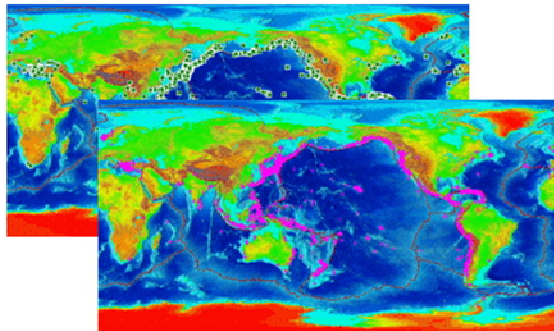
Search...

[questions](#)

[Tsunamis](#)

[Earthquakes](#)

[Volcanoes](#)



[Natural Hazards Interactive Map](#)

[Database Introduction](#)

[Tsunami Source Event References](#)

[Tsunami Runup References](#)

Please cite this data/database as:
[doi:10.7289/V5PN93H7](https://doi.org/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.)

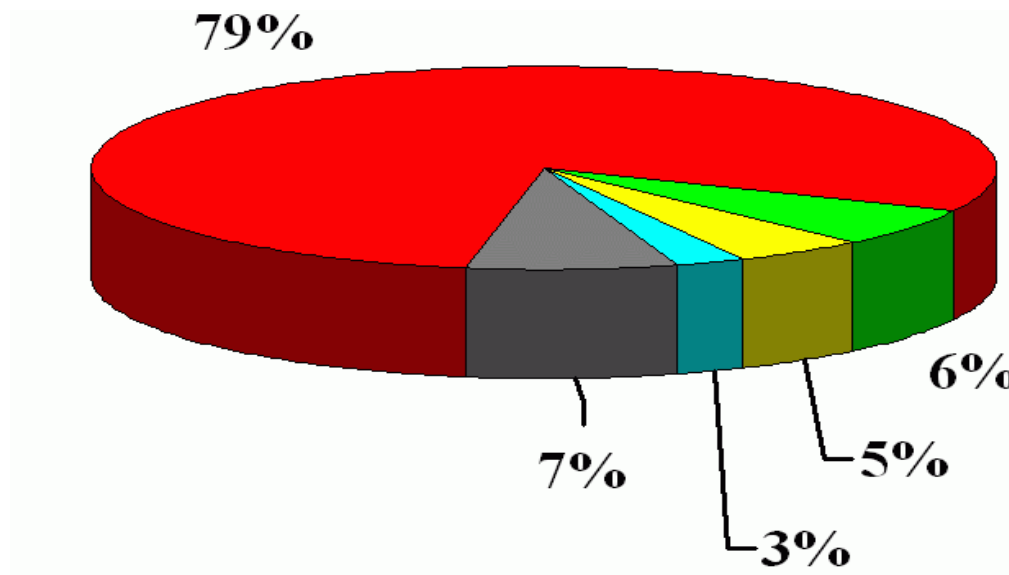
NOTE: *Some events do not have runup information; other events have many locations where a runup height was recorded*

[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](#)

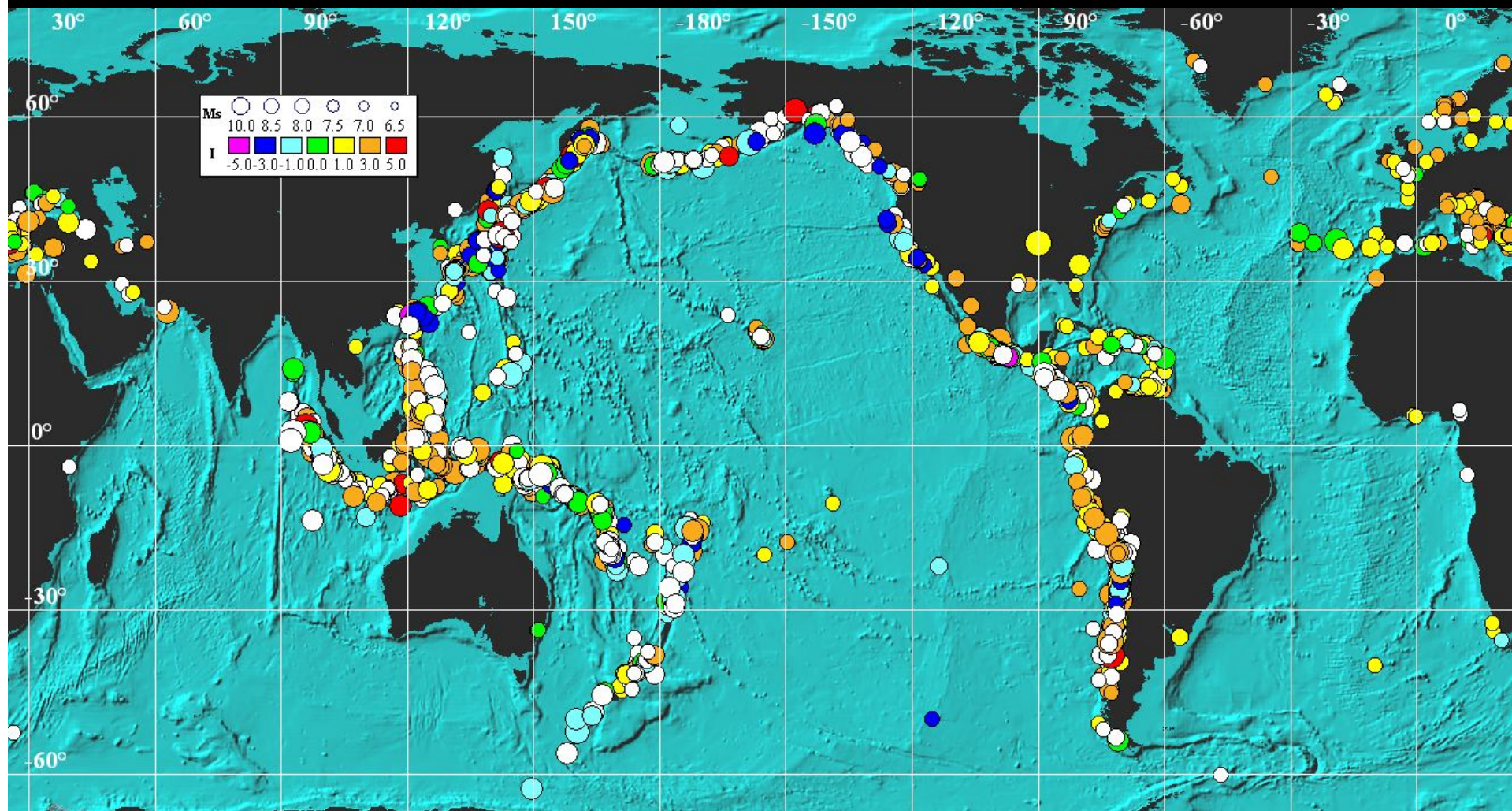
https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml



HTDB/WLD

- **подводные землетрясения**
- **оползни и обвалы**
- **вулканические извержения**
- **метеорологические причины**
- **падение метеоритов (нет данных)**
- **причина неизвестна**

Источники цунами (2000 В.С. – н.в.)



~ 2500 событий

Основные свойства волн цунами:

1. Цунами – длинные волны (т.е. длина волны λ много больше глубины океана H);

2. Скорость распространения волн цунами определяется ускорением силы тяжести g и глубиной океана H :

$$c = \sqrt{gH}$$

**Смотри,
волна
цунами!!**



**А я не вижу
никакой
волны!!!**



$\sim 100 \text{ км}$



$A \sim 1 \text{ м}$

$H \approx 4 \text{ км}$

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

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

Основные свойства волн цунами:

3. Волны цунами в открытом океане распространяются со скоростью реактивного лайнера (~ 100 м/с), но скорость движения частиц воды в волне очень мала (~ 0.01 м/с);

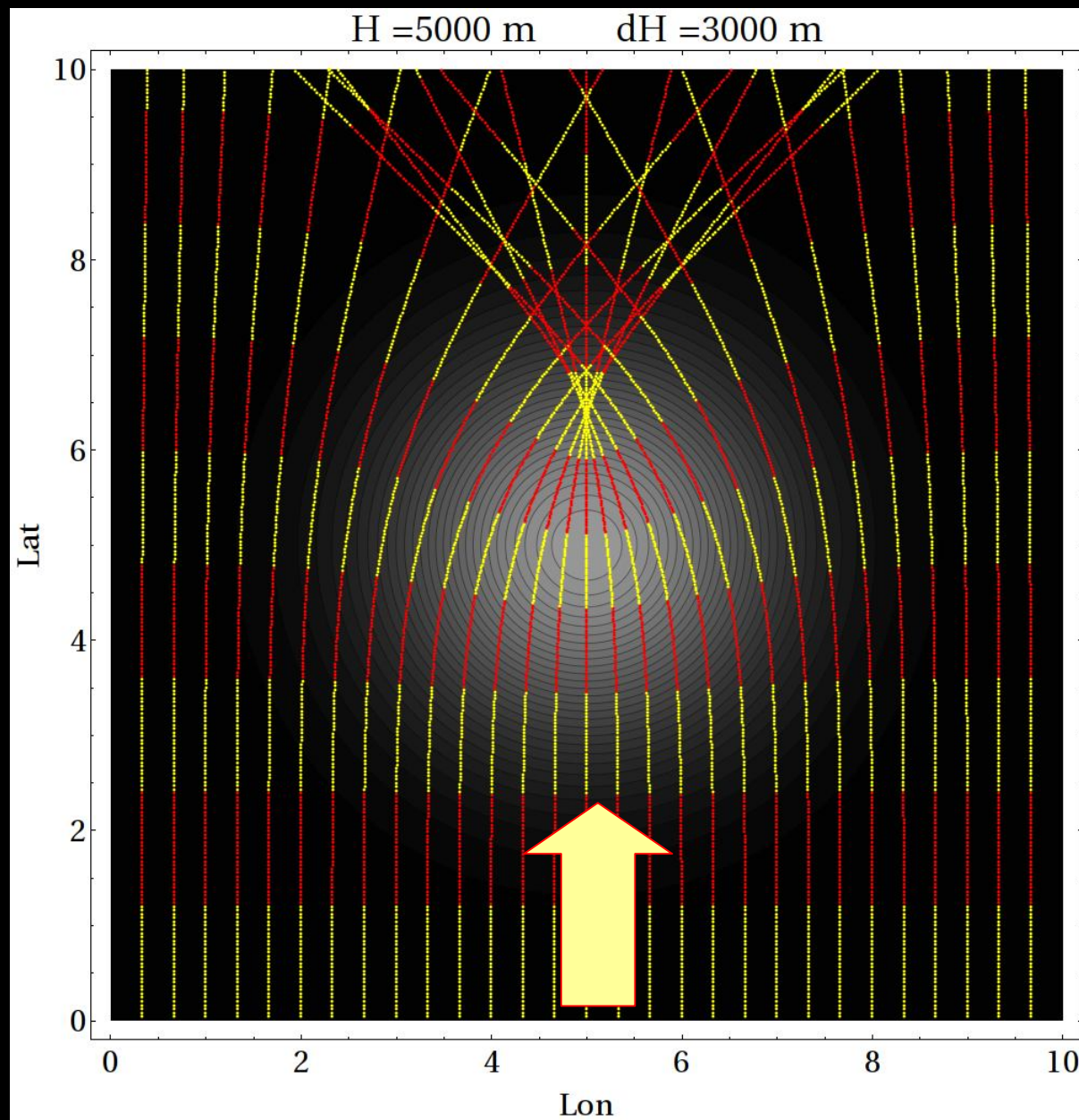
4. Волны цунами в открытом океане обычно не могут быть обнаружены с борта судна или с самолета без специальной аппаратуры;

Основные свойства волн цунами:

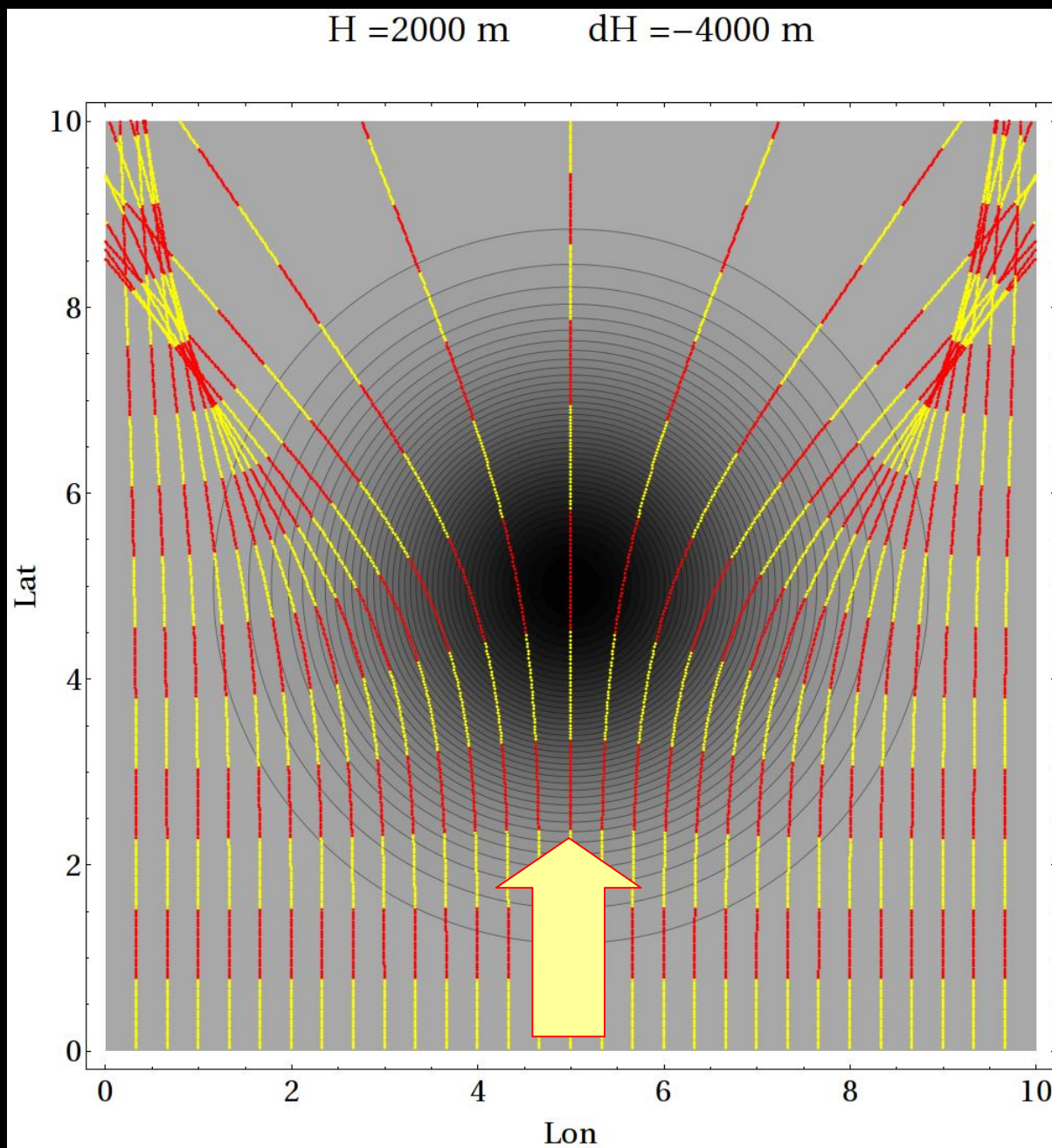
5. Формы рельефа дна влияют на распространение цунами в океане (цунами подвержены рефракции);

6. При подходе цунами к берегу (при уменьшении глубины) увеличиваются амплитуды смещения поверхности и скорости горизонтальных течений;

Ход волновых лучей над подводной возвышенностью

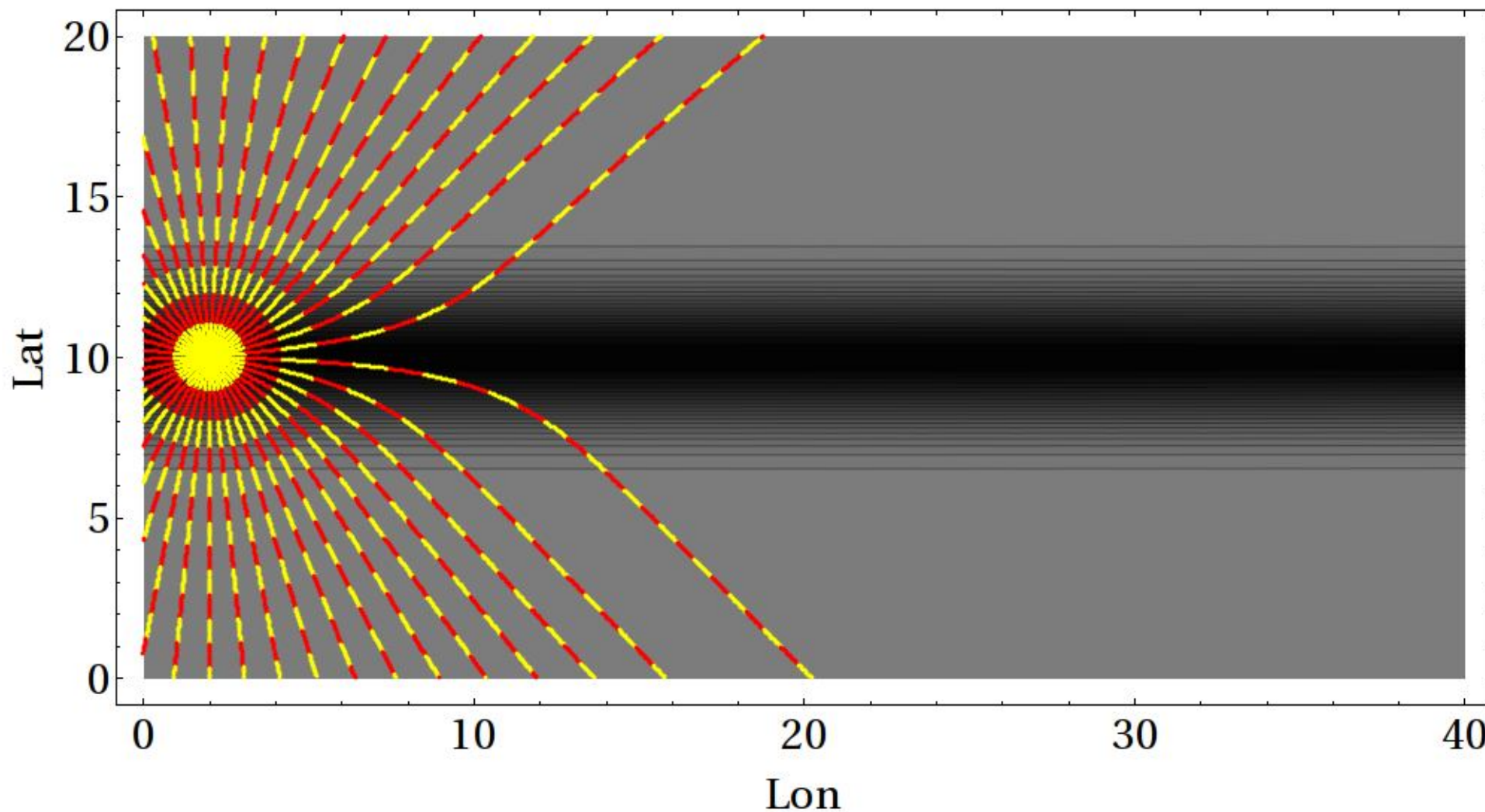


Ход волновых лучей над подводной депрессией

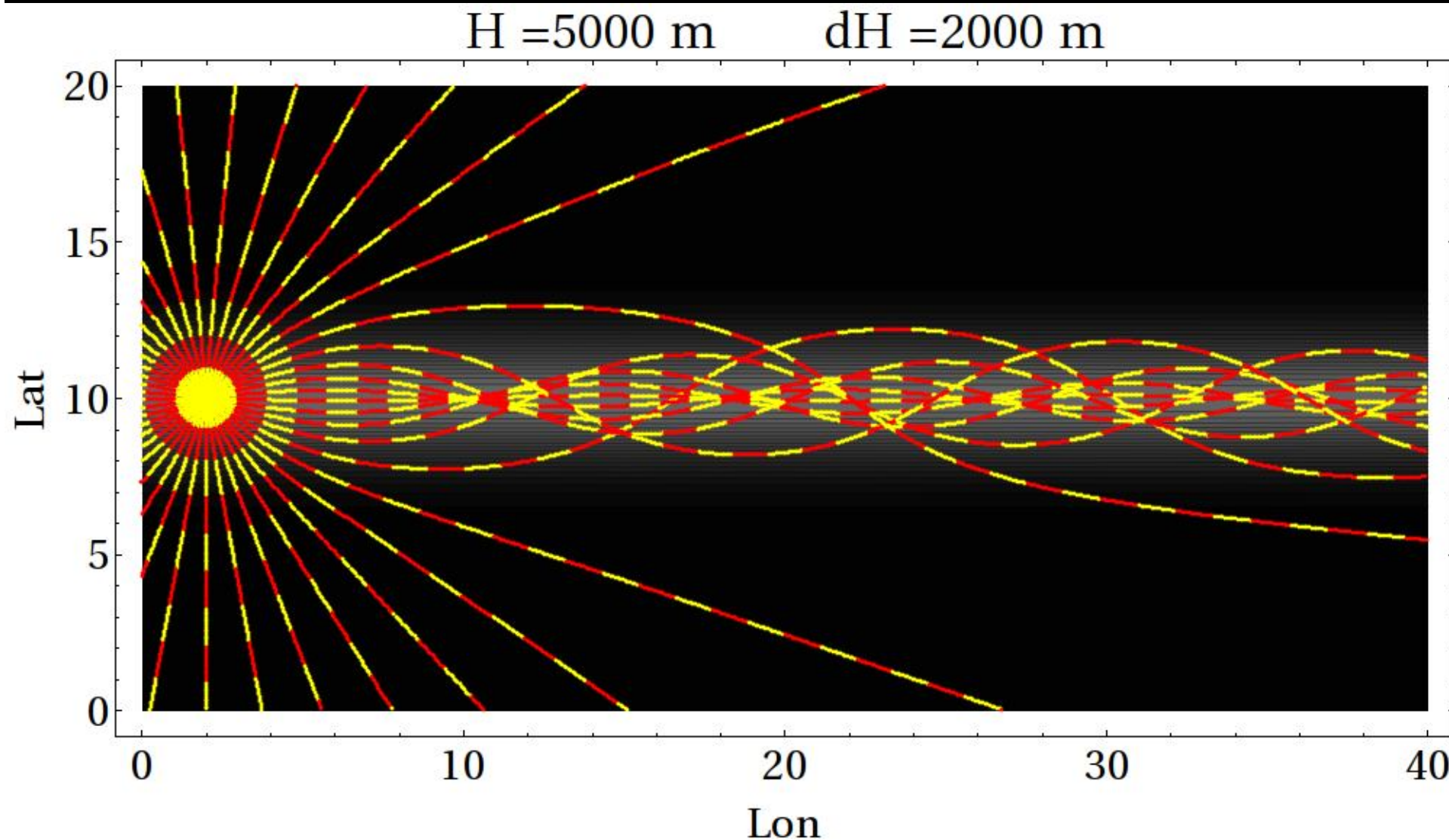


Ход волновых лучей вблизи глубоководного желоба

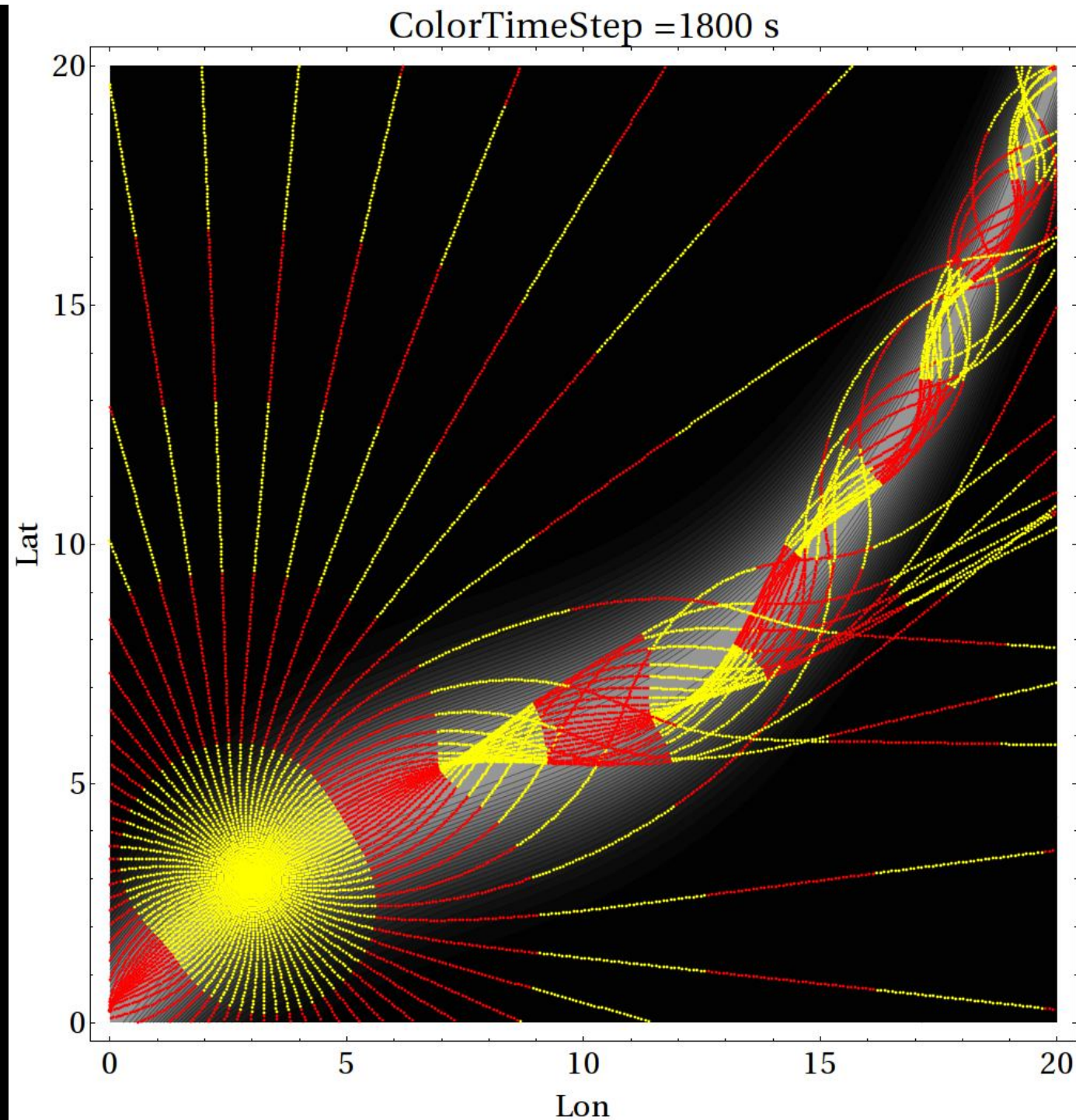
$H = 2000 \text{ m}$ $dH = -2000 \text{ m}$



Ход волновых лучей вблизи подводного хребта

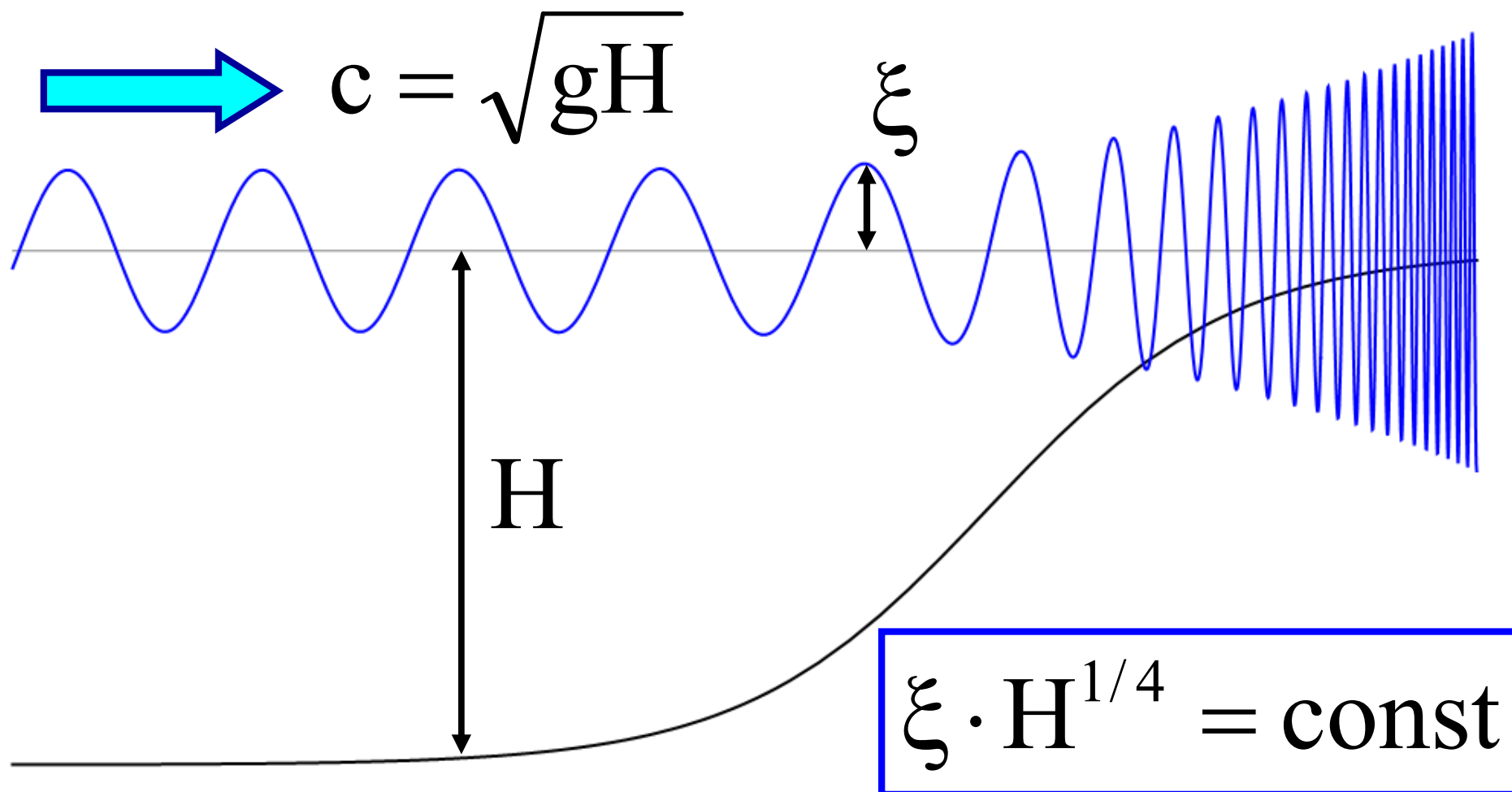


**Ход
волновых
лучей вблизи
подводного
хребта**



Закон Грина (закон "1/4")

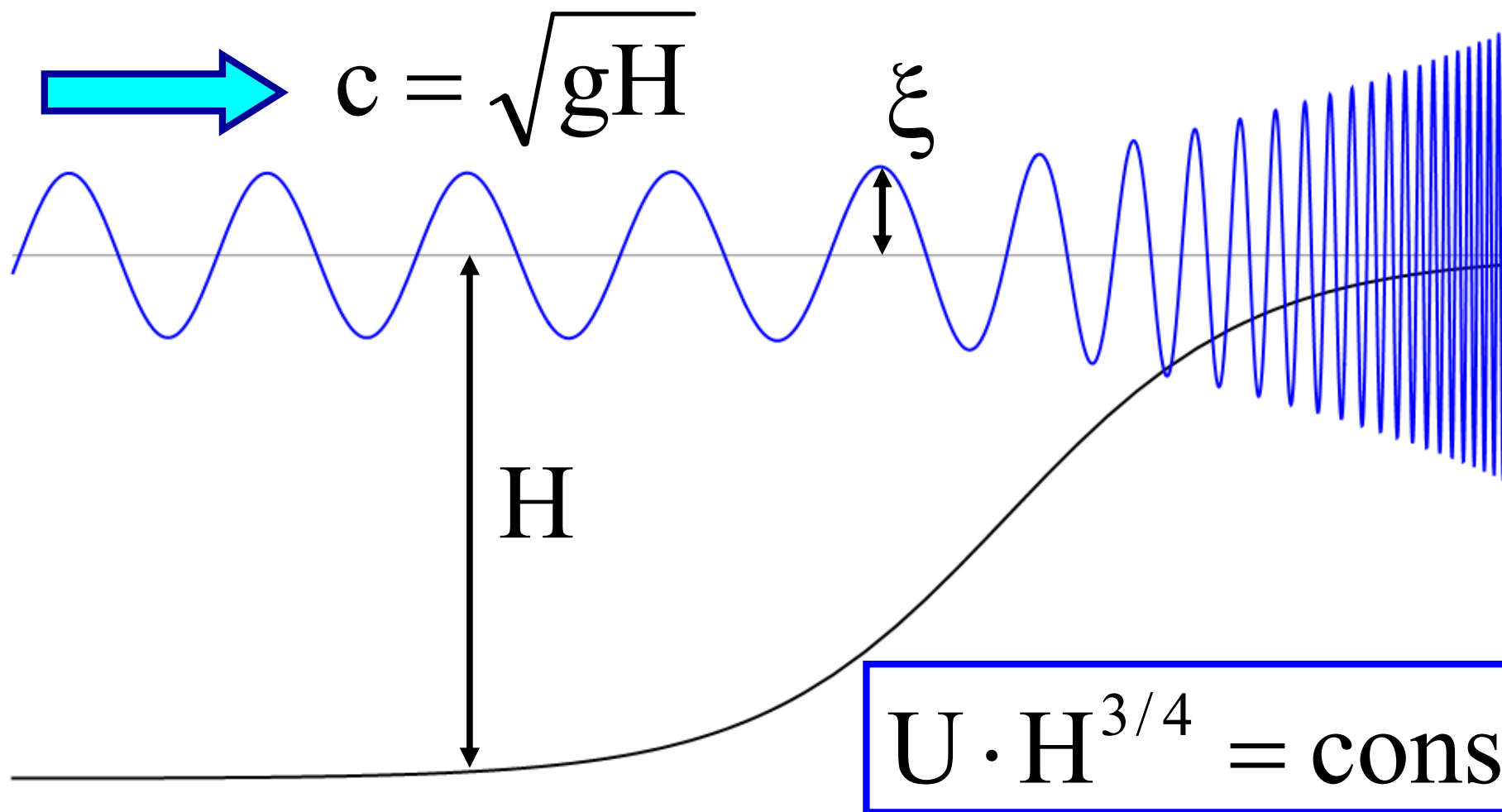
$$W \sim \xi^2 \quad Q \sim \xi^2 c \sim \xi^2 \sqrt{H} = \text{const}$$



Закон для скорости течения (закон «3/4»)

$$W \sim U^2 H$$

$$Q \sim U^2 H c \sim U^2 H^{3/2} = \text{const}$$



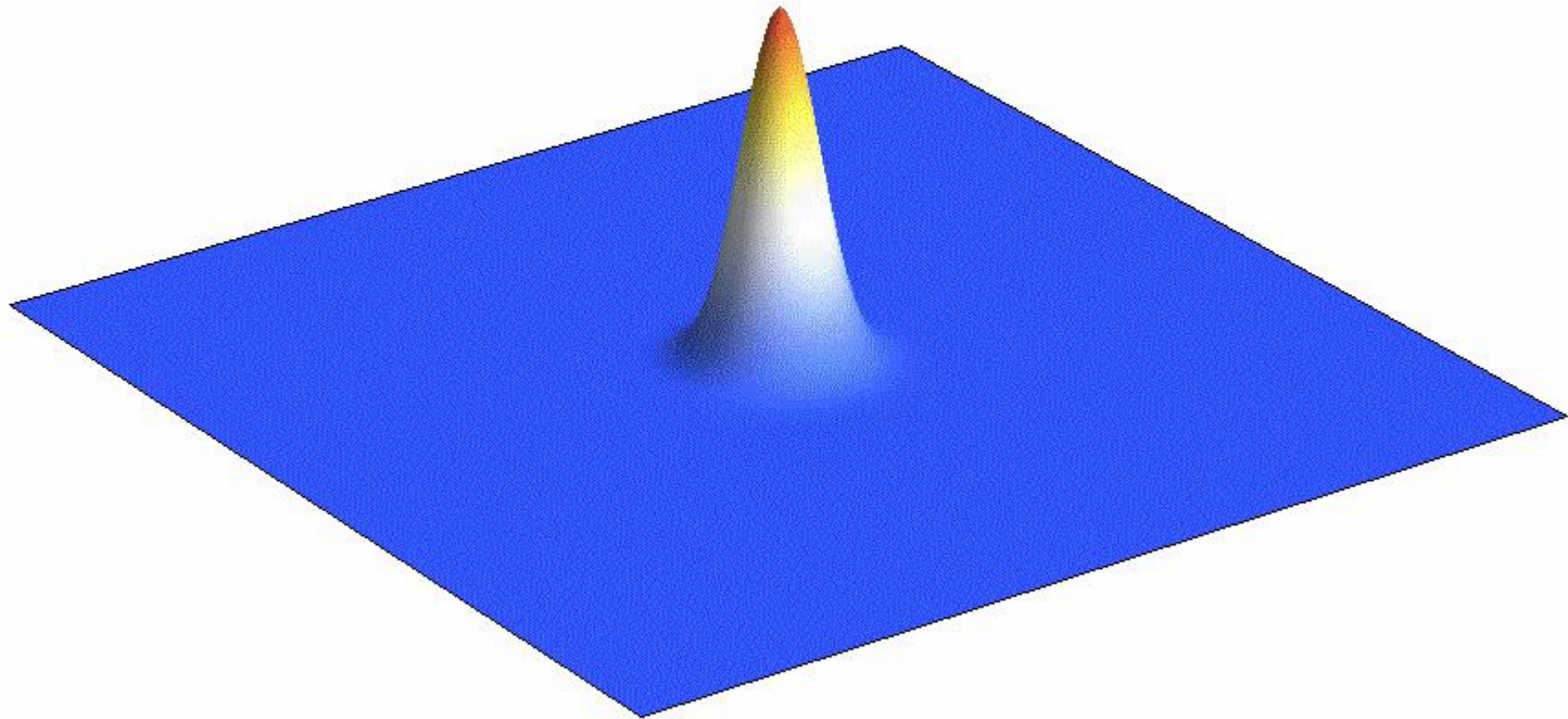
Основные свойства волн цунами:

7. Волны цунами даже небольшой амплитуды могут быть опасны у берега из-за сильных течений;

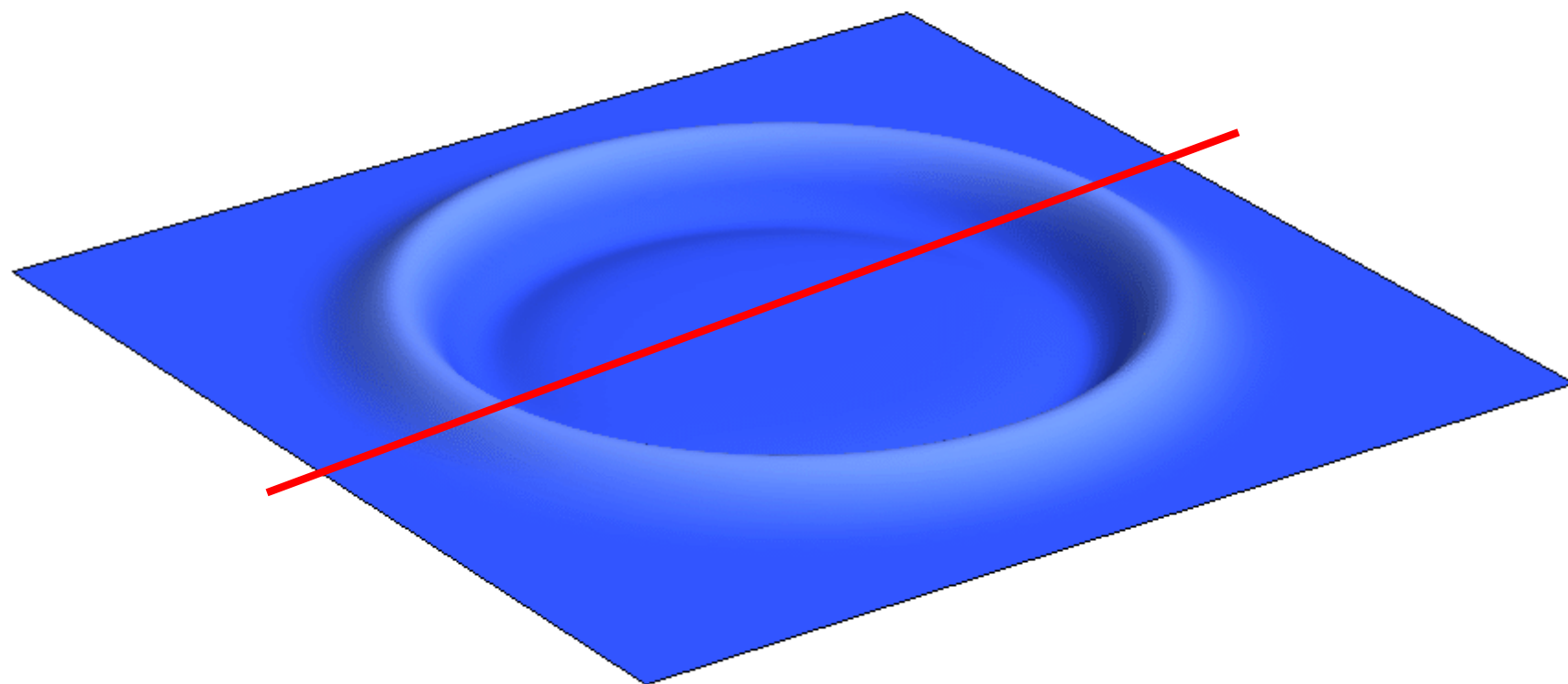
8. Волны цунами способны сохранять разрушительный потенциал при распространении на трансокеанские расстояния (более 10 тыс.км).

- 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)

$a/b=1$, time=000 s



$a/b=1$, time=500 s



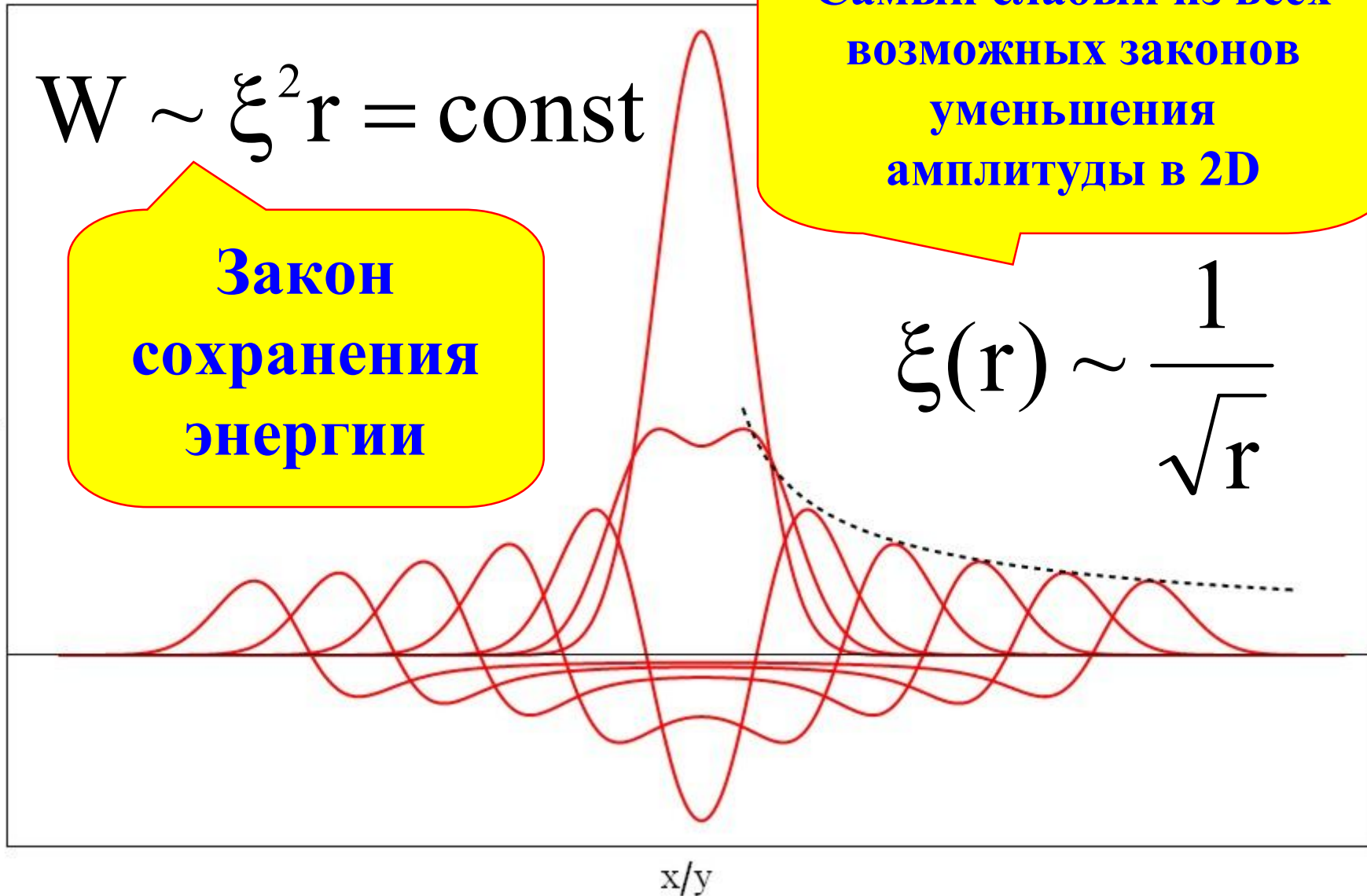
Профили волн в последовательные моменты времени (0, 50, 100, 200, 300, 400 и 500 с)

$$W \sim \xi^2 r = \text{const}$$

**Закон
сохранения
энергии**

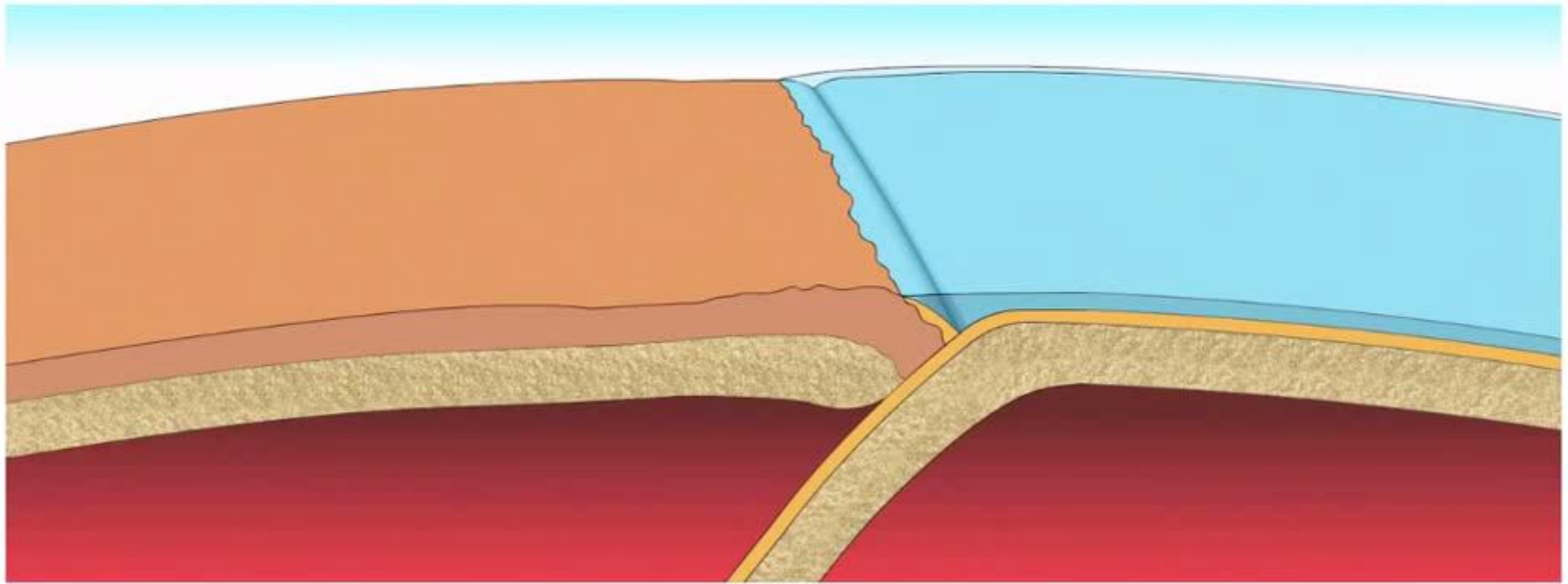
**Самый слабый из всех
возможных законов
уменьшения
амплитуды в 2D**

$$\xi(r) \sim \frac{1}{\sqrt{r}}$$



**Генерация
цунами
землетрясениями
(79%)**

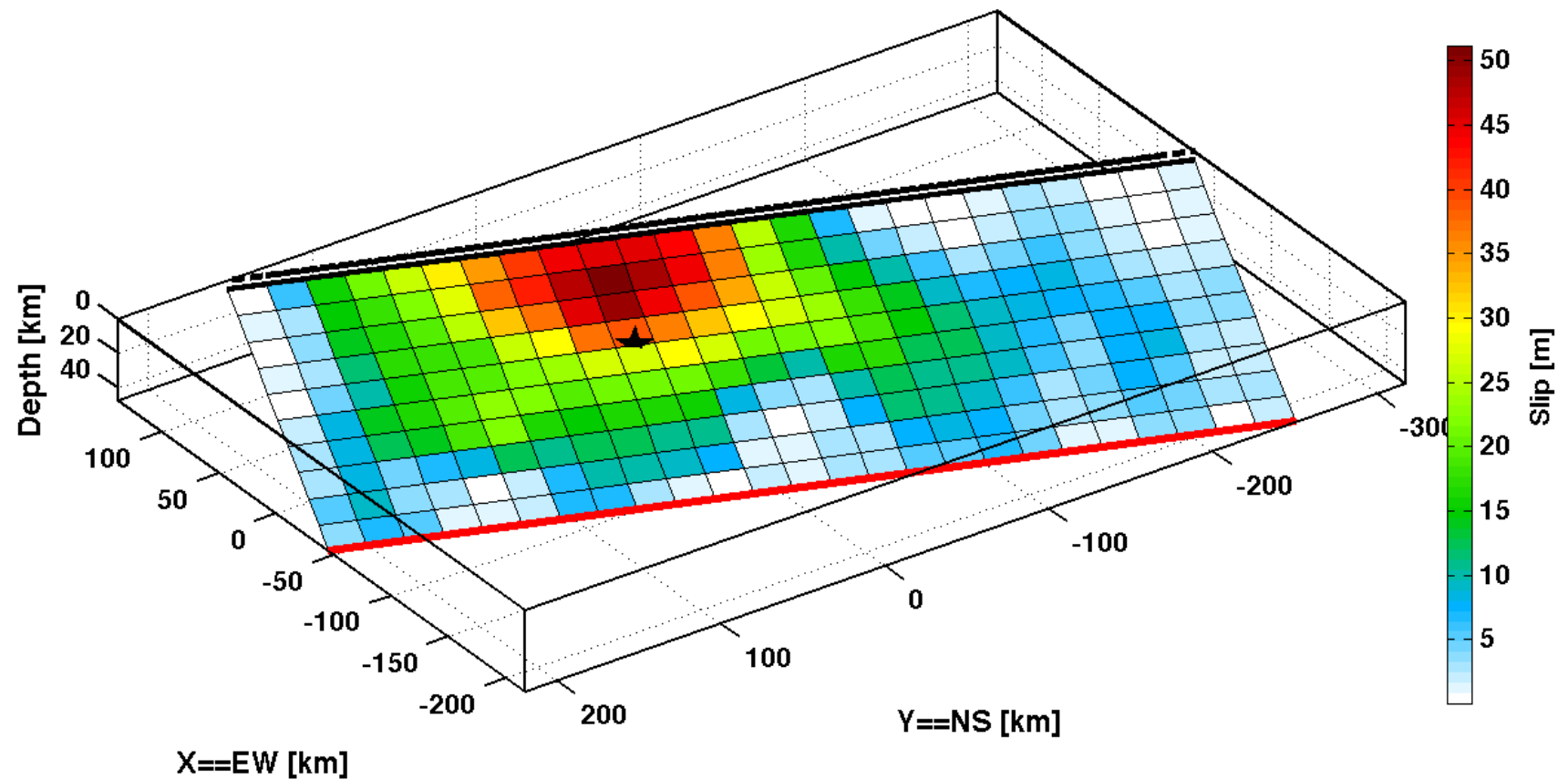
Subduction Zone



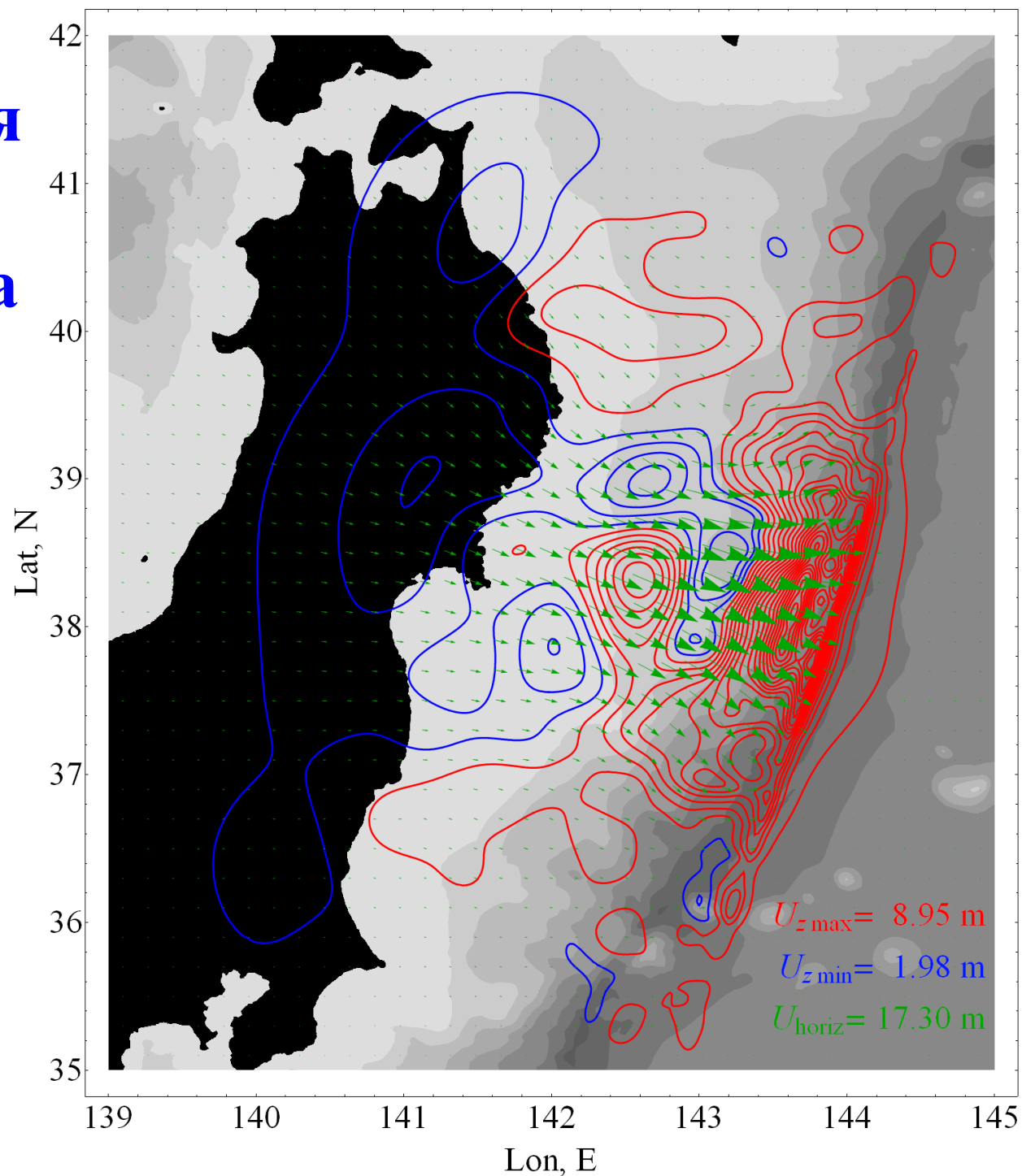
Косейсмические деформации при реальных землетрясениях



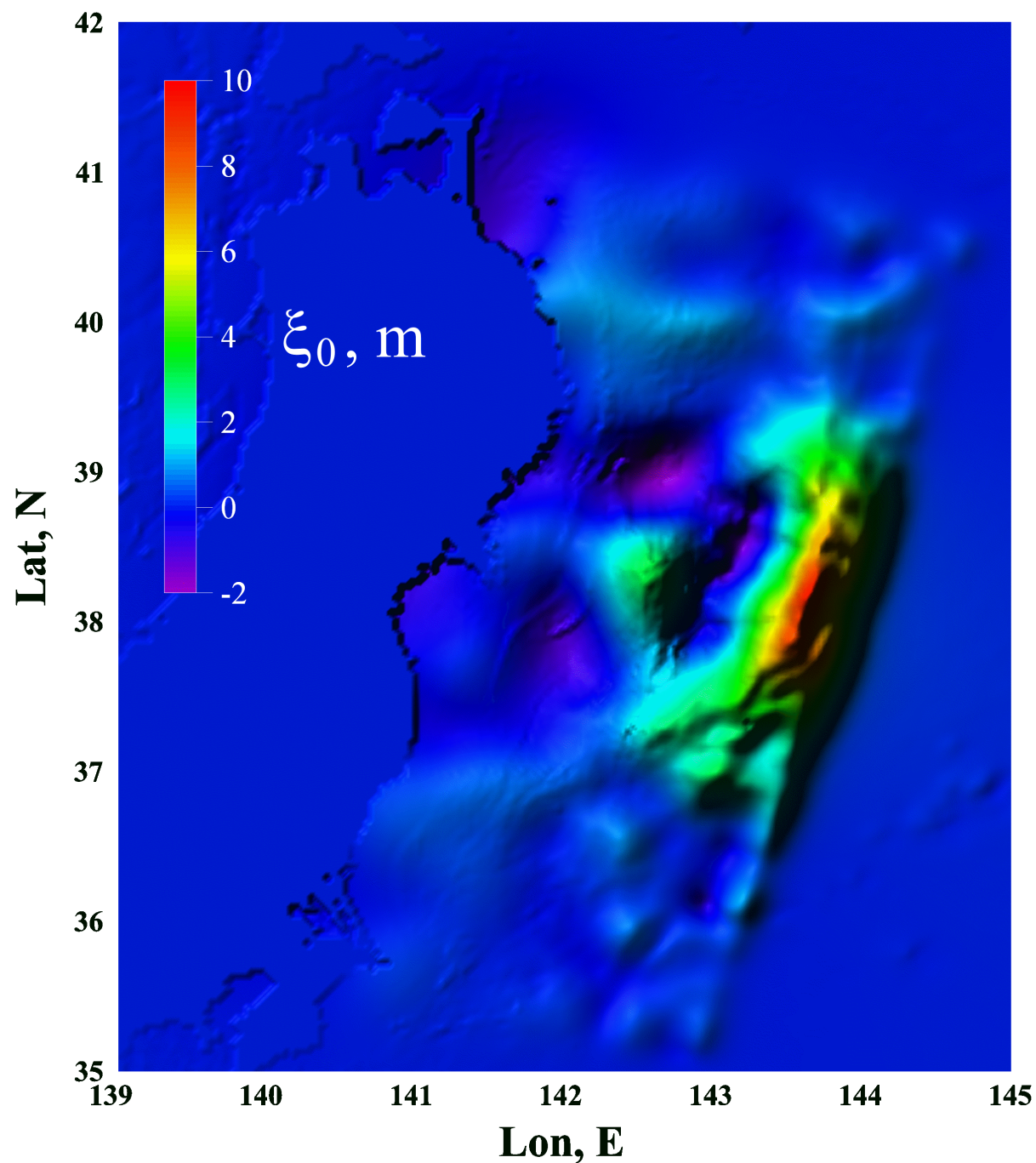
Модель распределения подвижки для землетрясения 11 марта 2011 г (USGS)

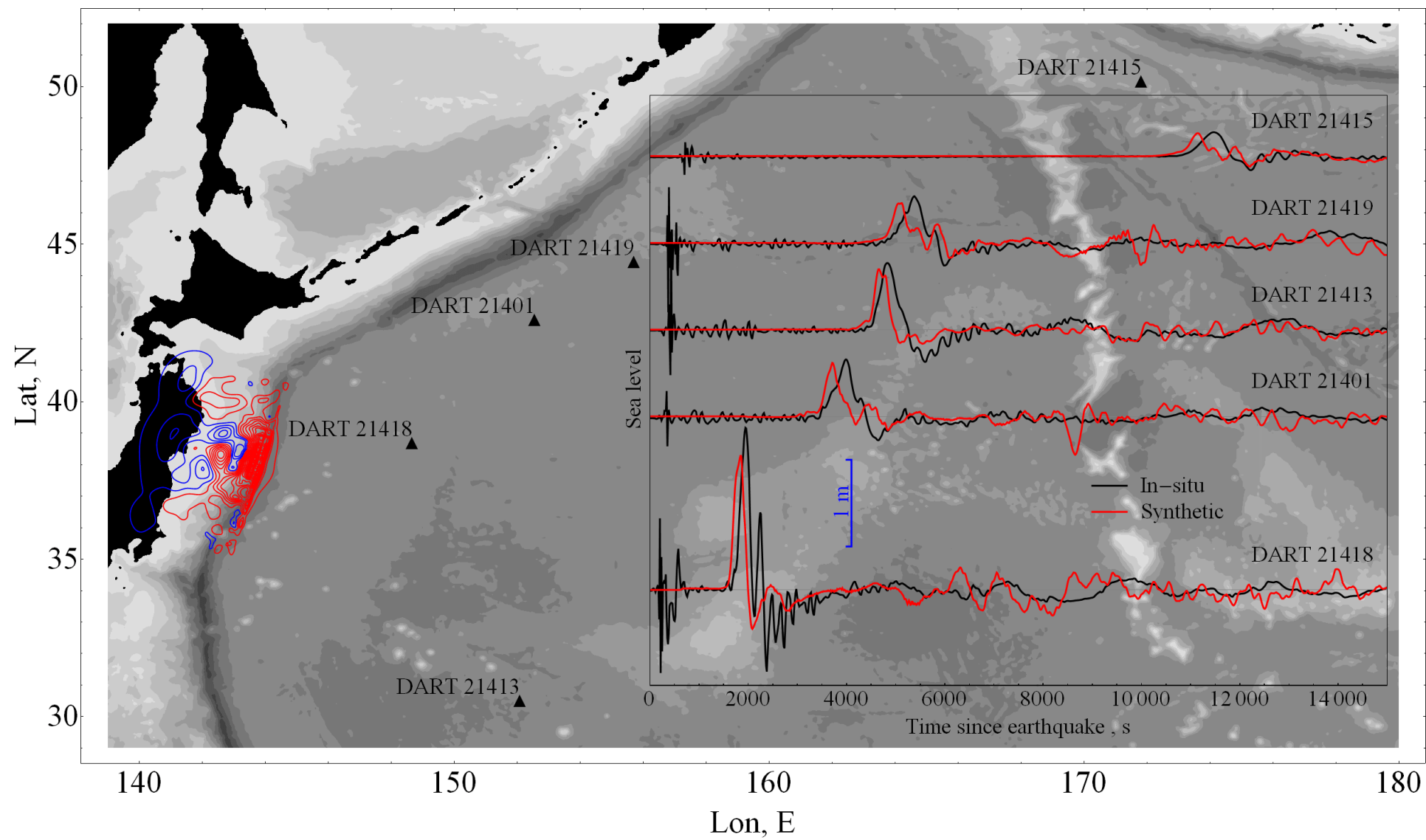


**Косейсмическая
(остаточная)
деформация дна
океана в очаге
цунами Тохоку
11.03.2011
(Япония)**

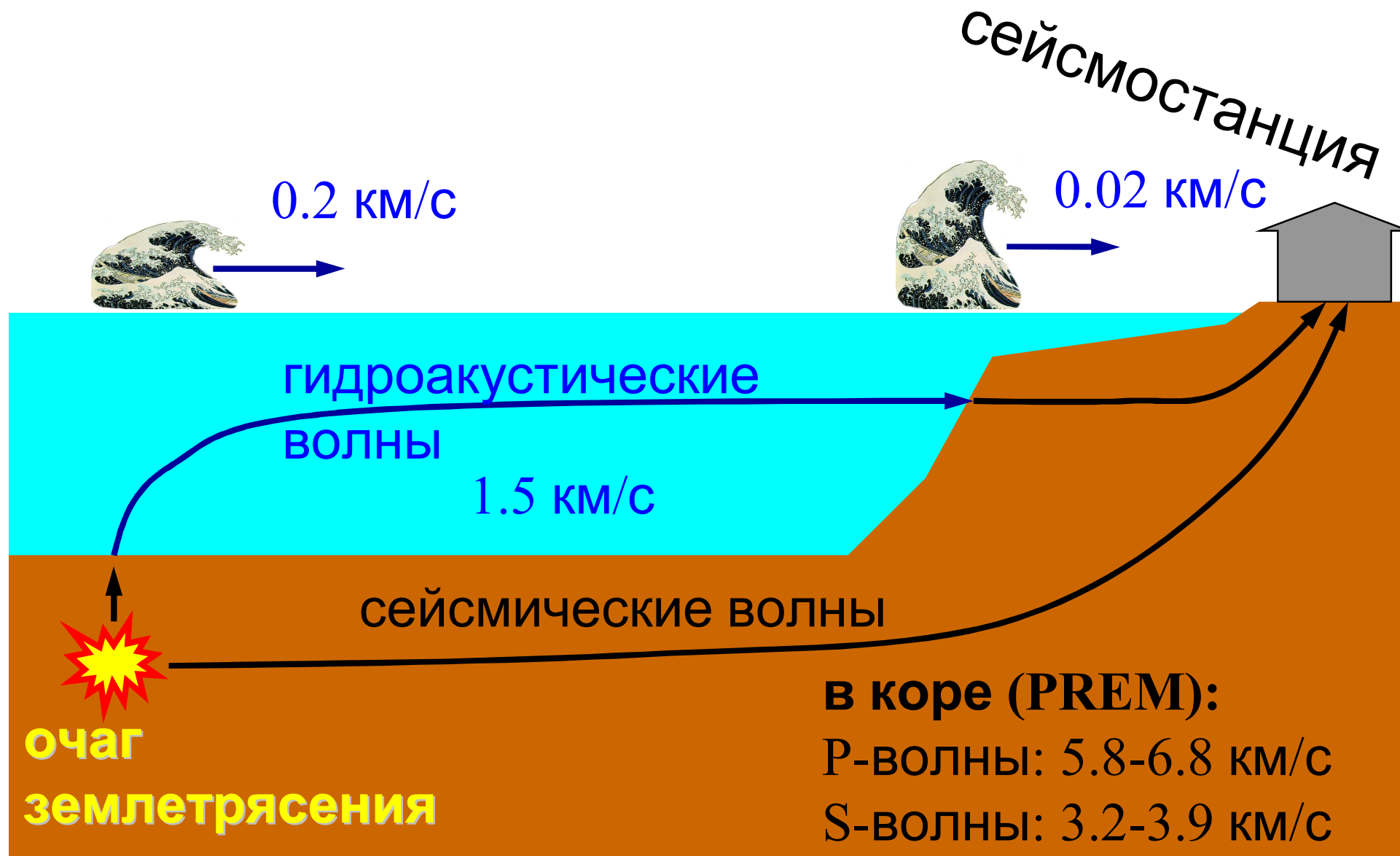


**Начальное
возвышение
водной
поверхности в
очаге цунами
11.03.2011**

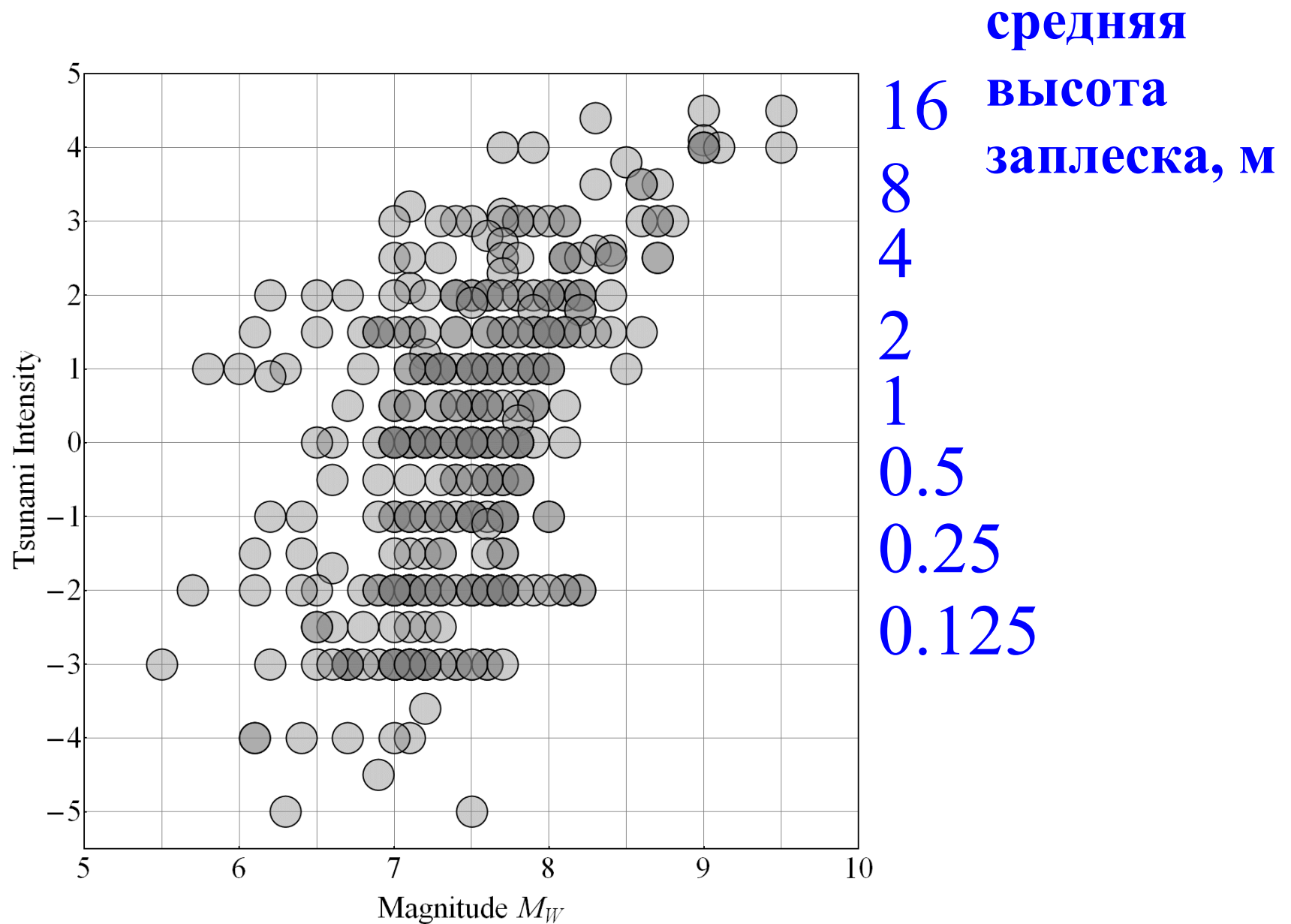




Сейсмогенные цунами можно прогнозировать в оперативном режиме!



Связь между цунами и землетрясениями



**Генерация
цунами
оползнями и
обвалами (6%)**

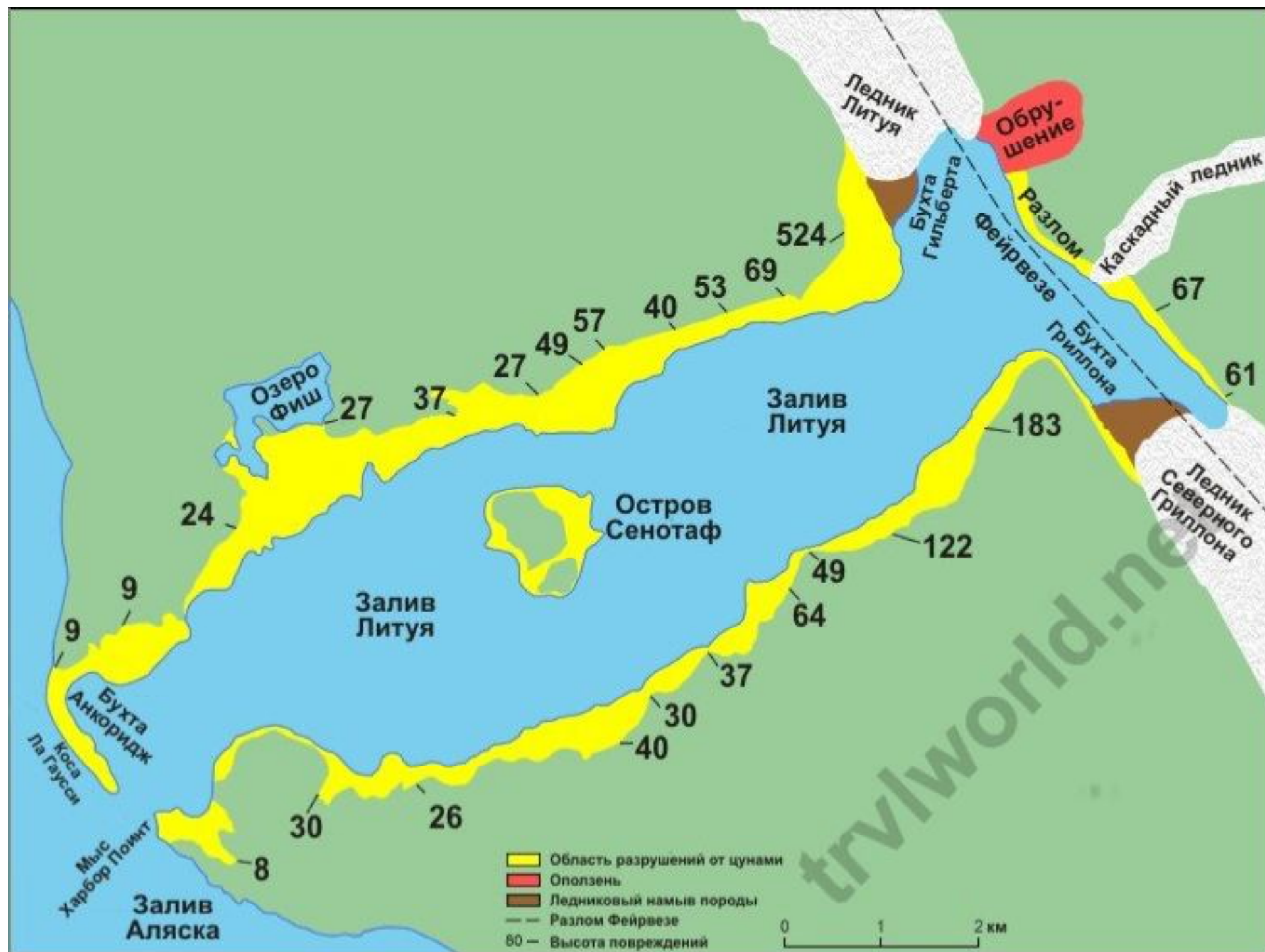
Бухта Литуйя, Аляска, 9 июля 1958 г
оползень объемом $\sim 0.3 \text{ км}^3$

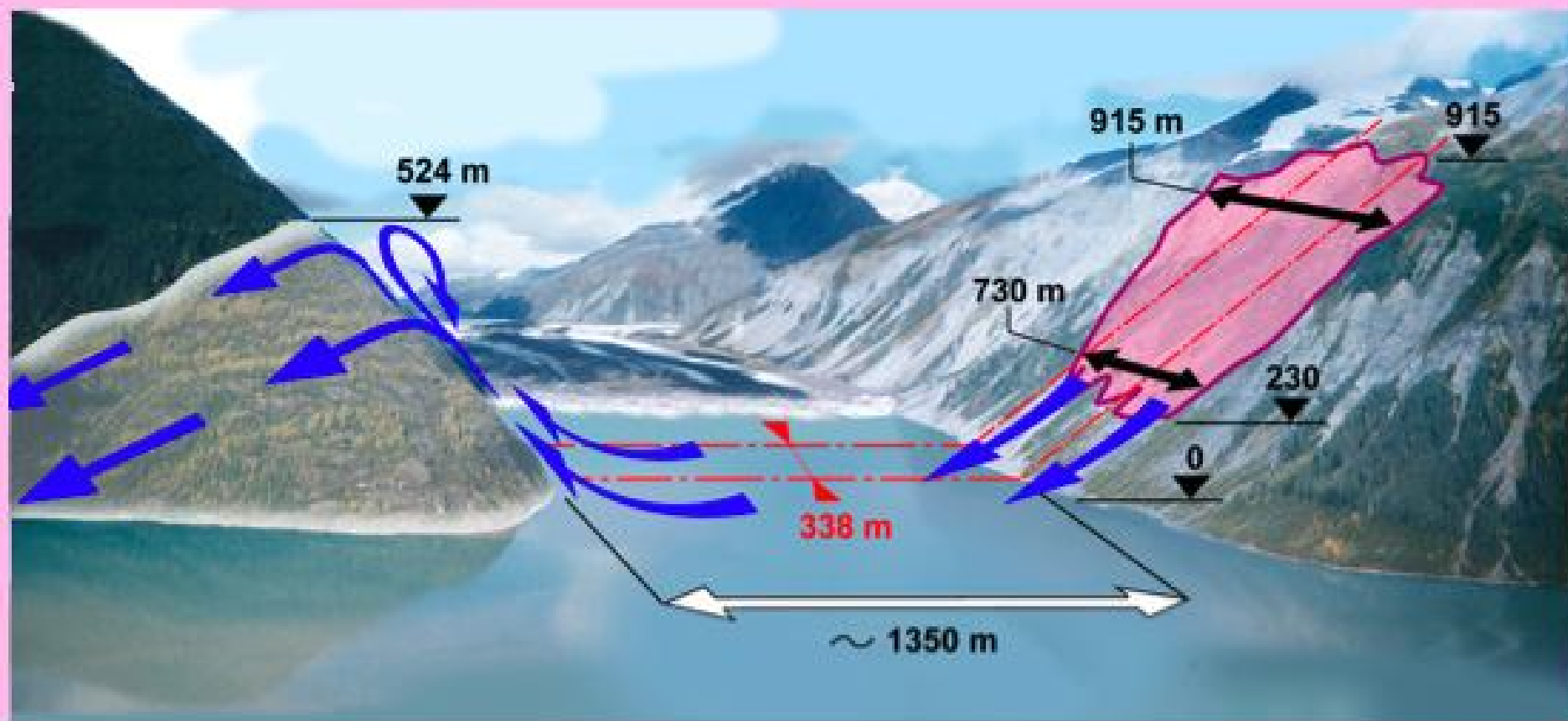


524 m



300m







Лаперуз, Жан-Франсуа

1741 — 1788

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

«...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»

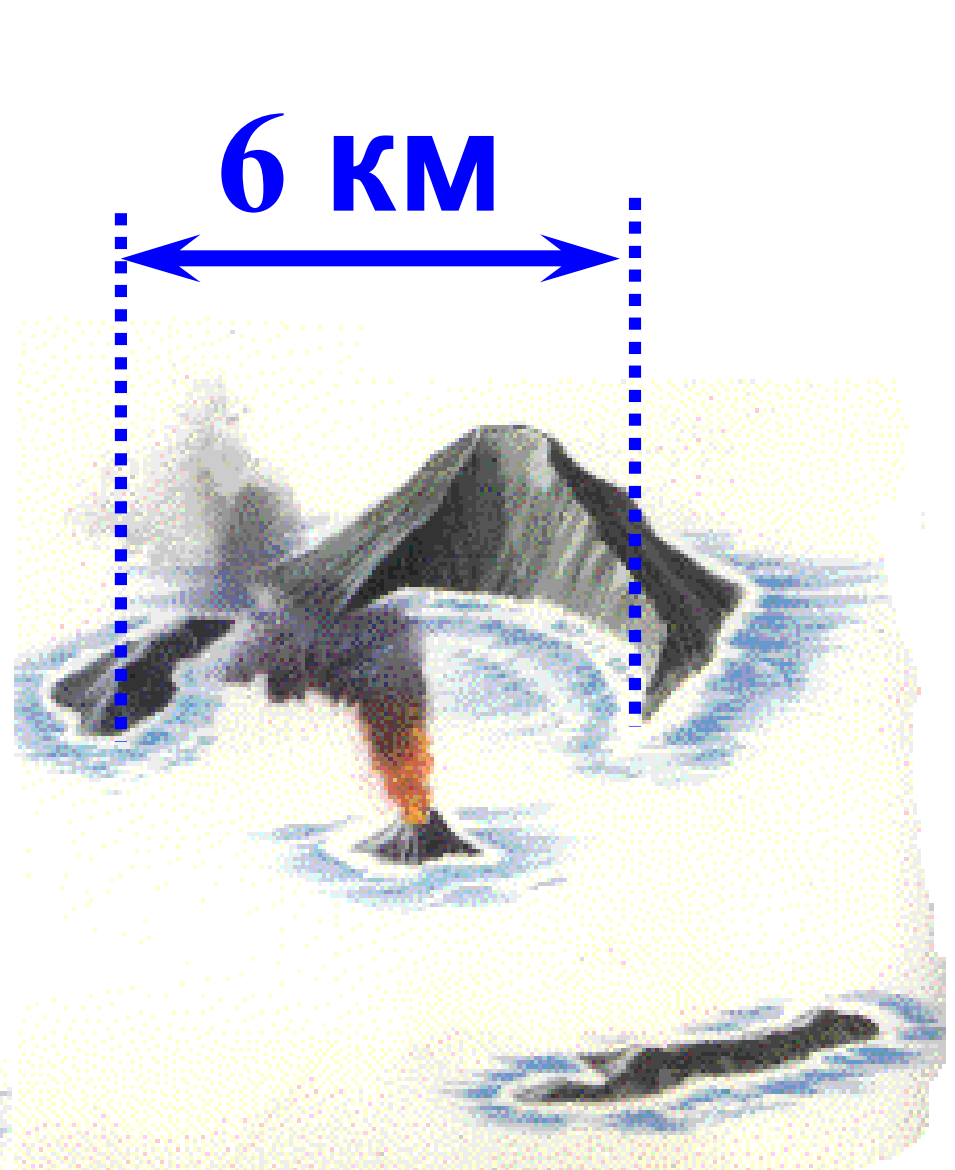
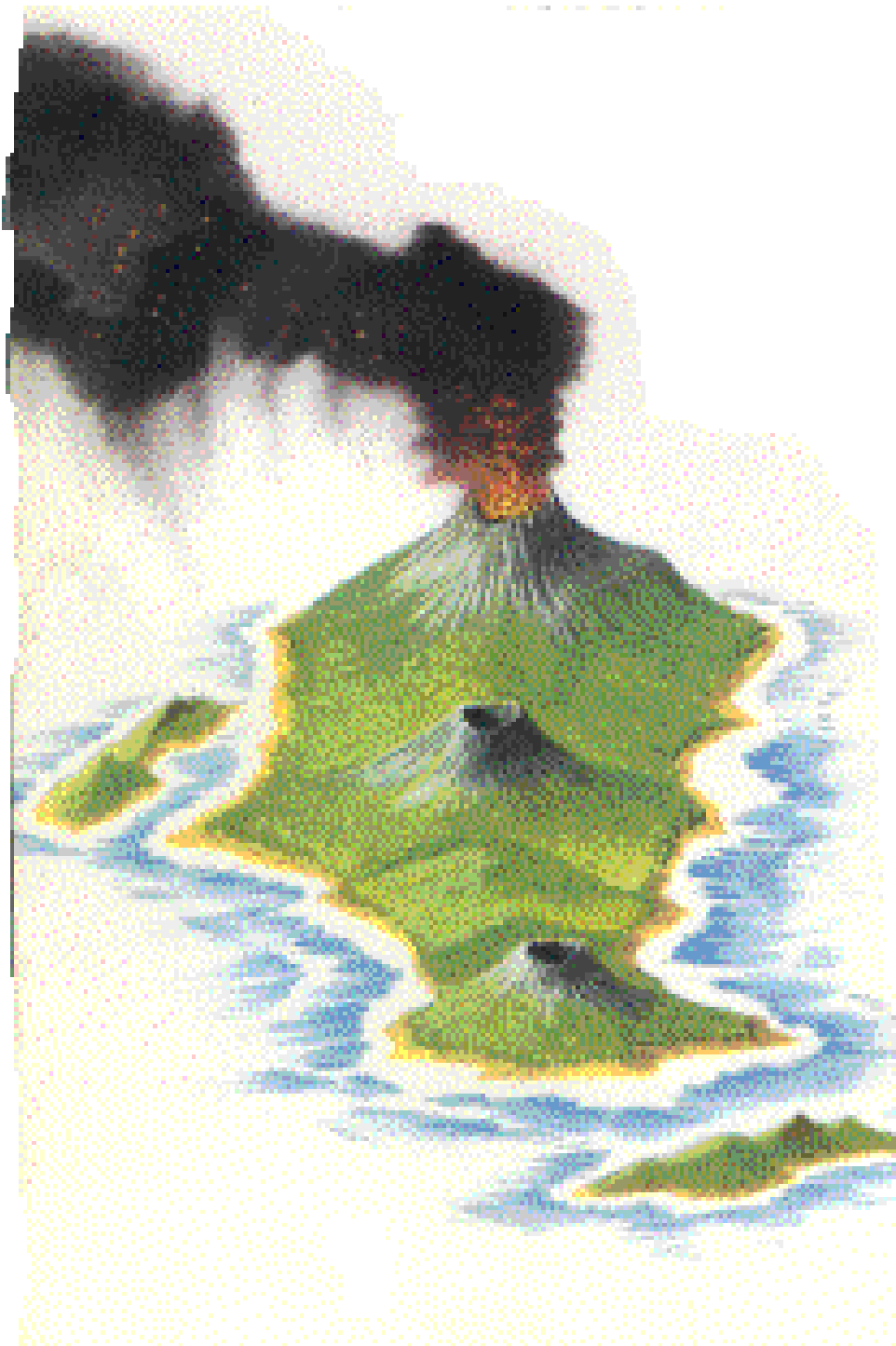
**Генерация
цунами
вулканическими
извержениями
(5%)**

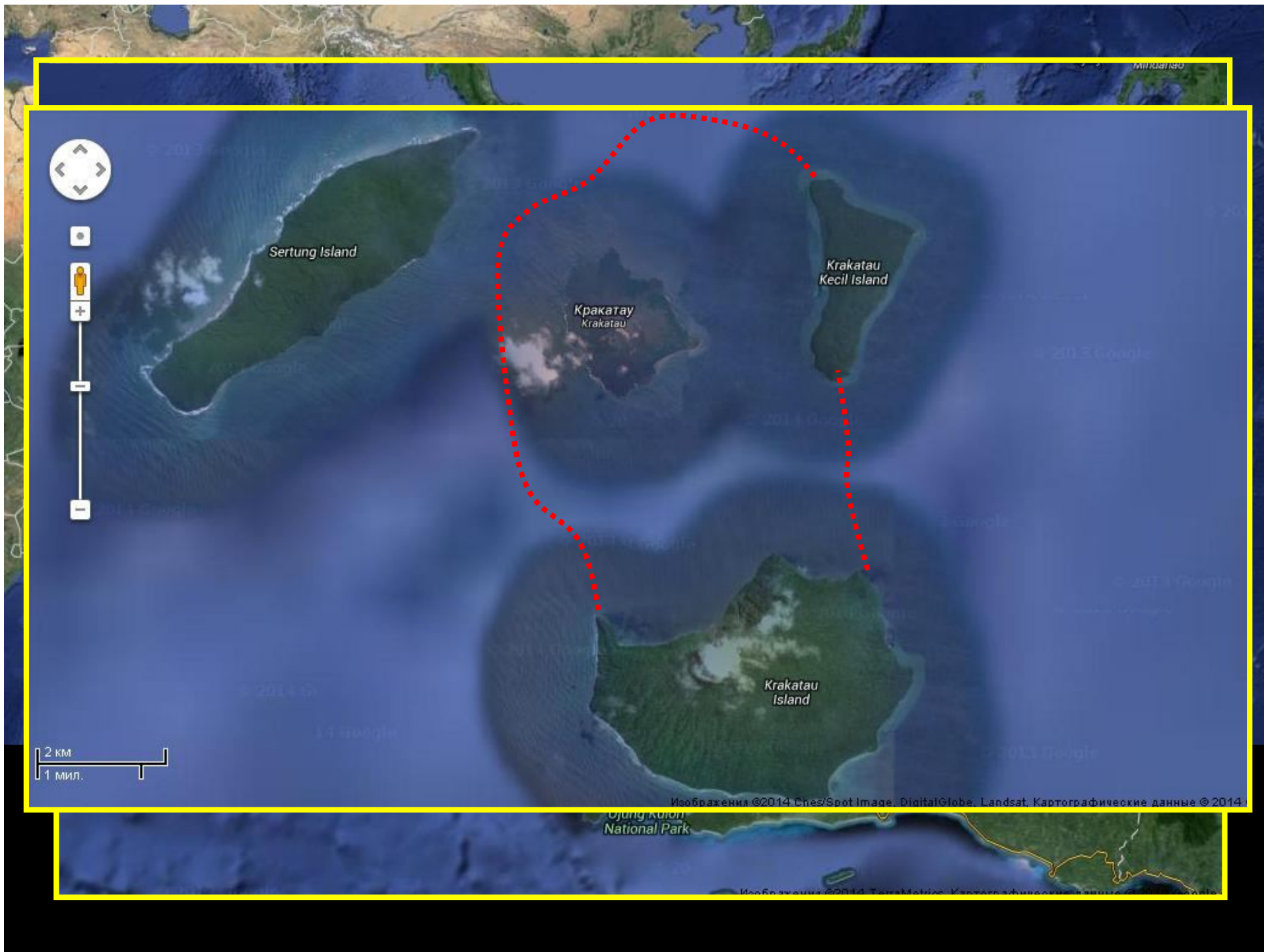
Кракатау, 1883

Объем
извергнутого
материала **30 км³**

Максимальная
высота волн
цунами **42 м**



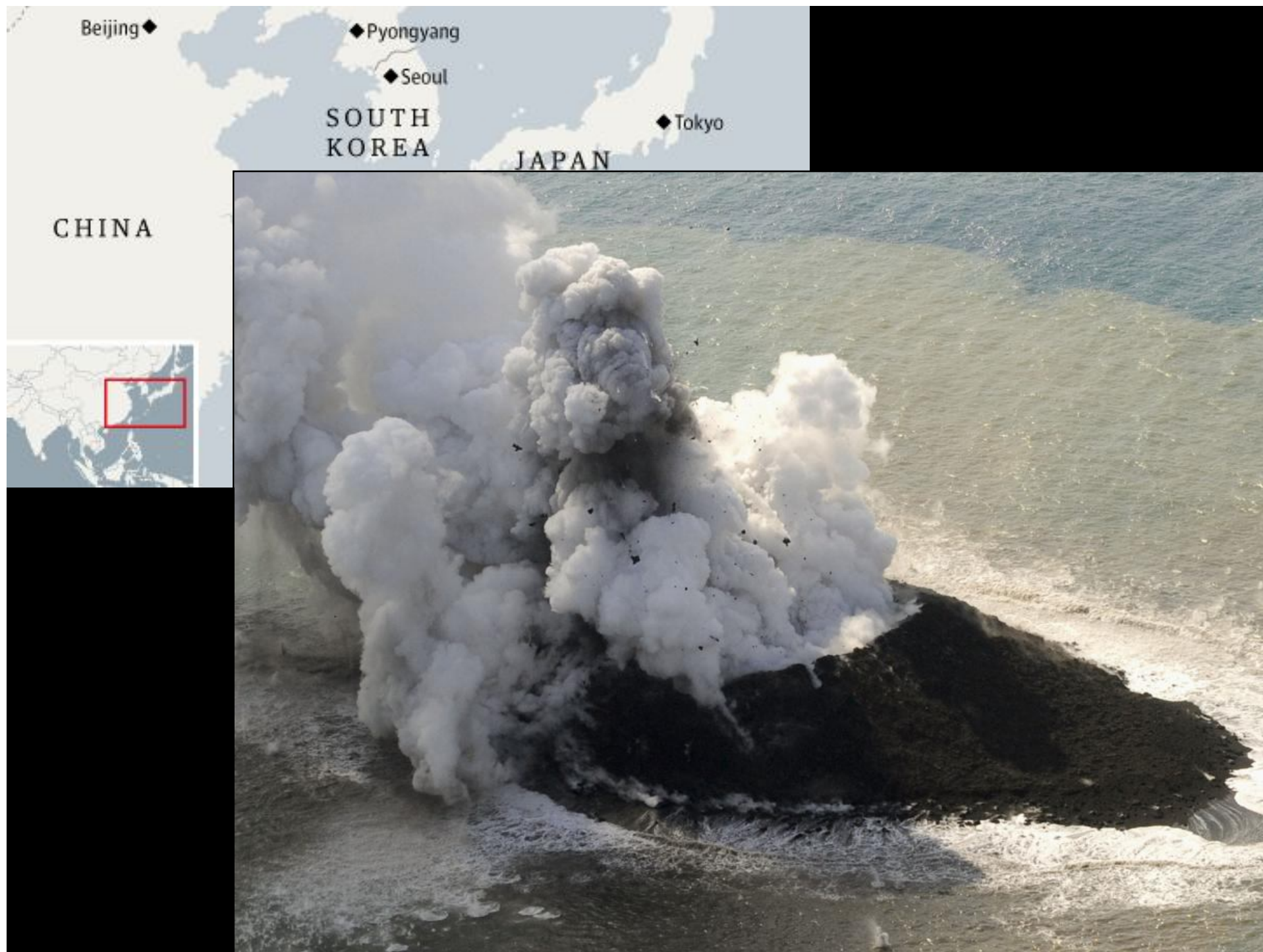




Санторин (Тира), ~1600 г. до н.э., $H_{\max}=30\text{m}$

Гибель
цивилизации
на острове
Крит





«... "Адмирал Фосс" был в пути полтора месяца, когда на рассвете вахта заметила огромную волну, шедшую при спокойном море и умеренном ветре с юго-востока. Шла она с быстротой бельевого катка... Волна прошла, ушла и больше другой такой волны не было. Когда солнце стало садиться, увидели остров, который ни на каких картах не значился; по пути "Фосса" не мог быть на этой широте остров. Рассмотрев его в подзорные трубы, капитан увидел, что на нем не заметно ни одного дерева...»

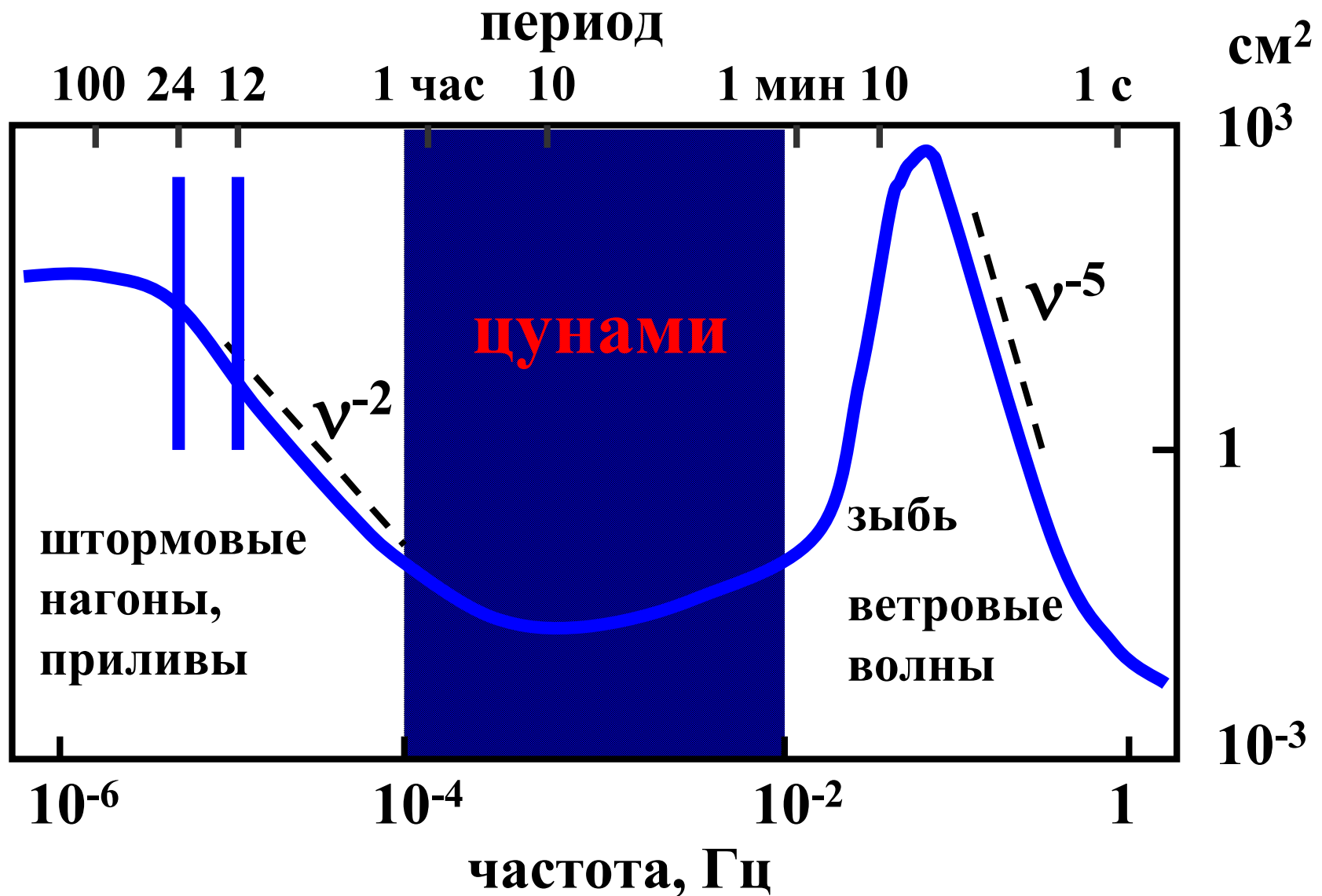
Александр Грин
«Бегущая по волнам»

Метеоцунами
(3%)

Метеоцунами – результат воздействия на водный слой подвижных неоднородностей атмосферного давления или напряжения трения ветра

- ❑ Метеоцунами принципиально отличаются от ветровых волн за счет механизма формирования и большого периода
- ❑ Это единственный вид цунами, формирование которого обязано резонансным эффектам

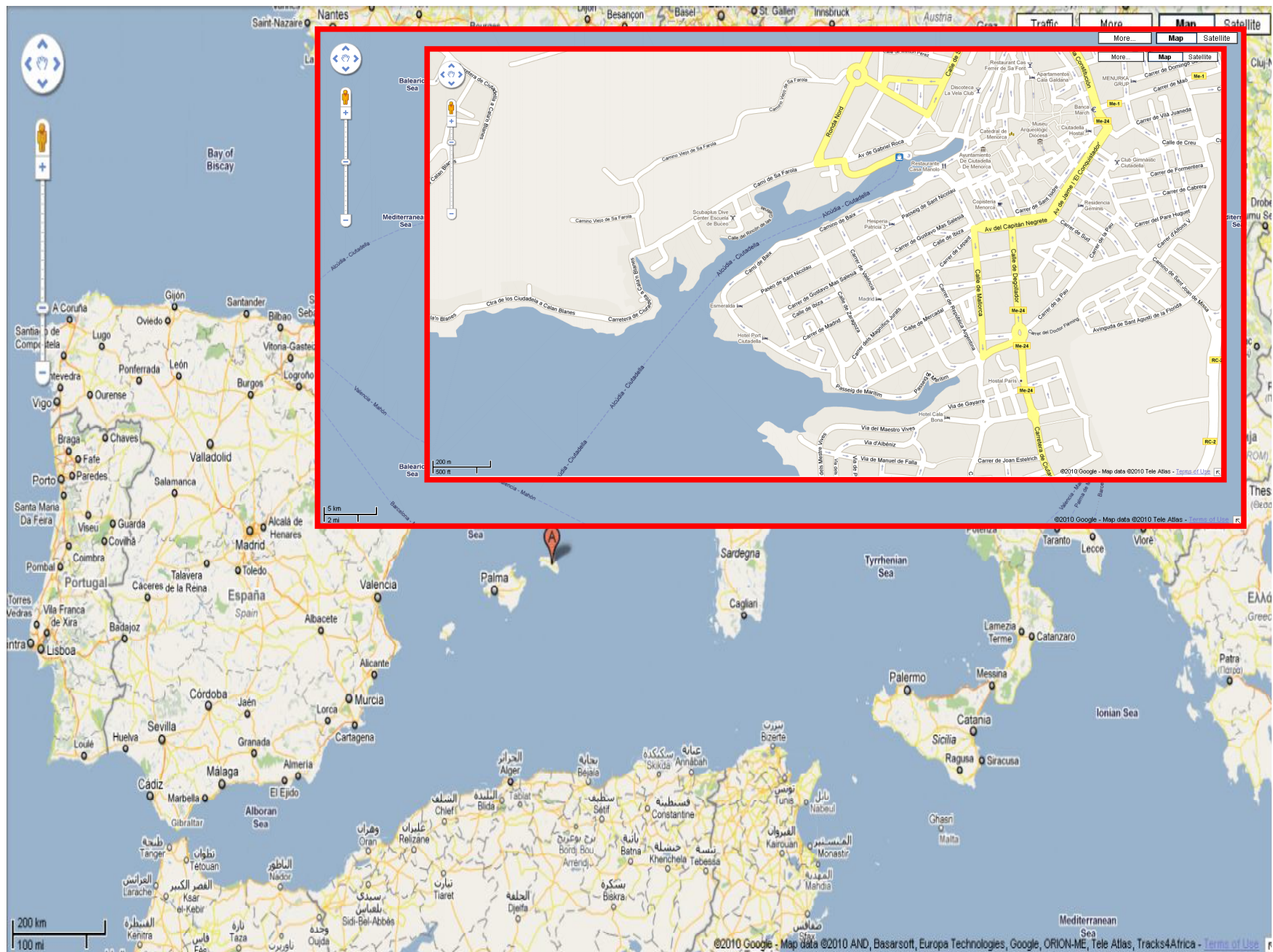
Спектр гравитационных поверхностных волн в океане



Риссага

бухта Сьютаделла





Риссага



Риссага





Метеоцунами в Одессе (27.06.2014)



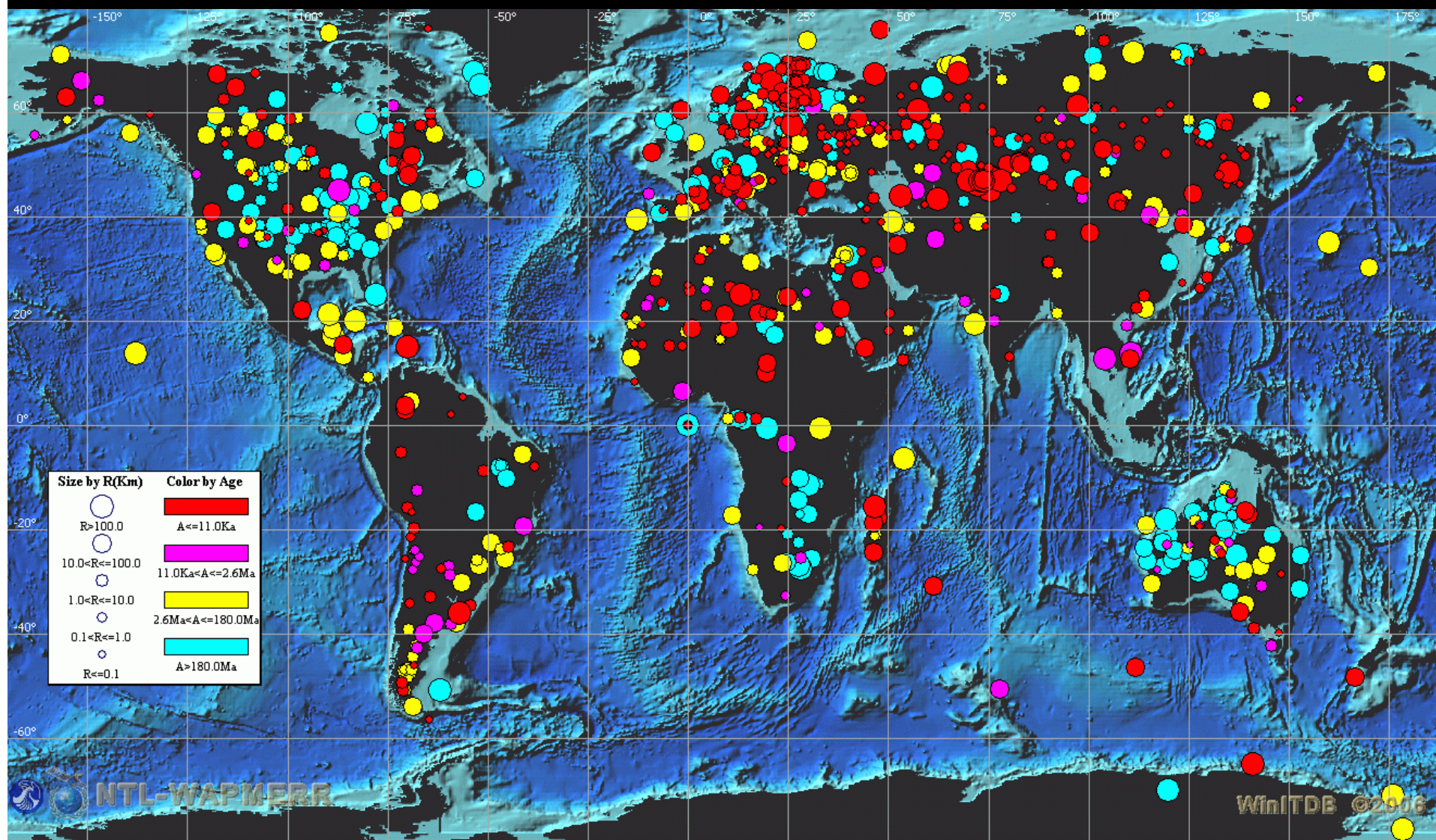
Космогенные цунами



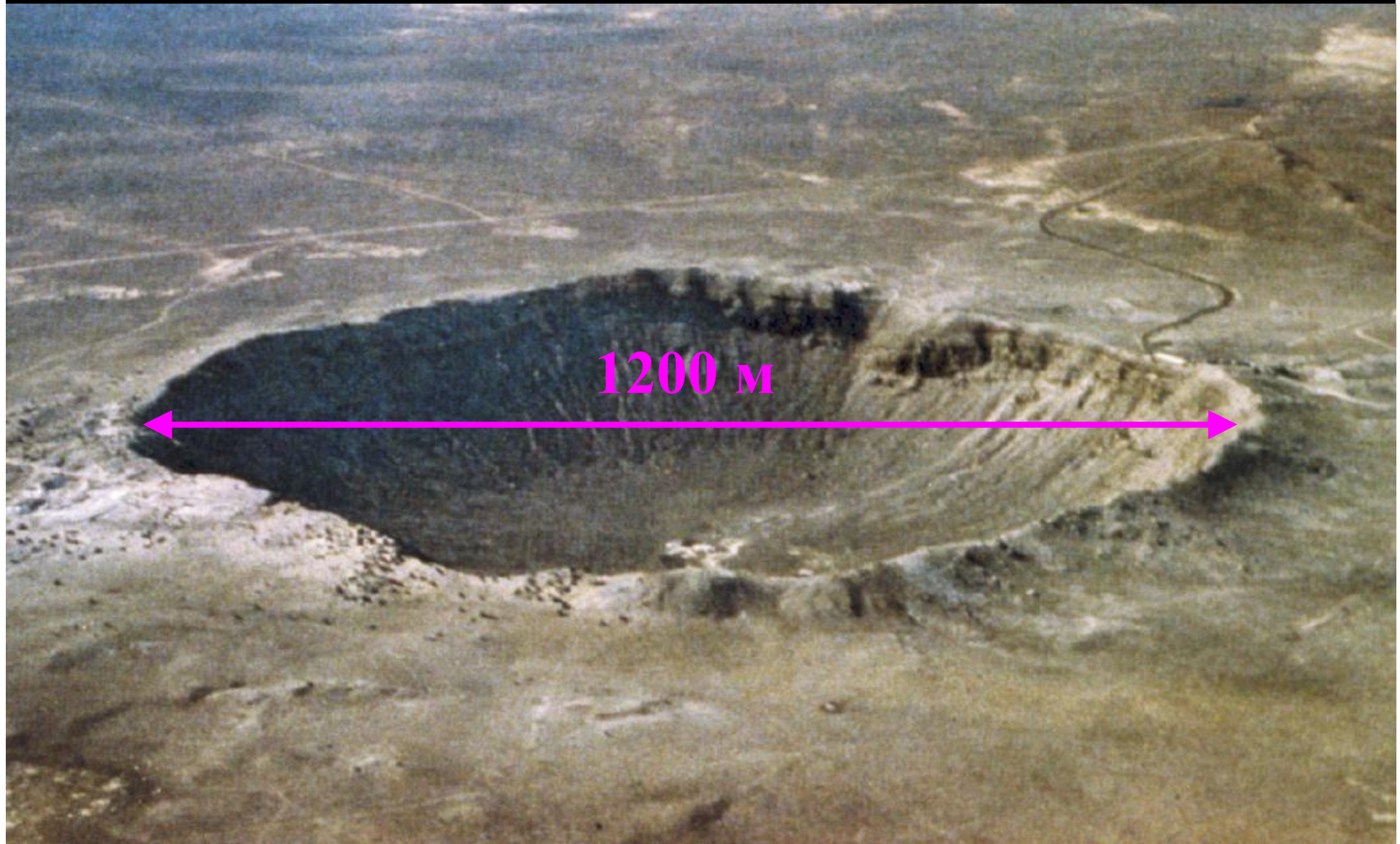
by Donalde Davis

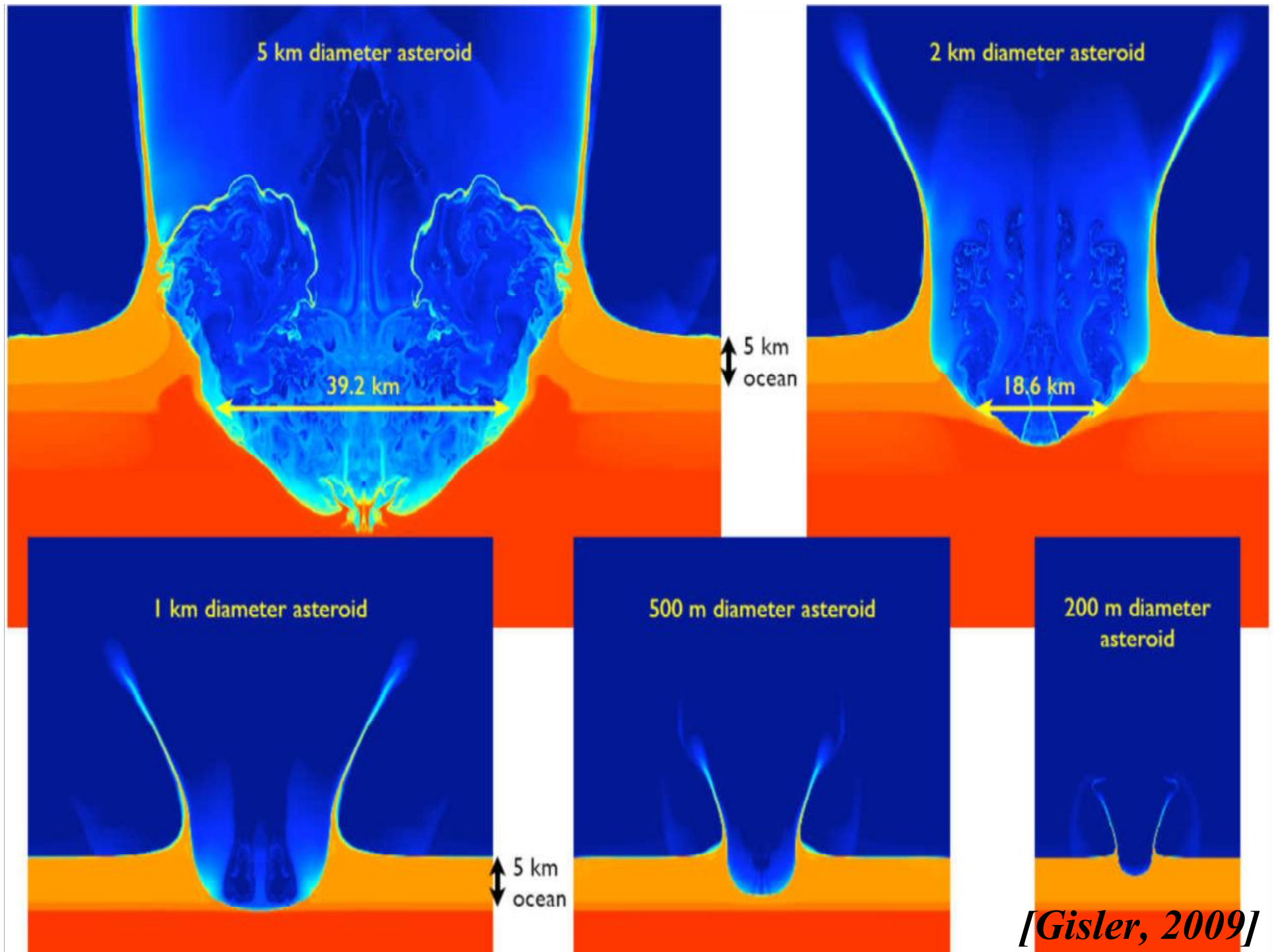


«Звездные раны» на поверхности Земли (932, WinITDB)



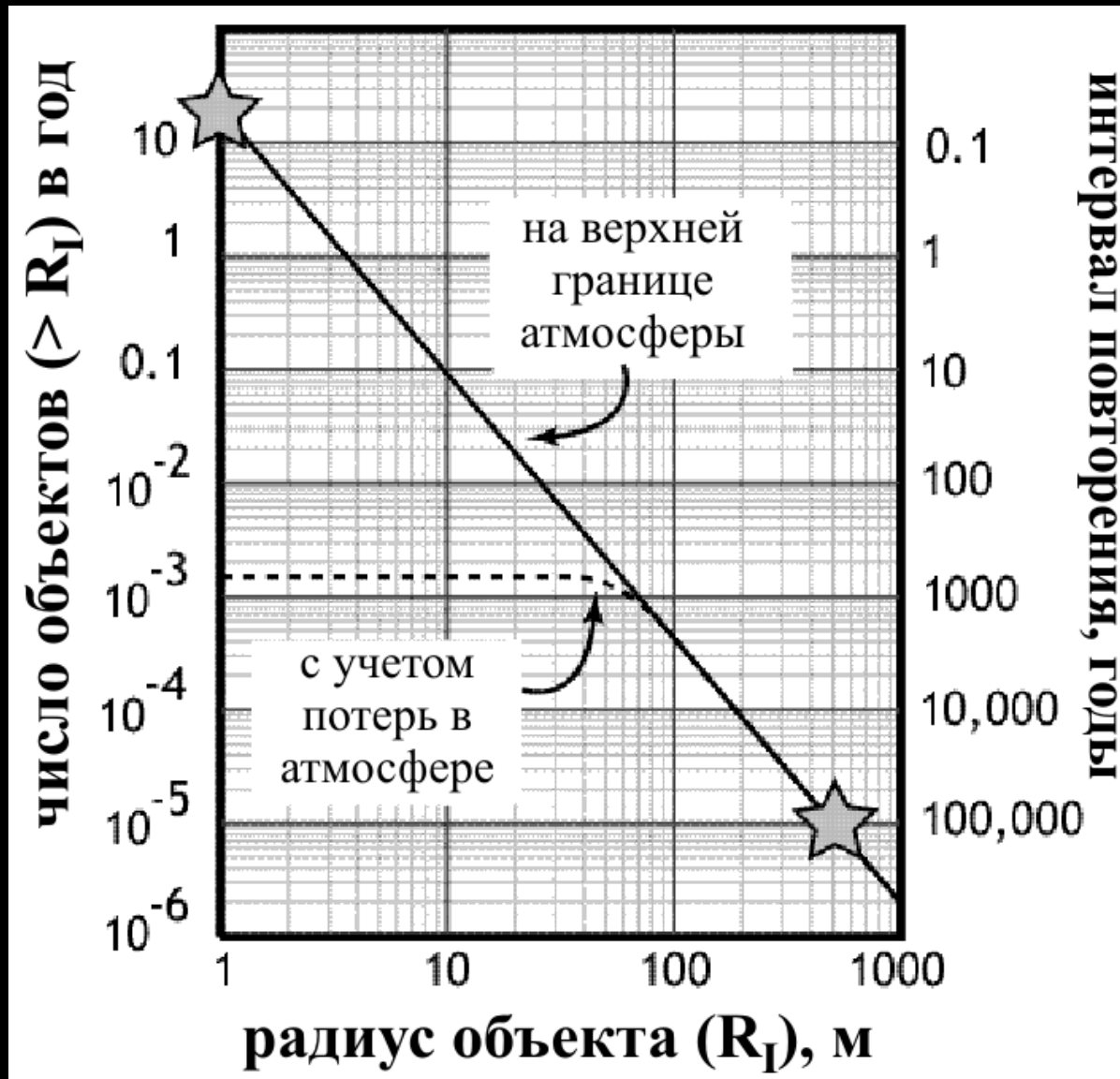
Кратер от метеорита в Северной Аризоне (возраст 50 000 лет)

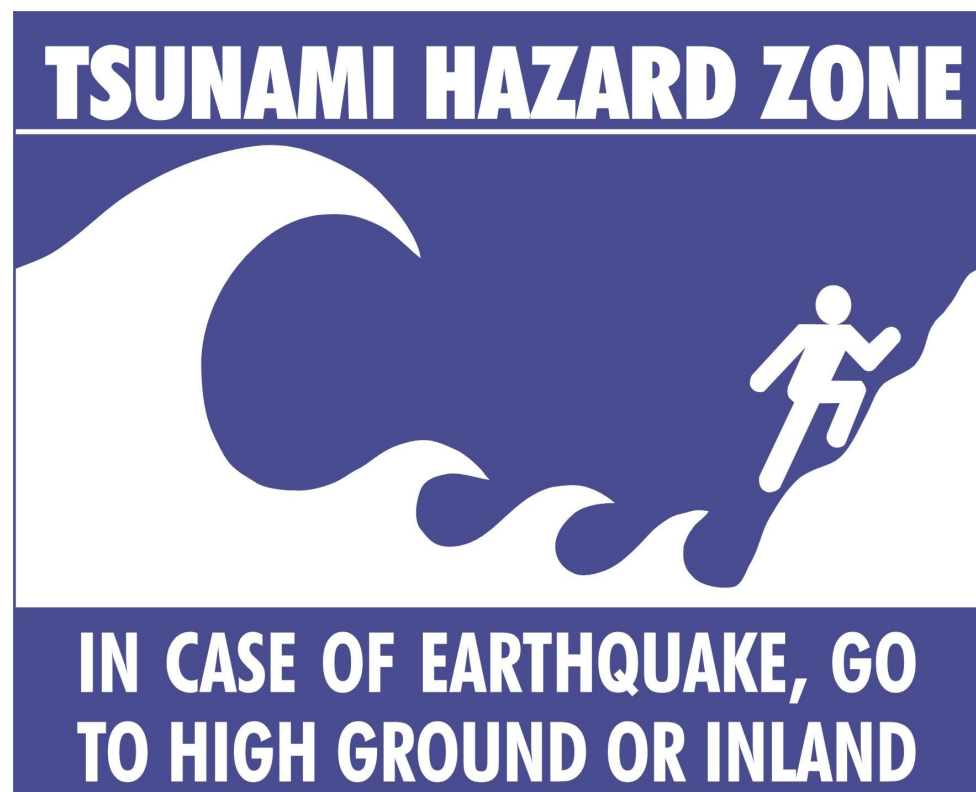
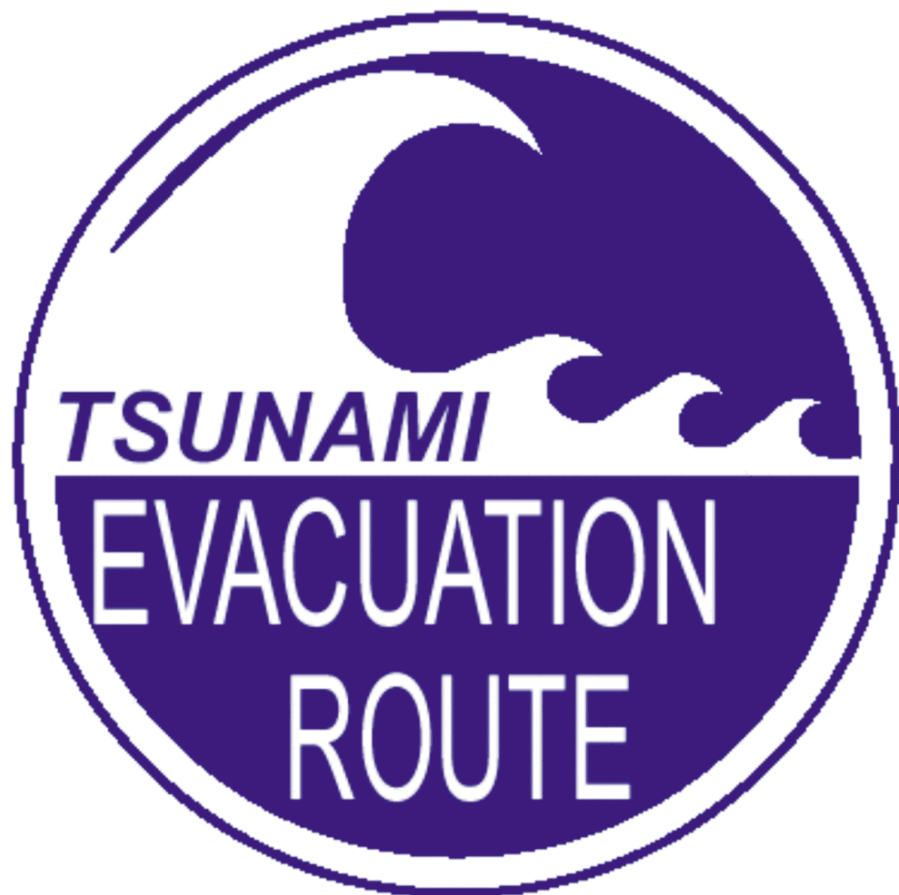




[Gisler, 2009]

Число астероидов, сталкивающихся с Землей, в зависимости от радиуса





After an earthquake, a tsunami may follow.



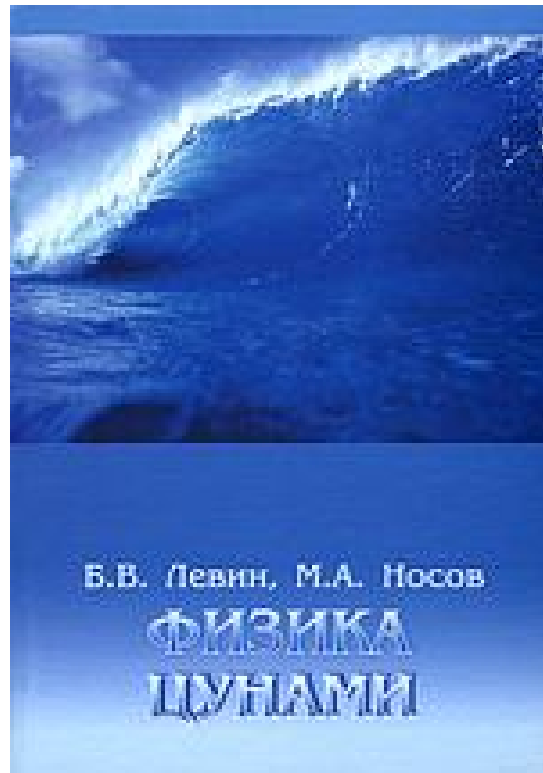
Move quickly to higher ground.



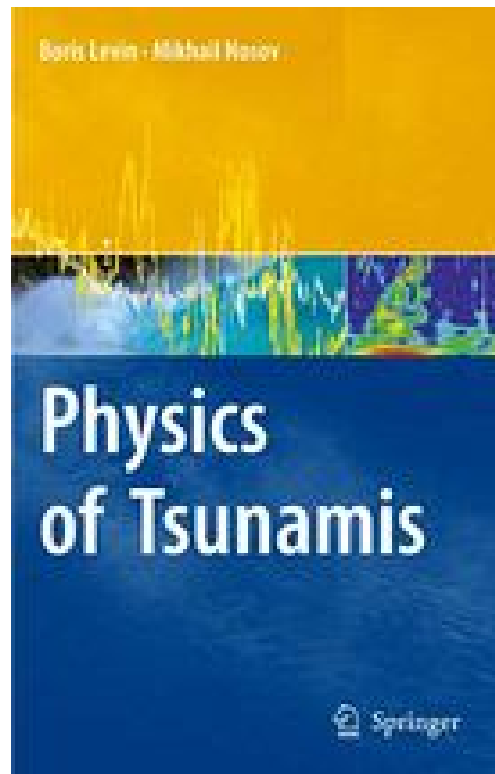
International Tsunami Information Center
737 Bishop St., Ste 2200, Honolulu, HI 96822 USA
Ph: (808) 532-6432 E-mail: Itic.tsunami@noaa.gov URL: <http://www.pfbc.noaa.gov/Itic/>



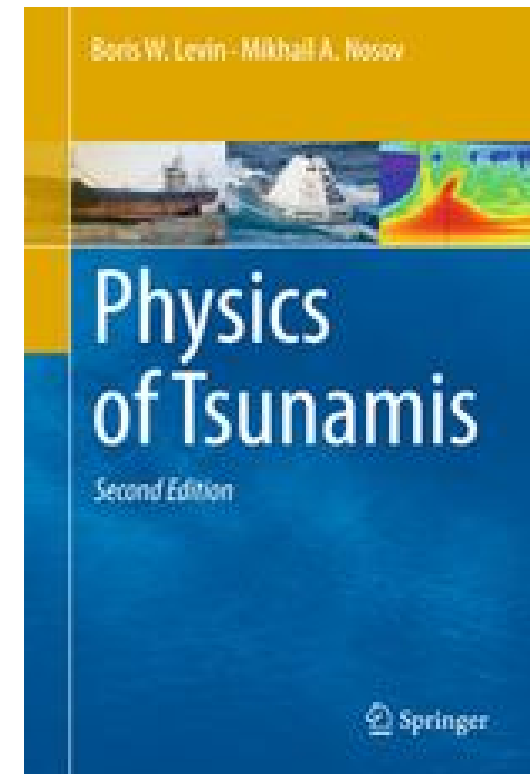
http://ocean.phys.msu.ru/courses/phys_tsu/



2005



2009



2016