

Нелинейная гидрофизика и морские природные катастрофы

Лекция 2

Е.Н. Пелиновский



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



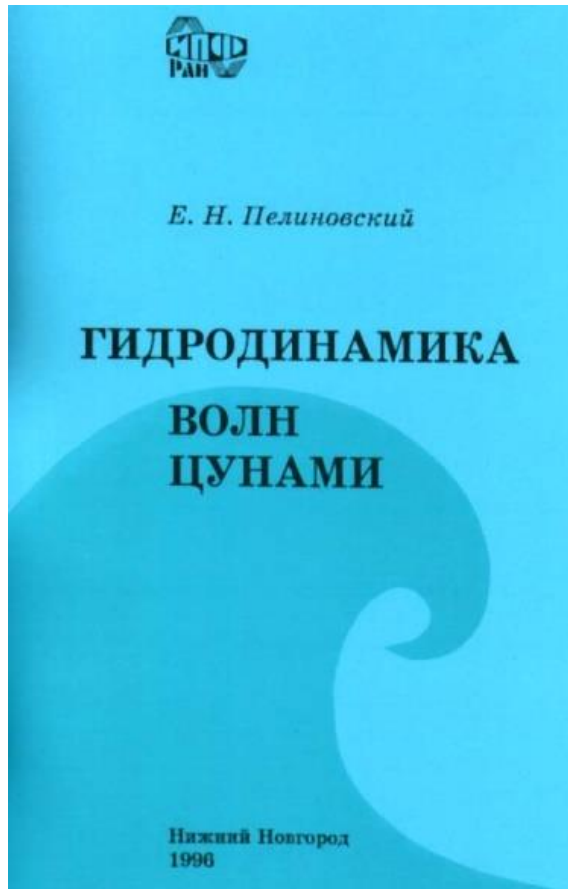
Лаборатория нелинейной гидрофизики
Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичева ДВО РАН

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 (продолжение)

Е.Н. Пелиновский



Inter Tsunami Commission

Получать данные по старым событиям – задача, решаемая специалистами МЧС, географии, геологии, океанографии, истории

- **Создать каталог прошлых событий**
 - ✓ Инструментальные данные 50 - 150 лет
 - ✓ Обследования
 - ✓ Архивы администрации
 - ✓ Газеты (100 – 200 лет)
 - ✓ Легенды и сказания (вплоть до библии)
 - ✓ Раскопки следов цунами (1000 – 10000 лет)
- **Роль математики:**
 - Отсеять недостоверные данные
 - Дать вероятностный прогноз

200 м !

Северо-Курильск,
5 ноября 1952 г.

12 м



Sainte-Rose, Guadeloupe

Coral Reef Protection

This place

*"A first blade, at least
sixty feet (18 m) high,
rising about 3 miles
to north in open sea"*

1867 Virgin Island Tsunami

**Deshaies,
Guadeloupe,
18 m –
highest in Caribbean**

Church on 10 m high



The 1867 tsunami.

“The habitants took refuge in the church”.

People had time to save due to negative precursor.

We do not believe in 18 m wave

Получать данные по старым событиям – задача, решаемая специалистами МЧС, географии, геологии, океанографии, истории

Понять почему оно происходит – задача физиков и геофизиков

- Землетрясения
- Извержения вулканов
- Сход лавины и оползни с прибрежных скал
- Оползни и вулканы под водой
- Метеориты
- Взрыв атомной бомбы
- Пришельцы.....

Получать данные по старым событиям – задача, решаемая специалистами МЧС, географии, геологии, океанографии, истории

Понять почему оно происходит – задача физиков и геофизиков

Предсказать будущие события количественно – задача прикладной математики

- Быстрая обработка информации и выбор мат модели
- Рассчитать быстро, пока цунами еще не дошло до берега
- Донести информацию до каждого

Численный код разработан
совместно
с турецкими коллегами

USER MANUAL OF Tsunami Simulation-Visualization Software AVI-NAMI

Yalciner A.C.¹, Pelinovsky E.², Zaytsev A.³, Ozer C.¹, Ozyurt G.¹, Kurkin A.³



INTERNATIONAL TSUNAMI
INFORMATION CENTRE
INTERGOVERNMENTAL
OCEANOGRAPHIC COMMISSION
UNESCO




Certificate of Service Efim PELINOVSKY

IS HEREBY RECOGNIZED TO HAVE SERVED AS *Course Software Developer*

IOC INTERNATIONAL TRAINING COURSE ON TSUNAMI NUMERICAL MODELLING:
COURSE I - TSUNAMI SOURCES AND TSUNAMI PROPAGATION

KUALA LUMPUR, MALAYSIA, 8-19 MAY 2006 OOSTENDE, BELGIUM, 06-16 JUNE 2006


ITIC DIRECTOR
LAURA S.L. KONG


INSTRUCTORS:
EMILE A. OKAL, COSTAS E. SYNOLAKIS,
AHMET C. YALCINER, ANDREI ZAYTSEV

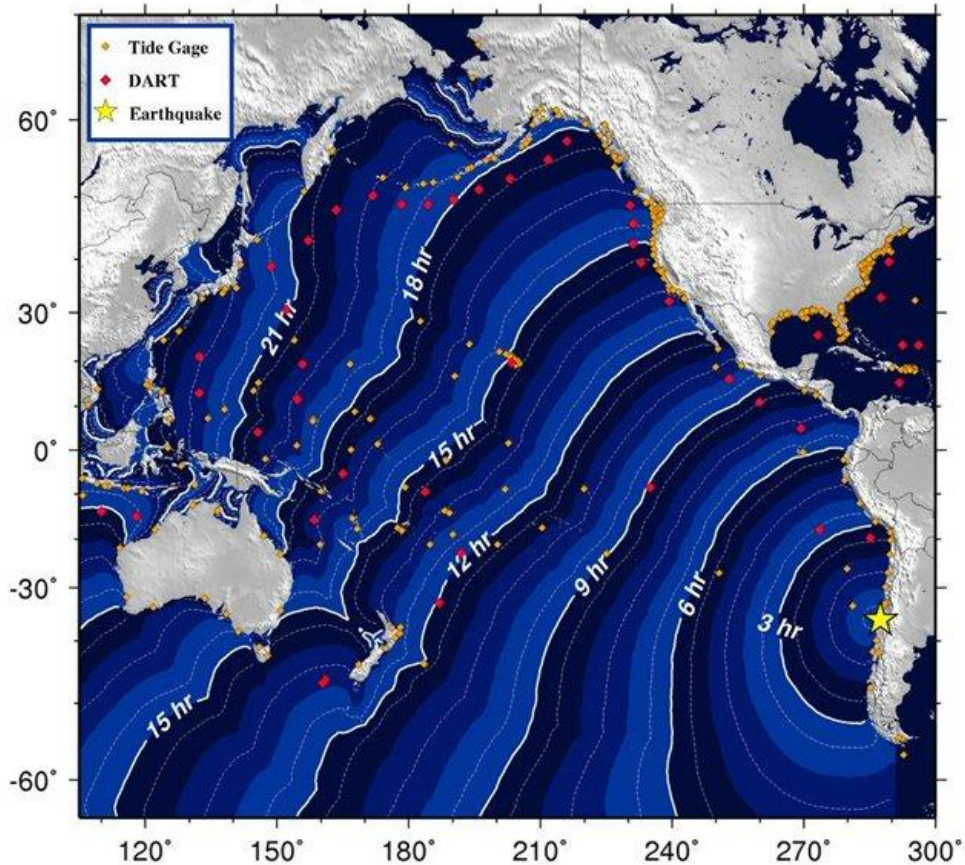


60
1945 2005

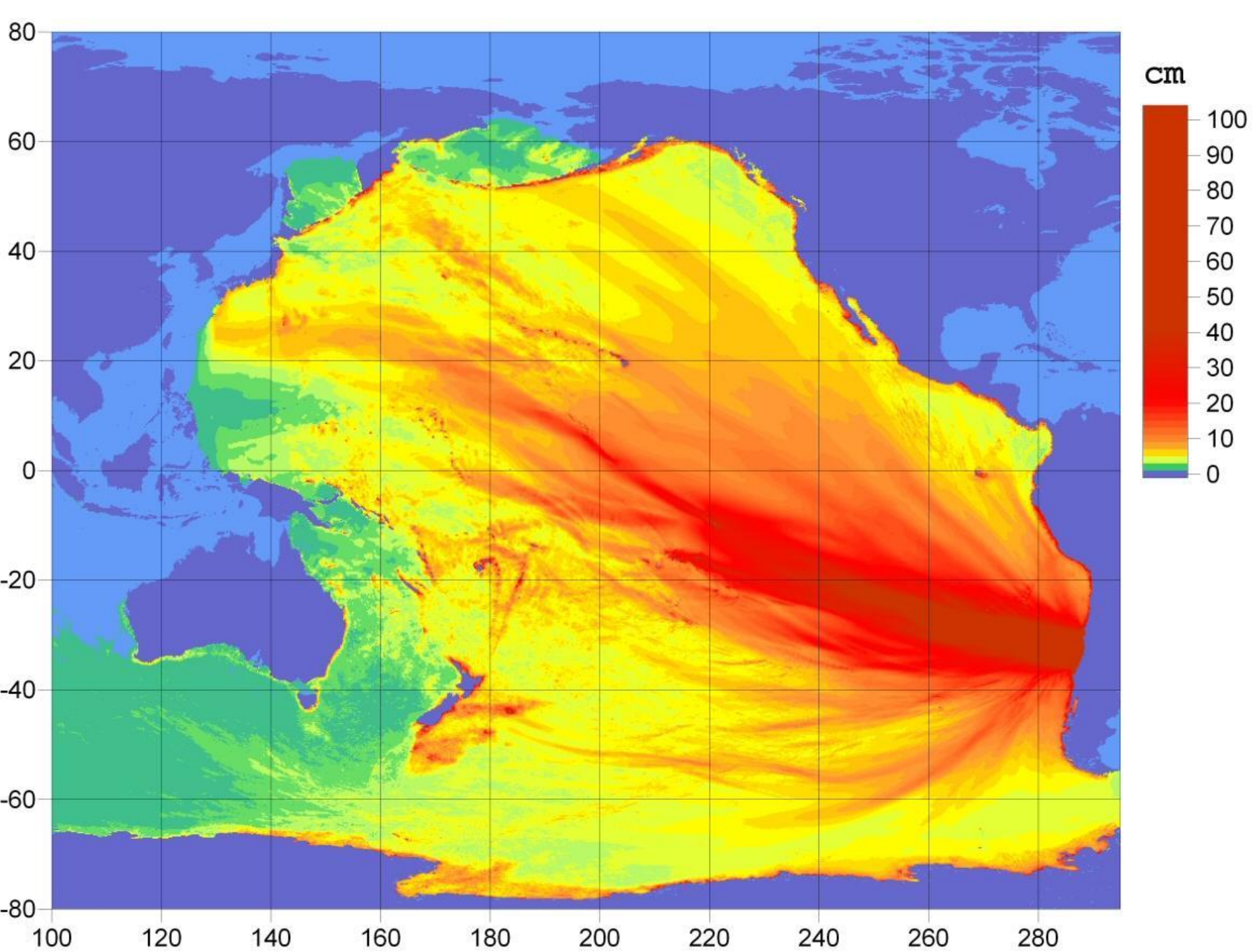
- 27 февраля 2010 г. $M = 8.8$
- 11 марта 2010 г. $M = 7.2$

Чили

February 27, 2010 Chilean Tsunami Travel Times

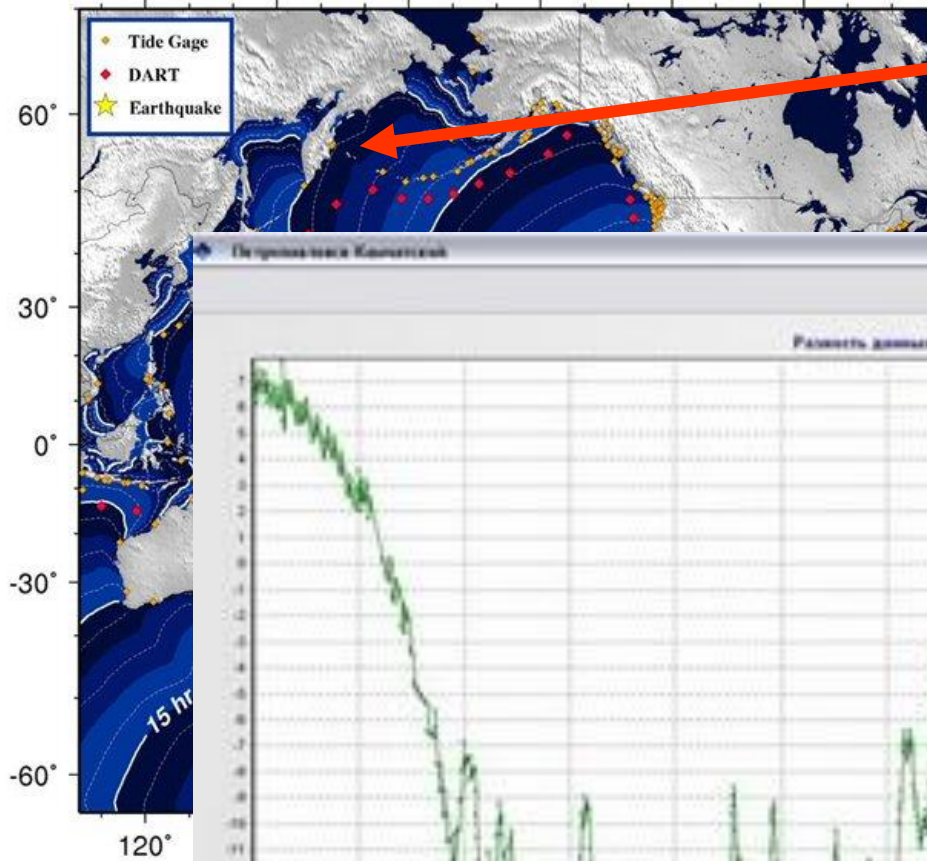


At 06:34:14 UTC, a M8.8 earthquake occurred offshore Maule, Chile, [35.846°S, 72.719°W], resulting in a Pacific-wide tsunami. Shown above are the tsunami travel time contours in hours, beginning from the O-time of the earthquake.



February 27, 2010 Chilean Tsunami Travel Times

Petropavlovsk, Russia



At 06:34:1
72.719°W
travel time





Остров Парамушир, скала Тур, серия волн цунами 28.02.10, 05:11 UTC, фото Л. Котенко

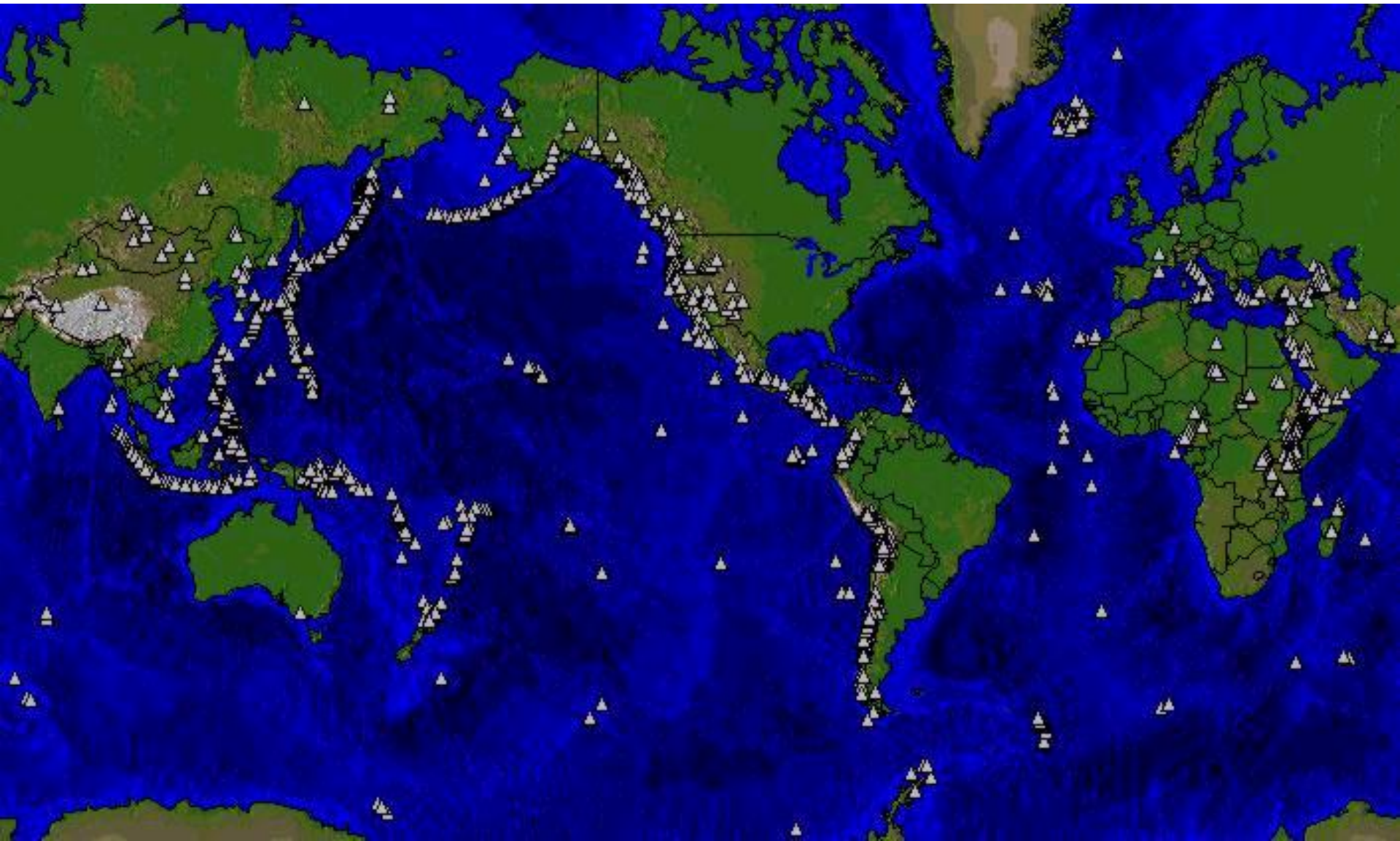
— 28.02.2010 14:02 —

**Волна цунами
пришла
на о-в Парамушир
высотой
2 метра
Час спустя
после отмены
тревоги цунами**

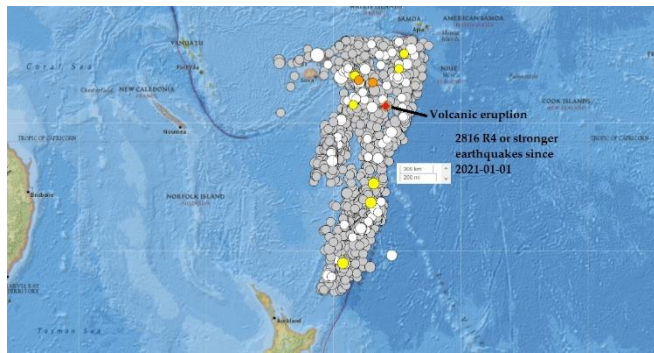


*Город Северо-Курильск, 28.02.10,
тревога цунами, фото Т. Котенко*

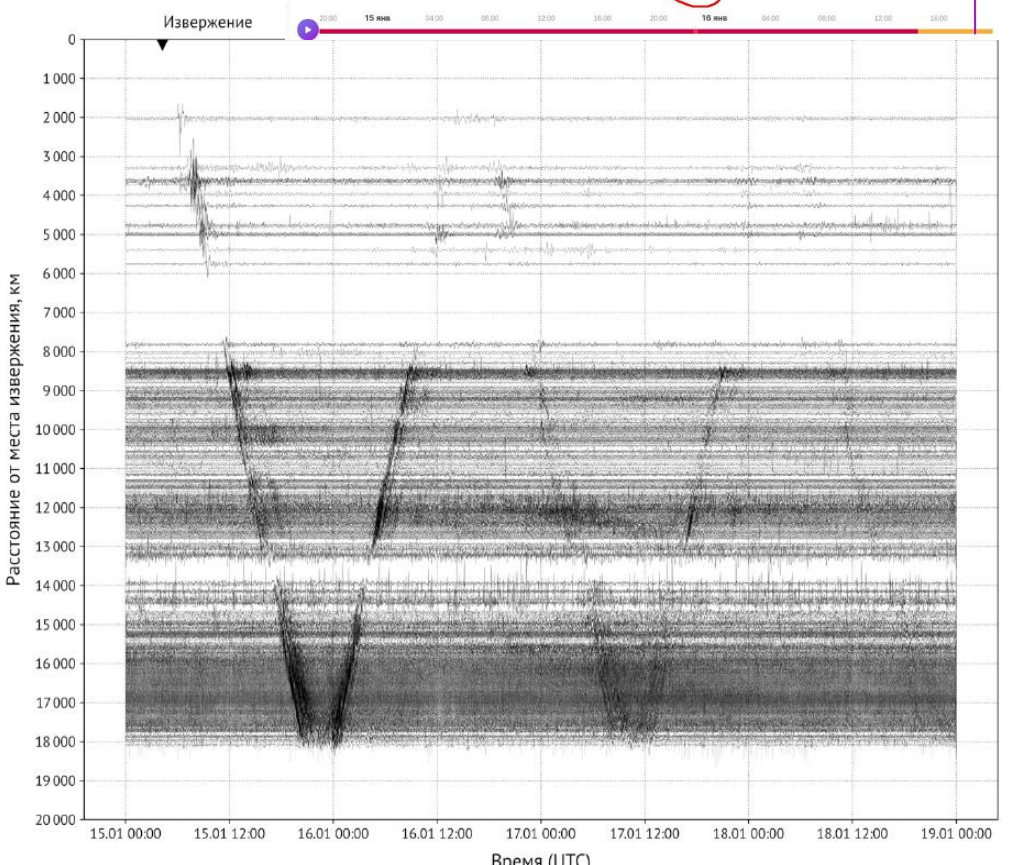
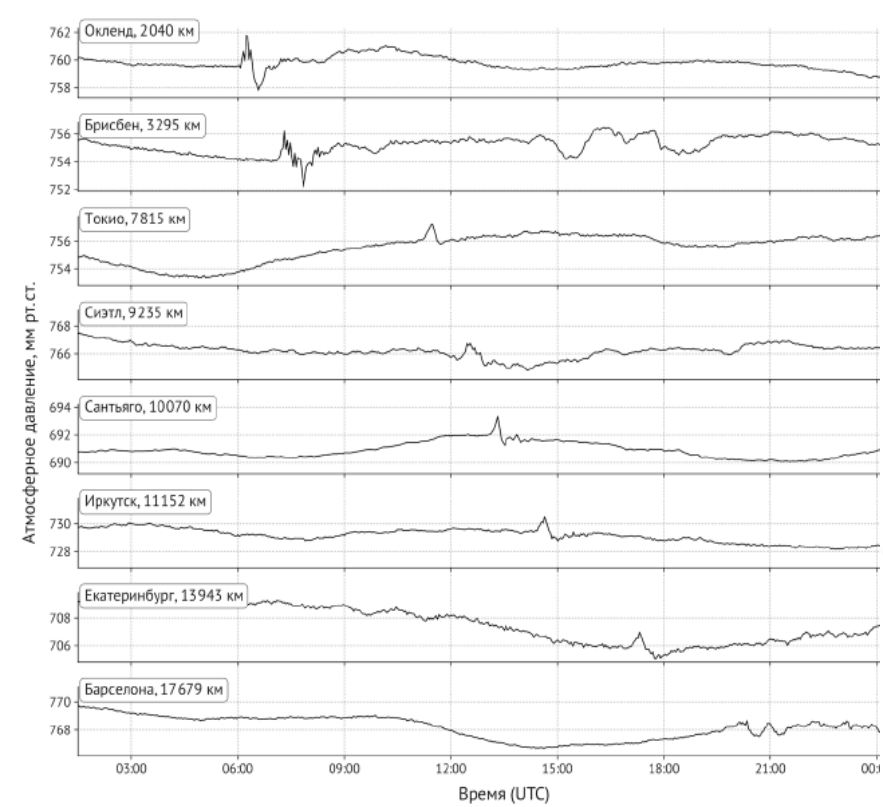
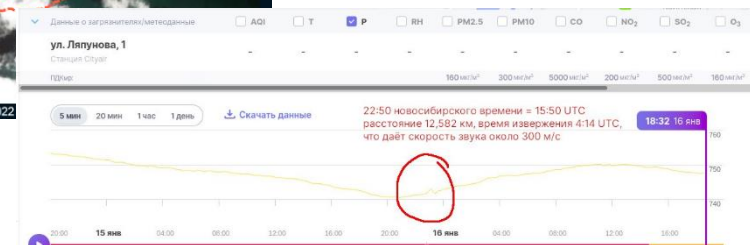
Volcanism in the World (522)



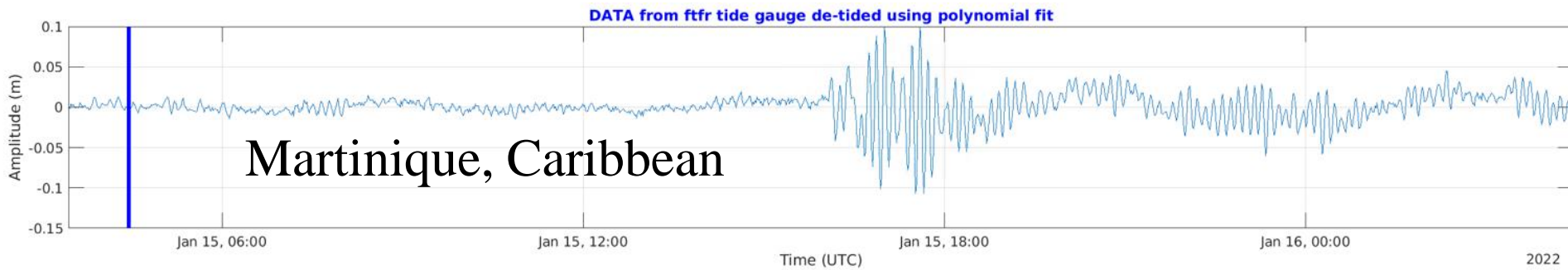
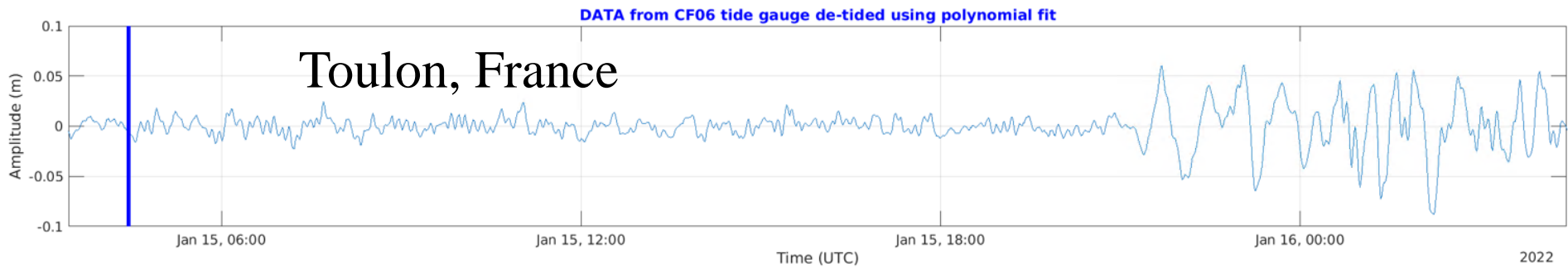
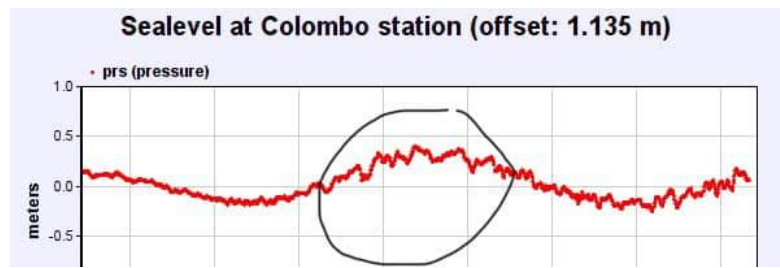
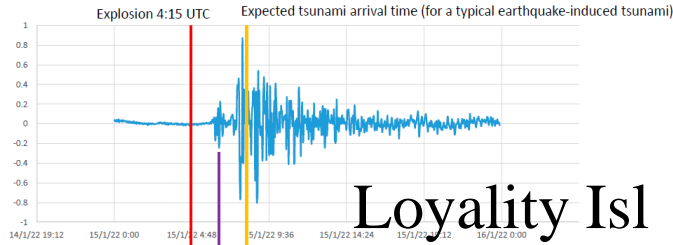
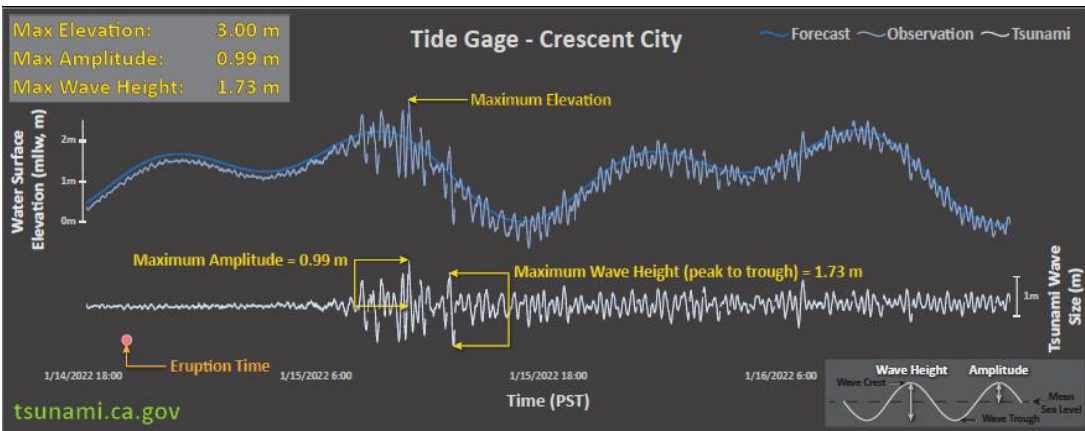
HungaTonga- Hunga Ha'apai Volcano, 15 Jan. 2022



Sound Waves in Atmosphere



Tsunami Waves up to 15 m



Цунами вулканического происхождения

Major Volcanoes of Italy

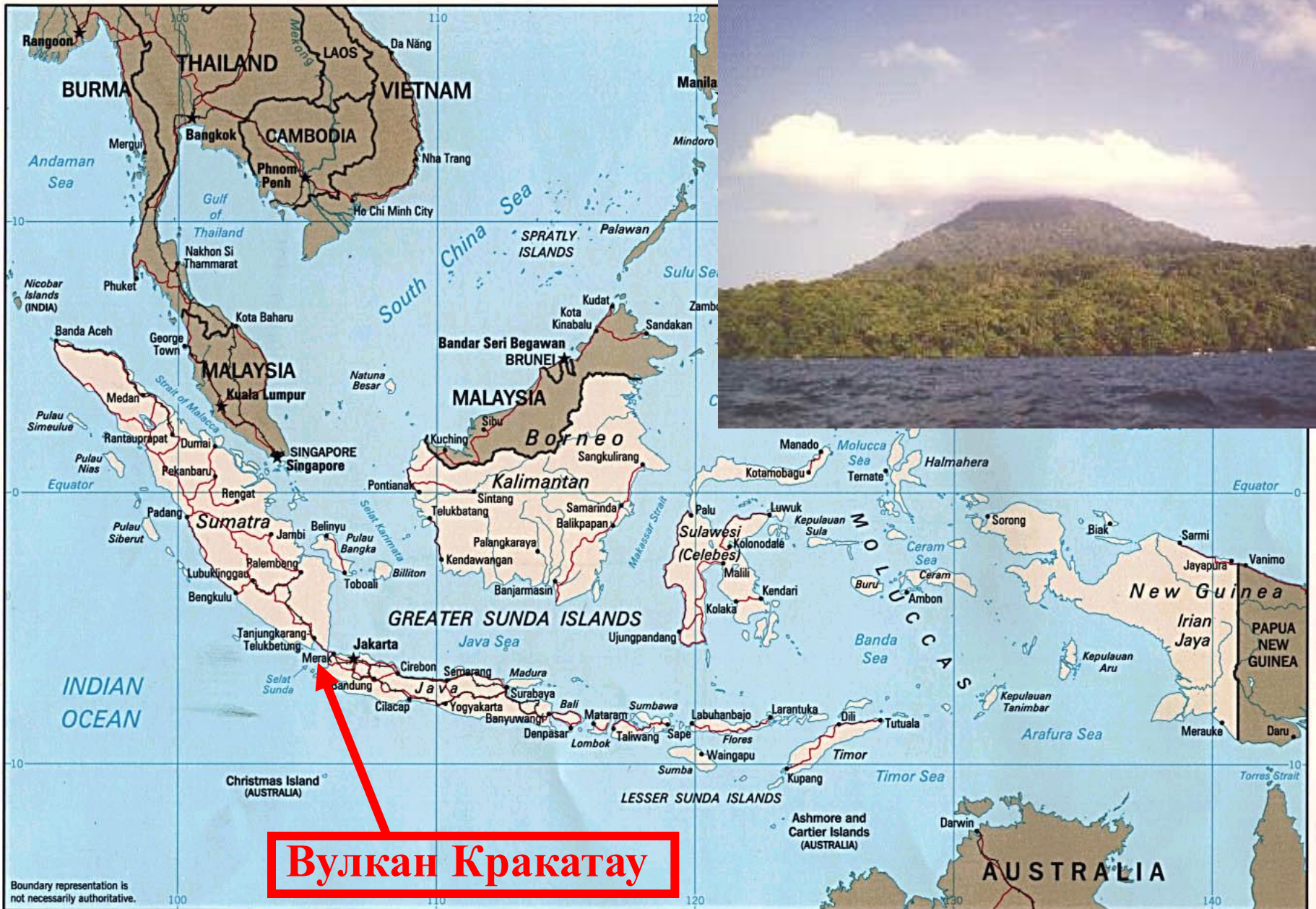


Stromboli, 28-30/12/2002



Topinka, USGS/CVO, 1998; basemap modified from:
CIA map, 1997; volcanoes from Simkin & Siebert, 1994





Вулкан Кракатау

Boundary representation is not necessarily authoritative.

Извержения вулкана Кракатау в августе 1883 г.

26 августа, 17:00

Цунами до 2 м

27 августа, 6:44

Цунами до 10 м

27 августа, 10:00

Цунами до 40 м

Энергия = 10^{18} дж = 200 мегатон

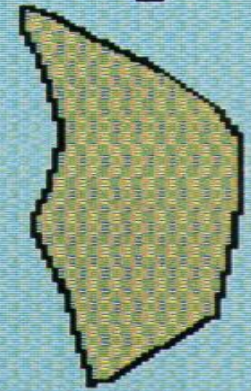
атомная бомба = 20,000

Хиросимовская бомба

36,000 погибло

Verlaten

Lang

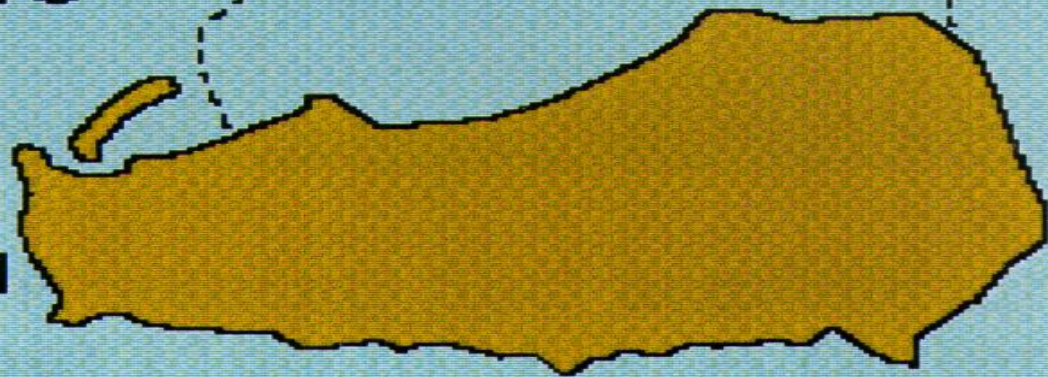


Anak Krakatau



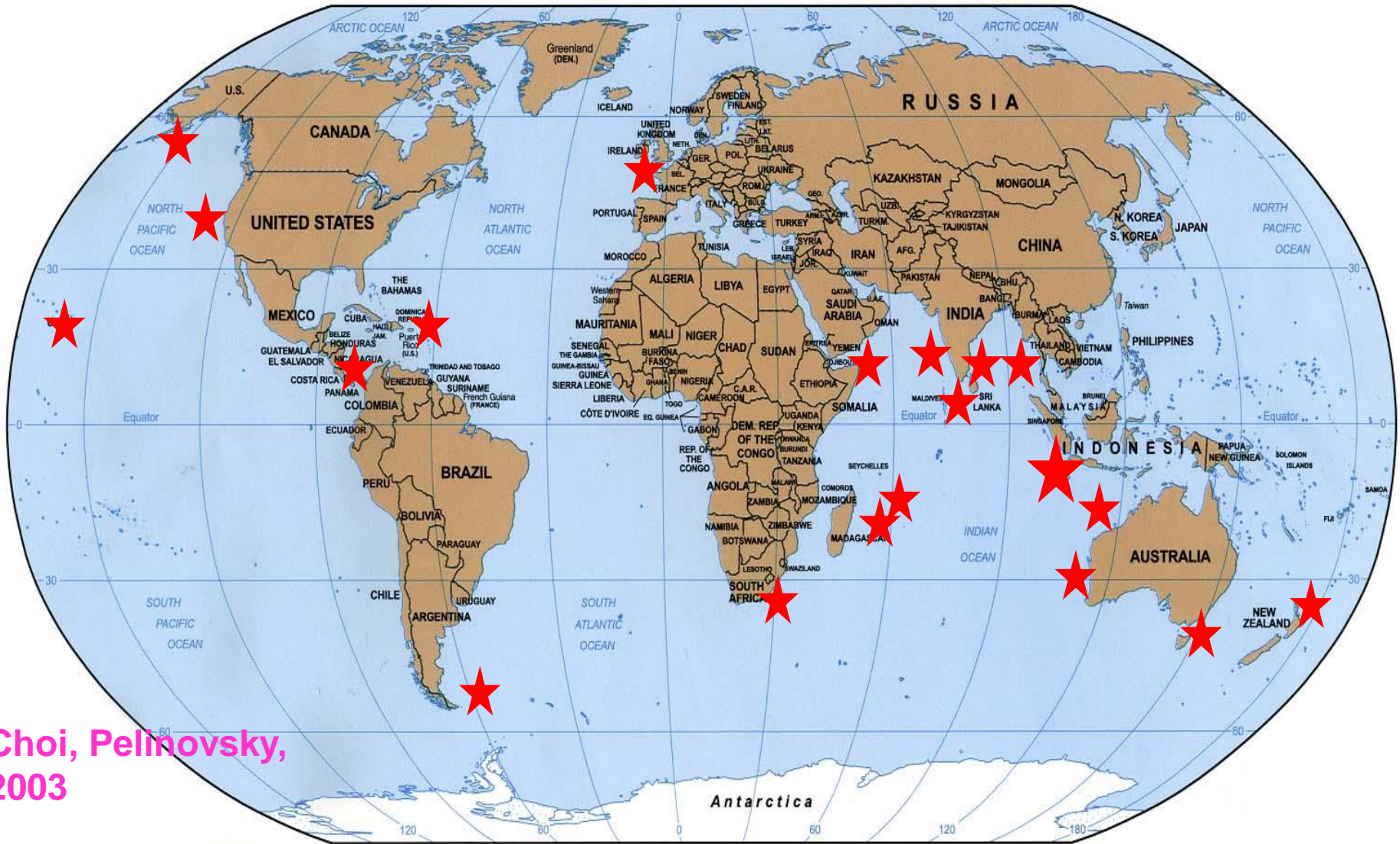
island before
8/26/1883

Krakatau

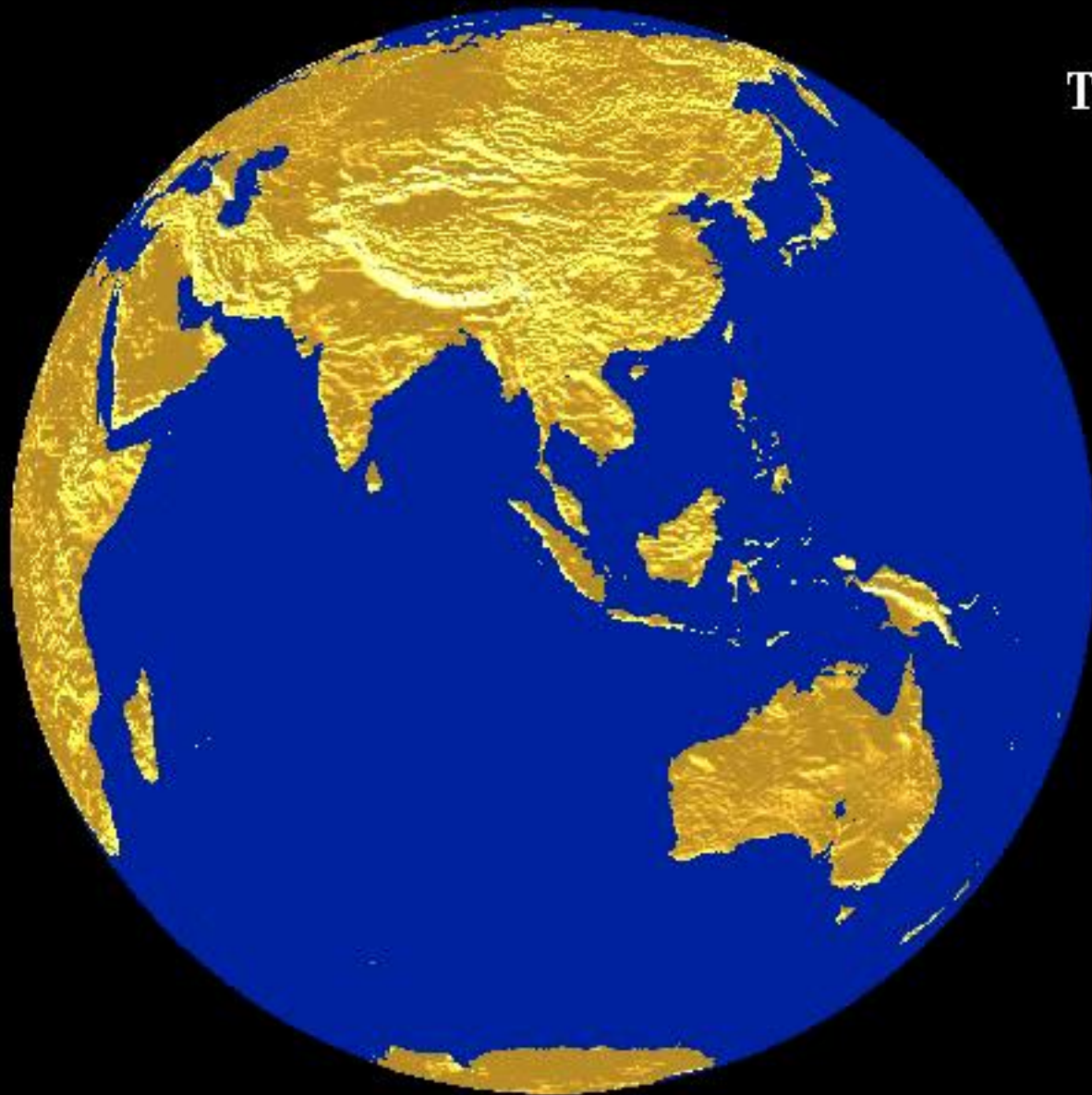


Kilometers

Global recording of tsunami waves, 1883



More than 30 tide-gauge records in Indian Ocean



Tsunami due to 1883 Krakatau Eruption

Eruption time :
1883.8.27 AM10:02

Current time :
after 0hrs 2mins
(1883.8.27 10:04)

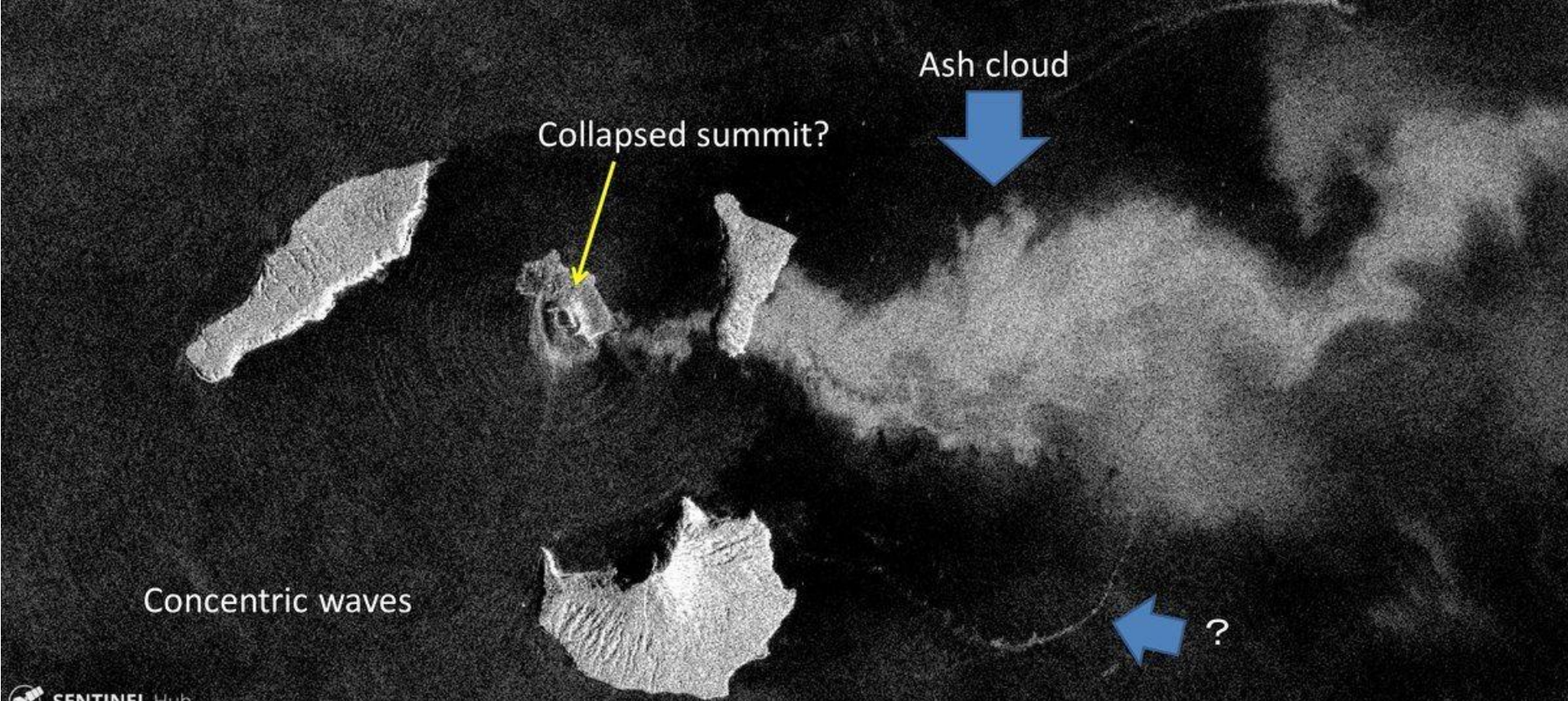


Laboratory for Coastal and
Ocean Dynamics Studies
Sung Kyun Kwan Univ. Korea

Volcanic Tsunami

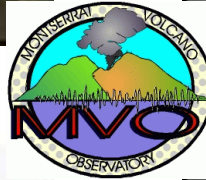
22 December 2018

90 m, 430 victims



Montserrat, Volcano Eruption, July 12, 2003







26.12. 2001



03.08.2003



03.08.2003



Tsunami Traces



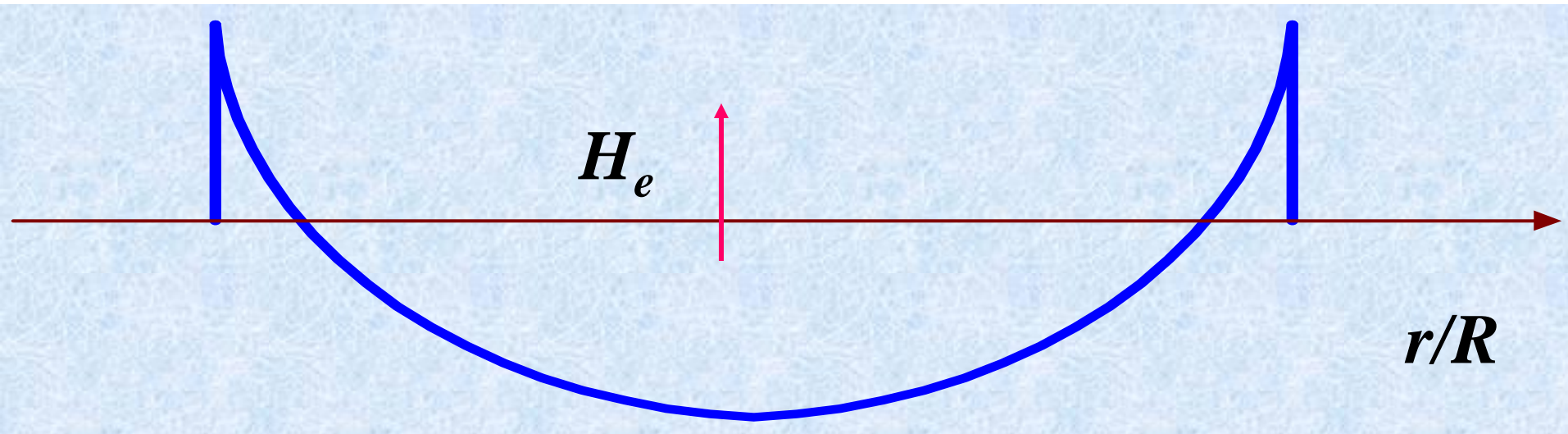
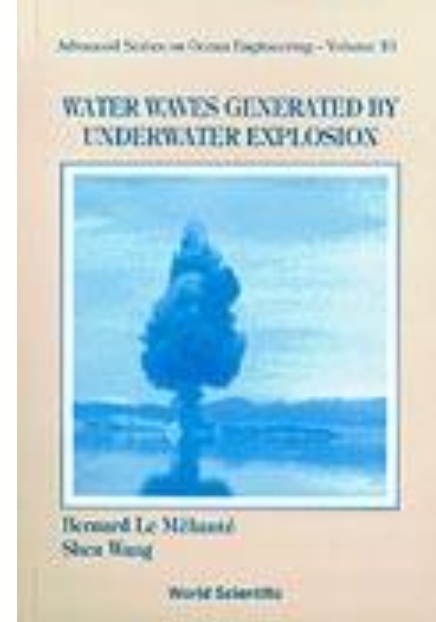
**4 m high,
100-200 m inland**



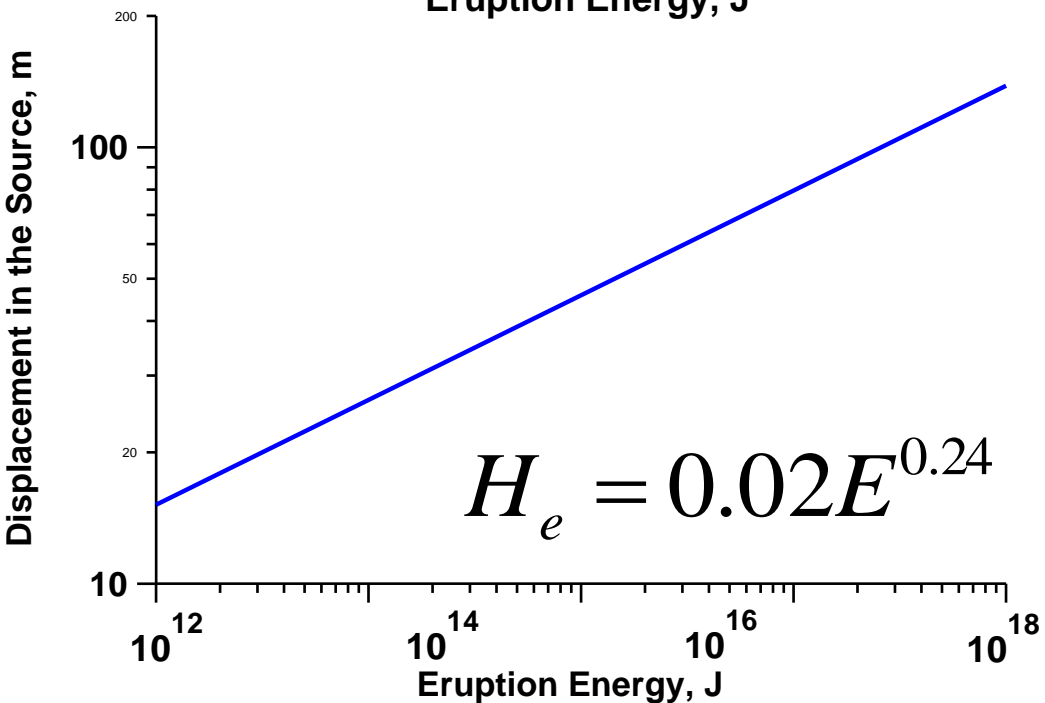
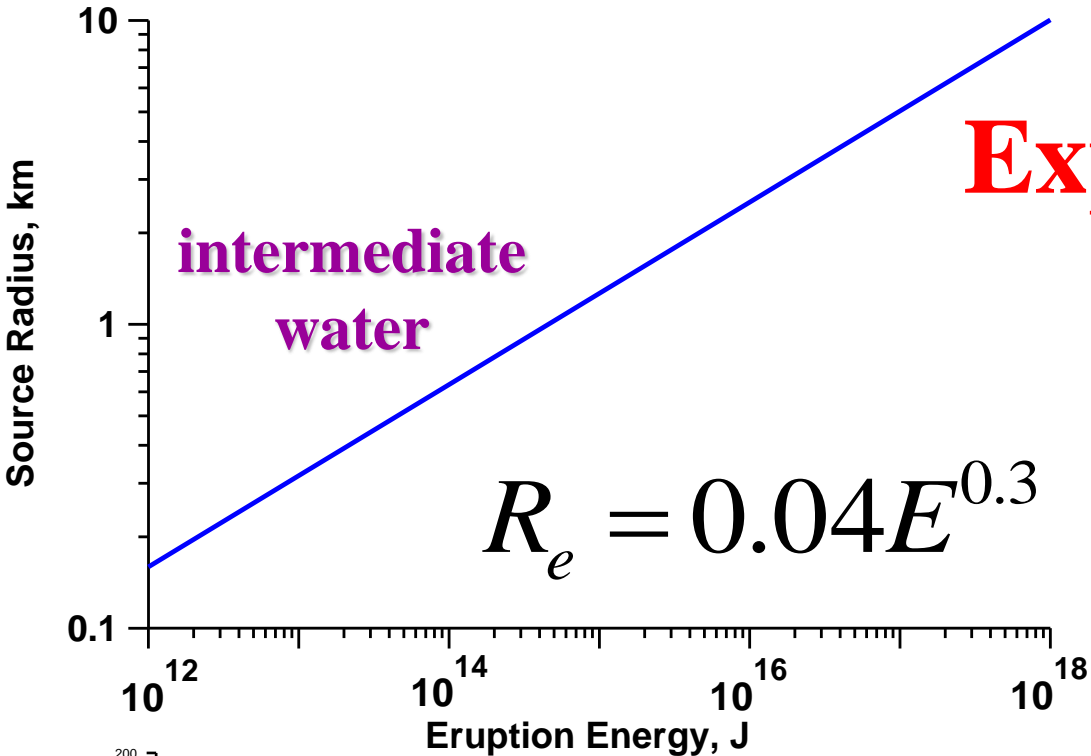
Explosive volcano eruption

Equivalent source (*Le Mehaute*)

$$\eta_e(r) = H_e [2(r/R)^2 - 1]$$



Explosive tsunamis



1883
Krakatau eruption

8.4×10^{17} Joules

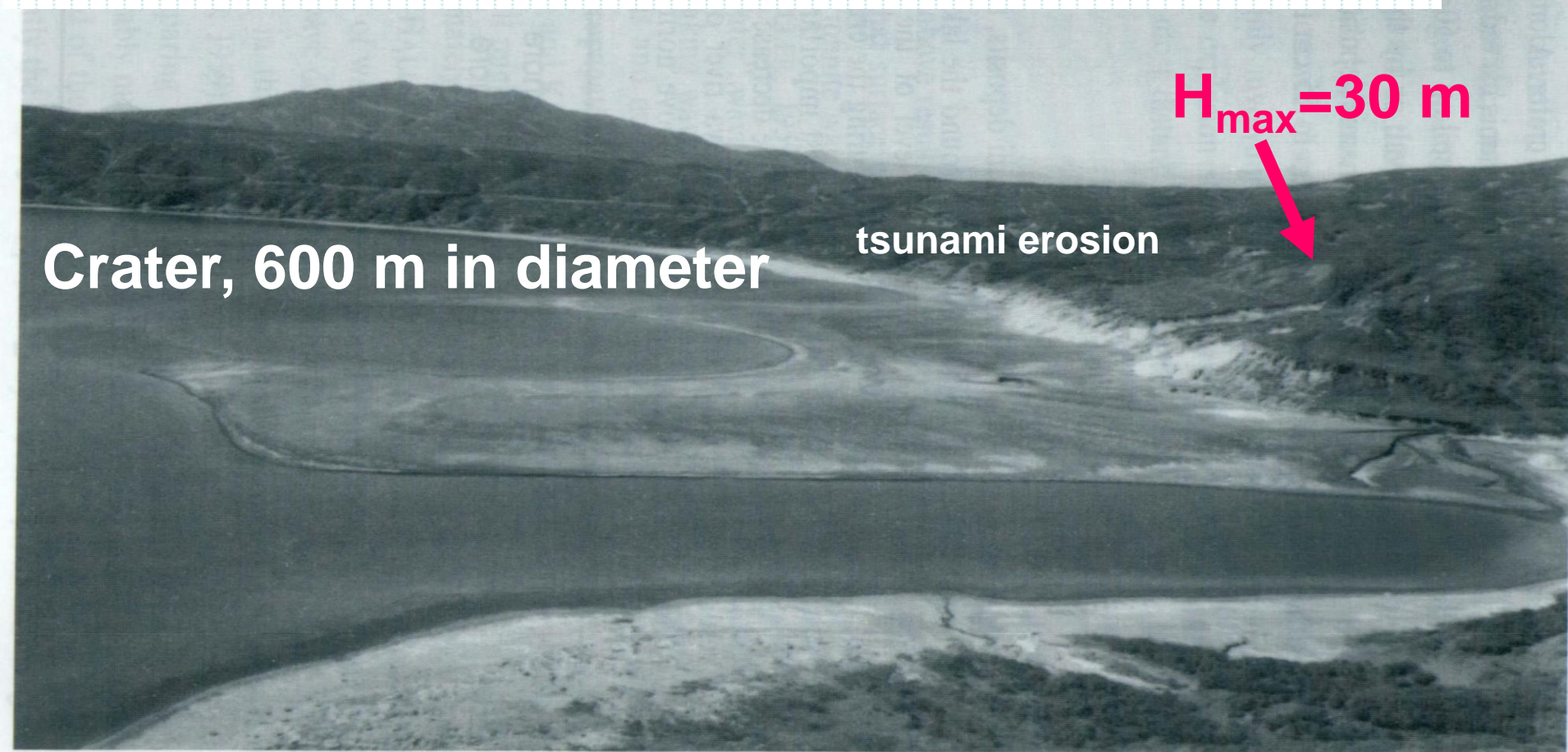
$R_e \sim 3.5$ km

$H_e \sim 220$ m

Tsunami generated by subaquatic volcanic eruptions

PAGEOPH, 2000, v. 157, 1135-1143

January 2, 1996, Karymskoye Lake, Kamchatka, Russia



“Explosions occurred every 4 to 12 min. Six explosions were observed with an average interval of 6 min”

Цунами оползневого происхождения

16 октября 1979 г. При расширении международного аэропорта в Ницце (Франция) экскаватор «задел» подводный оползень. Погибло 6 человек. Высота волны на берегу достигла 3 м.



Antibes
10 km
from Nice

October 1, 1979

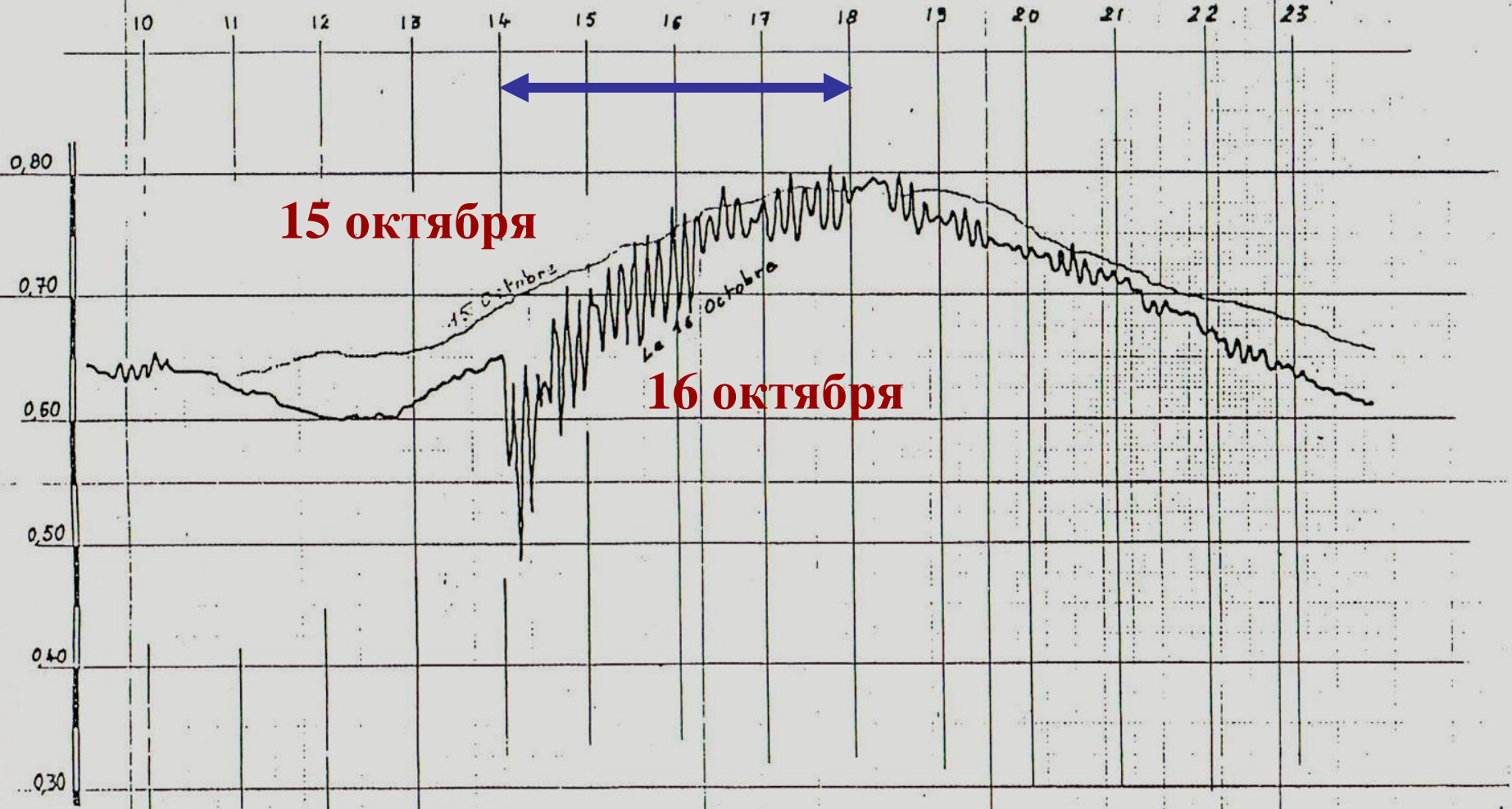




16 October 1979

Запись цунами в порту Ниццы

Echelles { Heure : 15 mm/h
 { Hauteur : 2 cm / 10 cm
Heures : TU + 1 heure



Высота 10 см, в то время как на берегу – 1 м

Landslide Tsunami, 11 December 2018

Bureya River, Russia



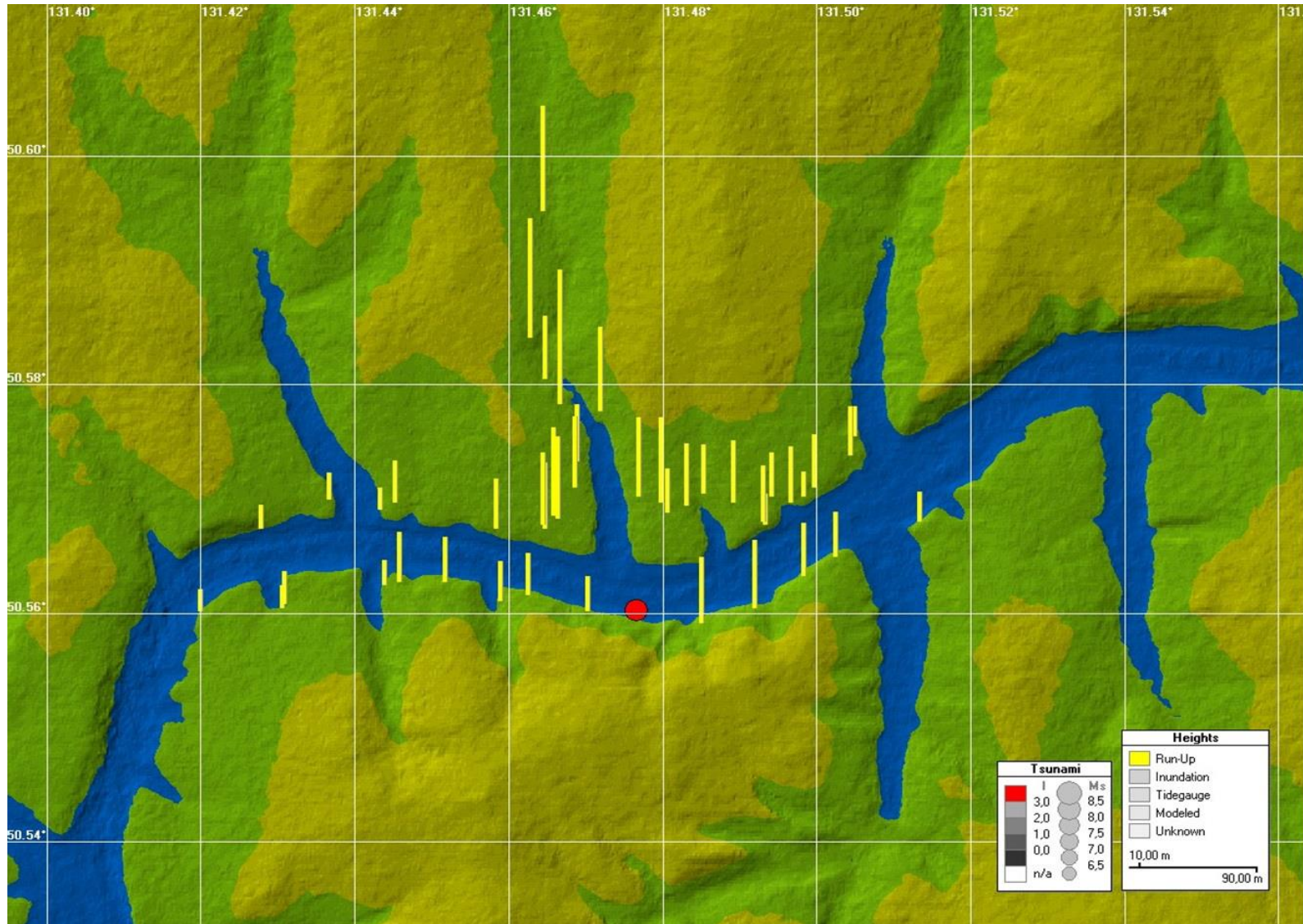
25 mln cubic meters

Runup 90 m



A general view of the landslide scar on the southern bank of the Bureya water reservoir and the body of the landslide with a passage, initially made by the military in February 2019 and extended by the spring floods in April-May 2019. Photo by A.N. Ostroukhov (IVEP FED RAS) made with the quadcopter "Fantom 4" on June 19, 2019.

This tsunami is 7-8 in list of hugest runup heights

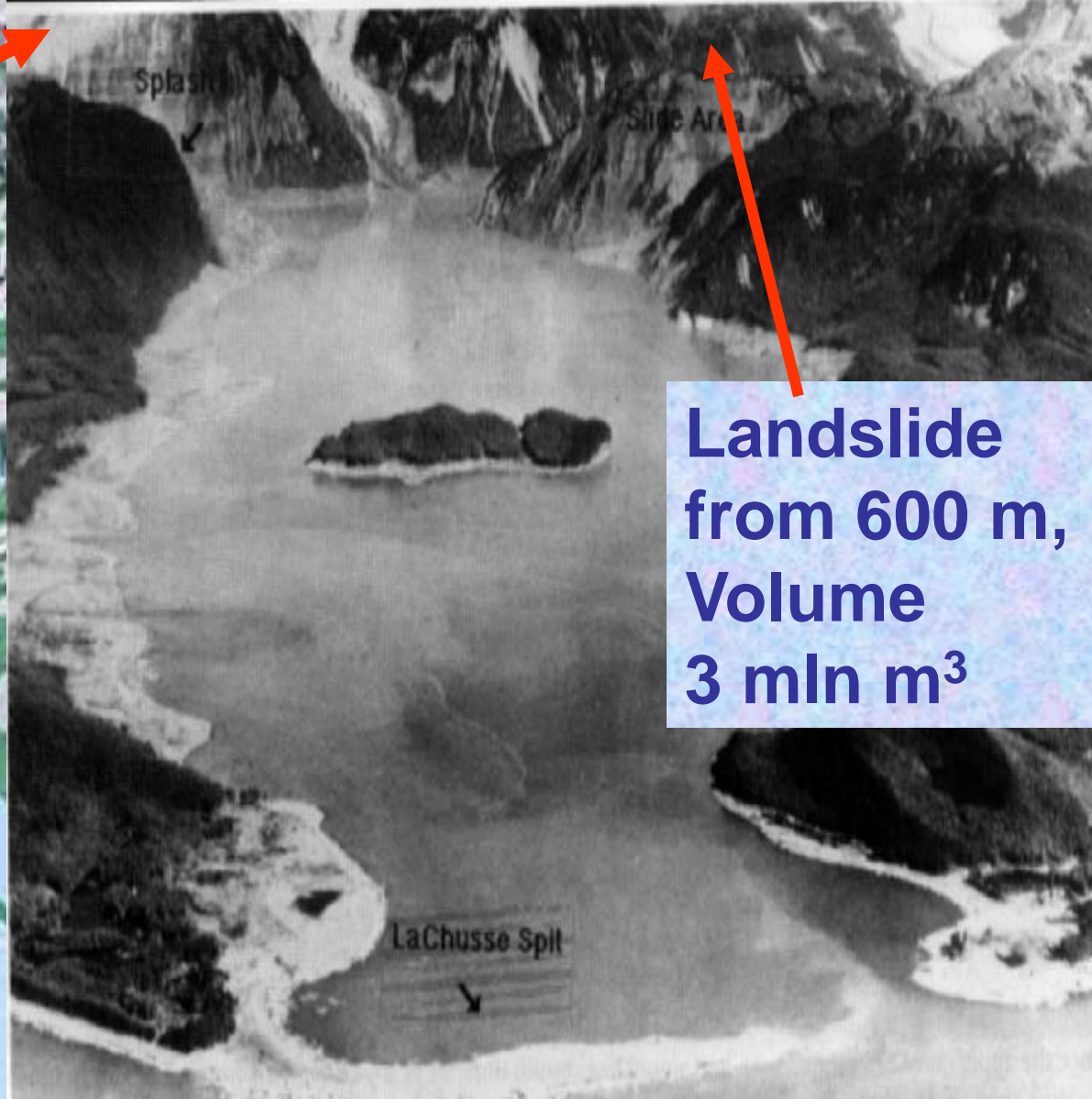


The map of the measured run-up heights of the December 11, 2018 Bureya tsunami plotted in the PDM/TSU graphic shell. The red dot marks a position of the landslide.

**Splash
524 m**

Lituya Bay

Gulf of
Alaska

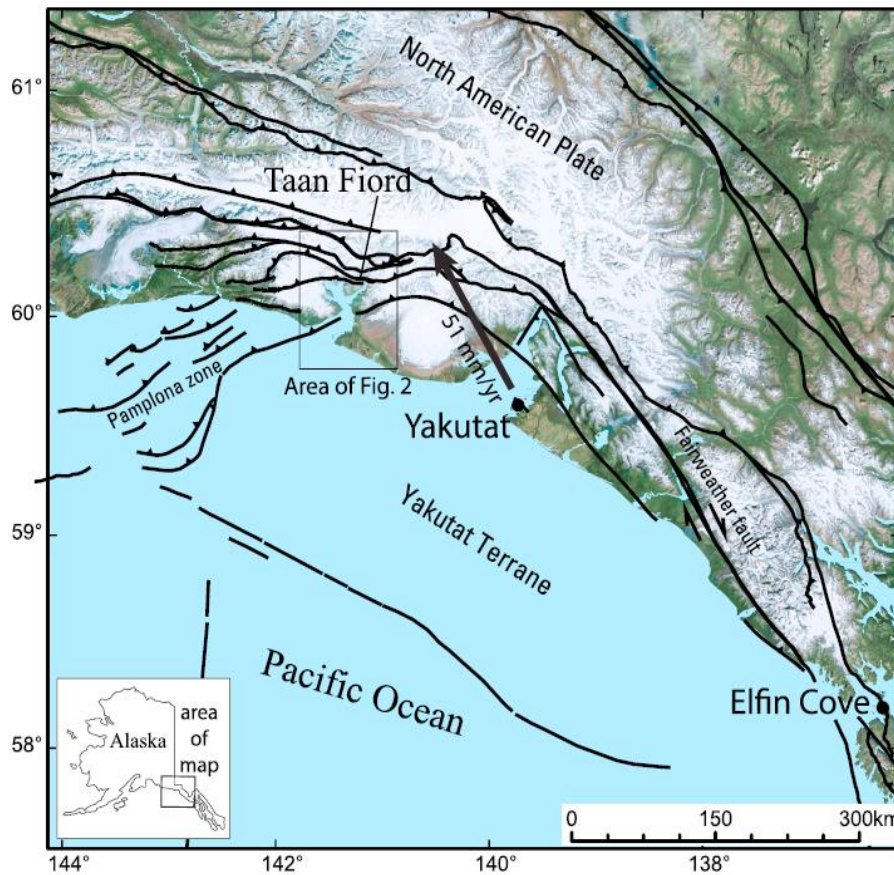


**Landslide
from 600 m,
Volume
3 mln m³**

9 July 1958, Alaska

17 October 2015, Alaska

Almost 200 m!



June 18, 2017 Greenland

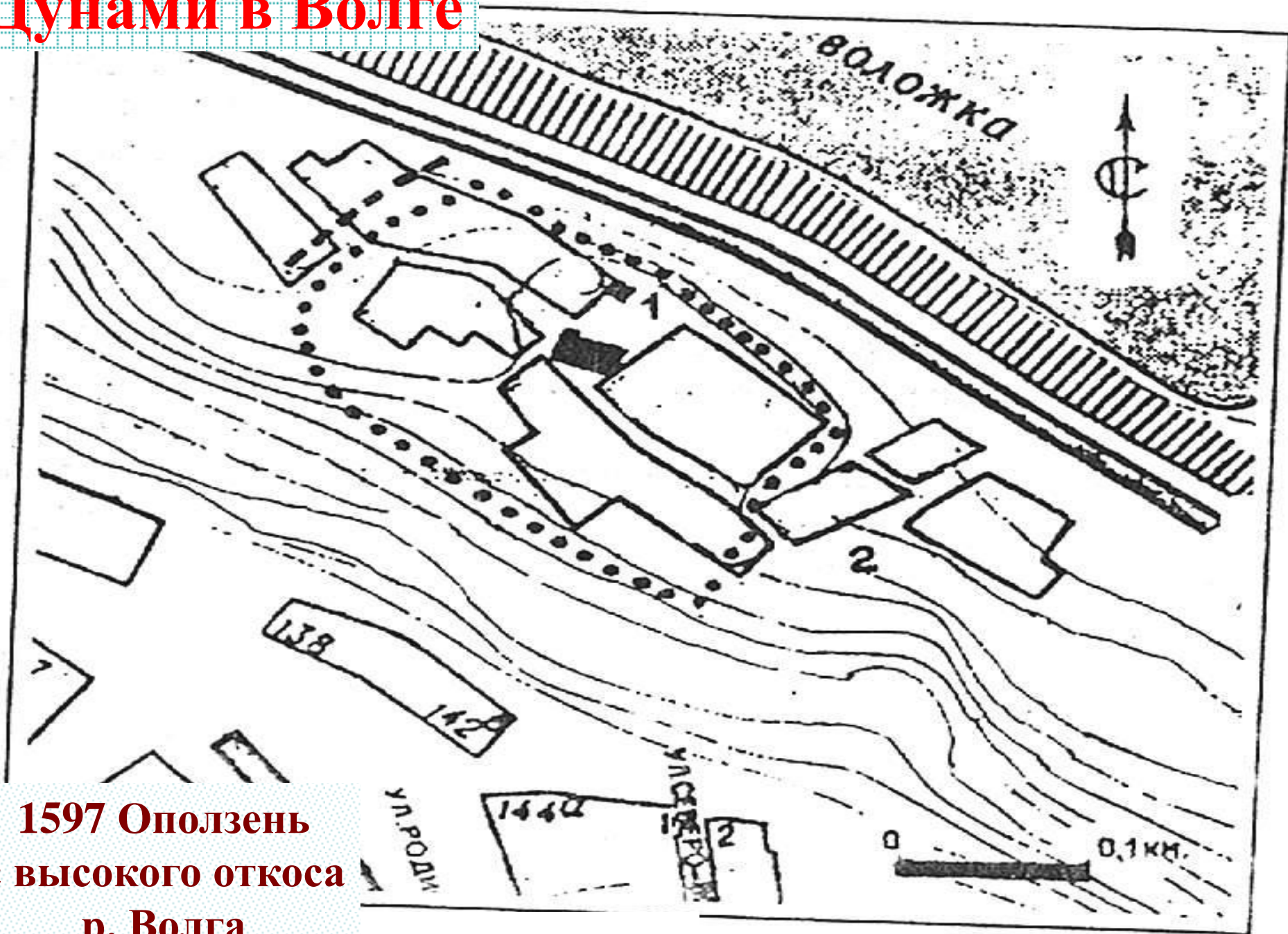
**100 m high,
4 people missing**



ENVIRONMENT

THE WAVE HEIGHT, AT ITS PEAK, WAS AROUND 100 METERS. DZMITRY MELNIKAU/SHUTTERSTOCK

Цунами в Волге

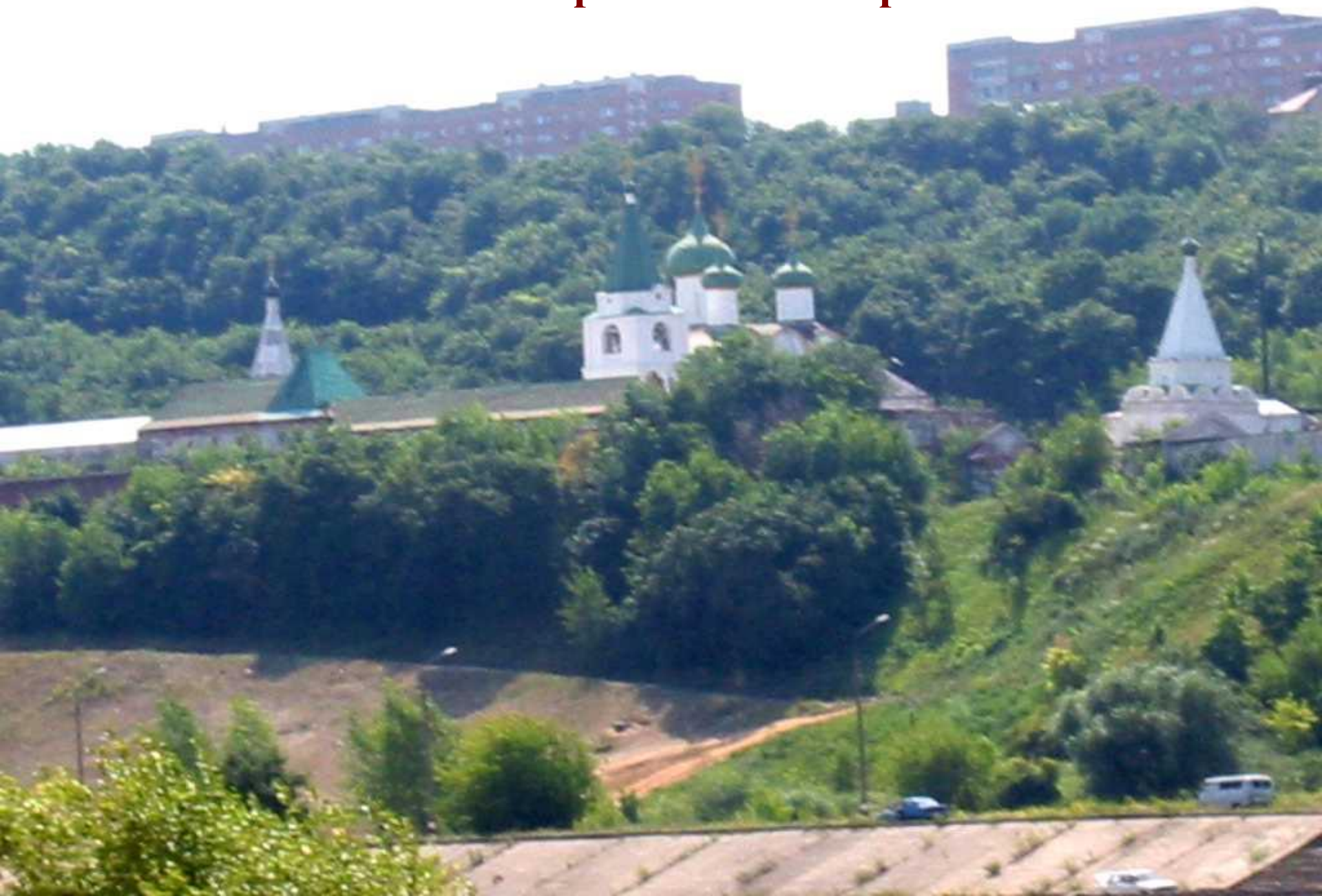


**1597 Оползень
с высокого откоса
р. Волга**

Лѣта 7105 иже Году, Юния во 18 день на
память святаго мученика Деонтия, въ
третнемъ часу ноши: Было посъщенье
Господне въ нижнемъ новъградѣ въ
печерскомъ монастырѣ; сползла Гора отъ
матерые степи, да прошла подъ ту Гору на
которой монастырь стоитъ и съ лѣсомъ, и
вышла в волгу сажень на 50, а инде и болши.
И стали въ волгѣ Бутры великия: суды
которыя стояли подъ монастыремъ на водѣ, и
тъ суды стали на брегѣ на сухѣ, сажень 20
отъ воды и болше. И послѣ того нагъ пенима
гора, пошли изъ Горы кучы великия.

Из летописи 1597 года

Печерский монастырь



ПЕЧЕРСКИЙ ВОЗНЕСЕНСКИЙ
МОНАСТЫРЬ
ОСНОВАНЪ ИЕРОДИМОМЪ
КІЕВО-ПЕЧЕРСКОГО МОНАСТЫРЯ.
ВЪ ПОСЛЕДСТВІИ
АРХІЕПИСКОПОМЪ СУЗДАЛЬСКИМЪ
СВЯТЫМЪ ДІОНИСІЕМЪ
ВЪ КНЯЖЕНІИ

Іоанна Даниловича Золоты,
между 1328 и 1330 г.г.
наименованъ Печерскимъ
Святымъ Діонисіемъ
Въ 1597 г. 18 июня,
въ 3^ю часу ночи, монастырь
былъ разрушенъ обваломъ горы,
въ третій день по развалинамъ
монастыря, обрѣзаны
нетленными мощи святого
Іоасафа, скончавшагося
за 30 летъ до этого времени.



Цунами Взрывного происхождения

В Канаде, в гавани Галифакс в декабре 1917 года
столкнулись два судна, груженные взрывчаткой.
Волны около **10 м.**

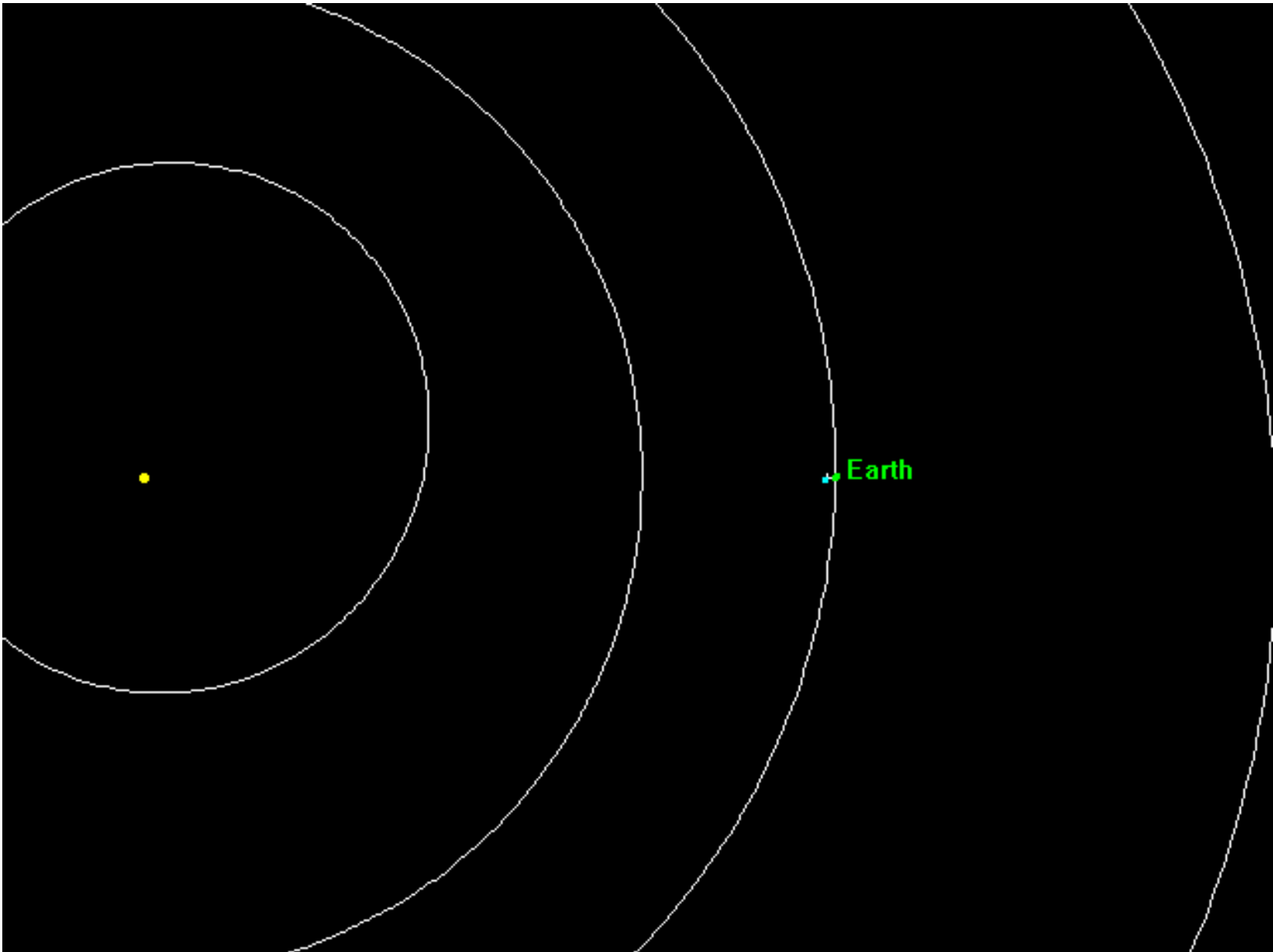
Цунами искусственного происхождения

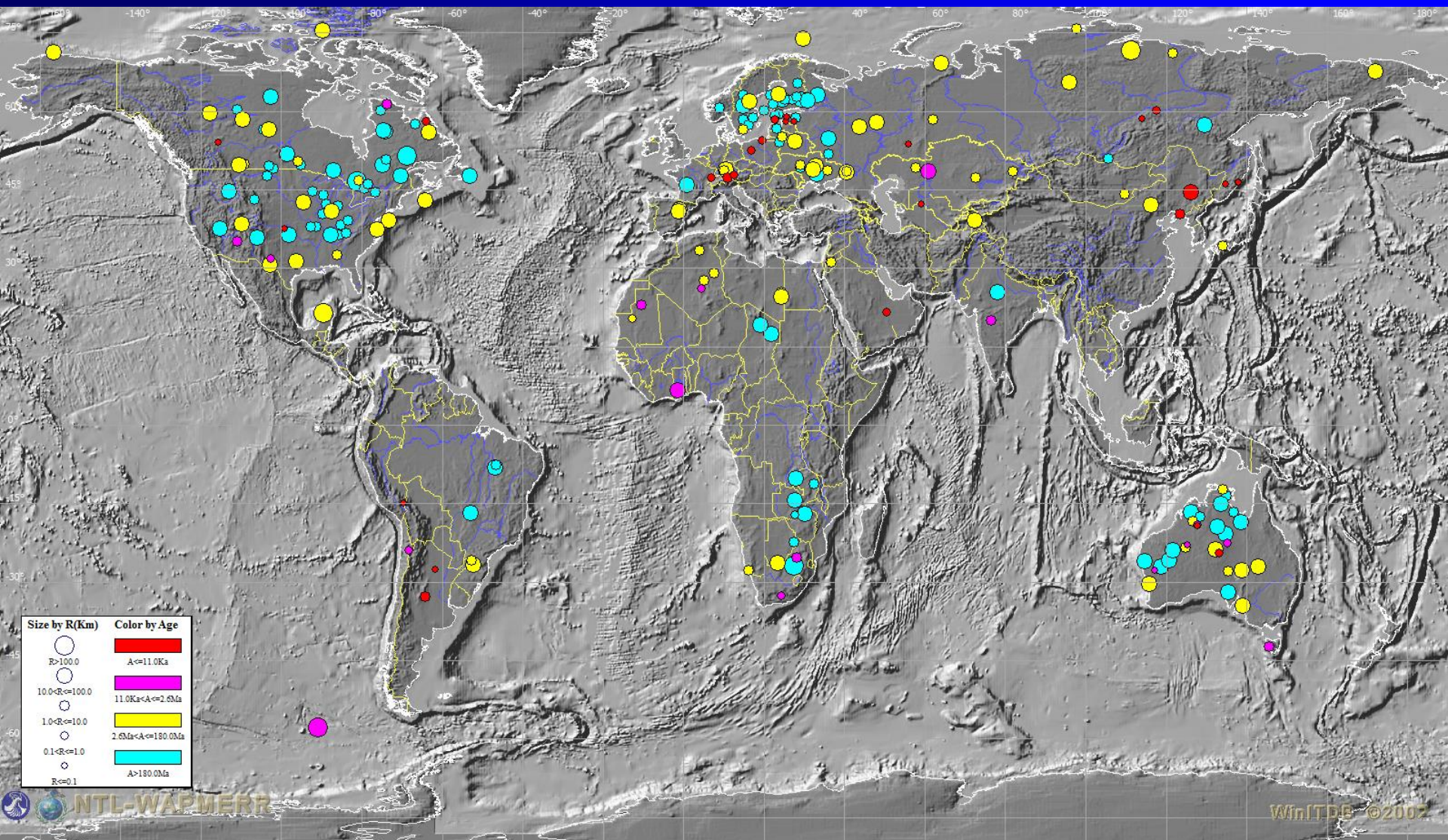
Столкновения астероидов с Землей

Астероиды диаметром 200 м в диаметре
и больше сталкиваются с Землей раз
в 3000 лет

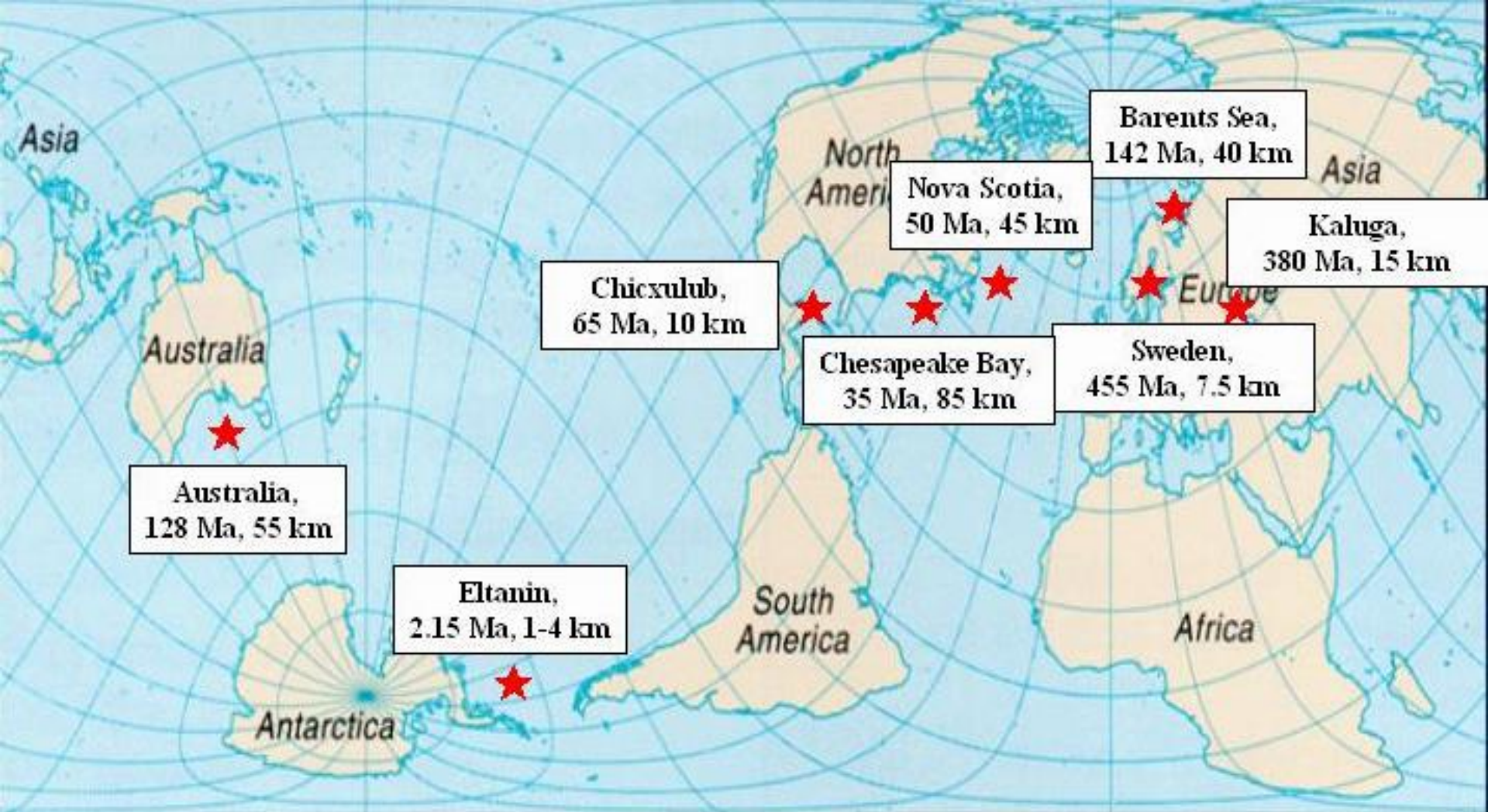
**NASA: 633 потенциально
опасных астероидов**

Время прогноза – несколько месяцев



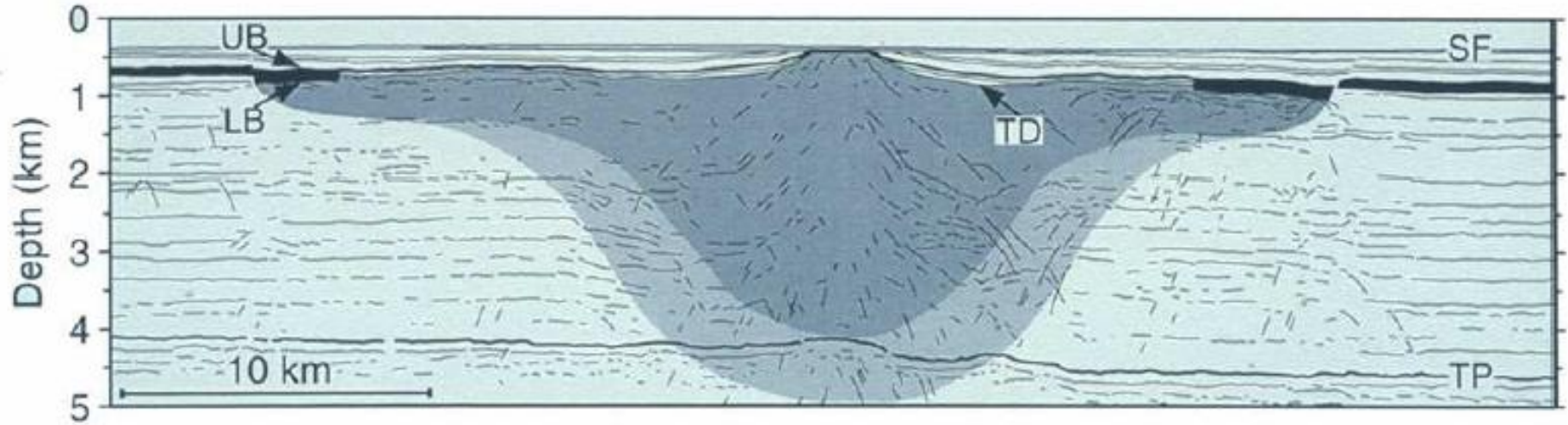


Карта расположения доказанных (~185) импактных структур на поверхности Земли. Источник: Expert Database on the Earth Impact Structures (EDEIS), 2015 (Гусяков)



**Известные случаи цунами
от астероидов (Kharif & Pelinovsky, 2005)**

Следы астероидов в Земле



Изолинии скорости сейсмических волн

FAST TRACK PAPER

Asteroid impact tsunami of 2880 March 16

Steven N. Ward¹ and Erik Asphaug²

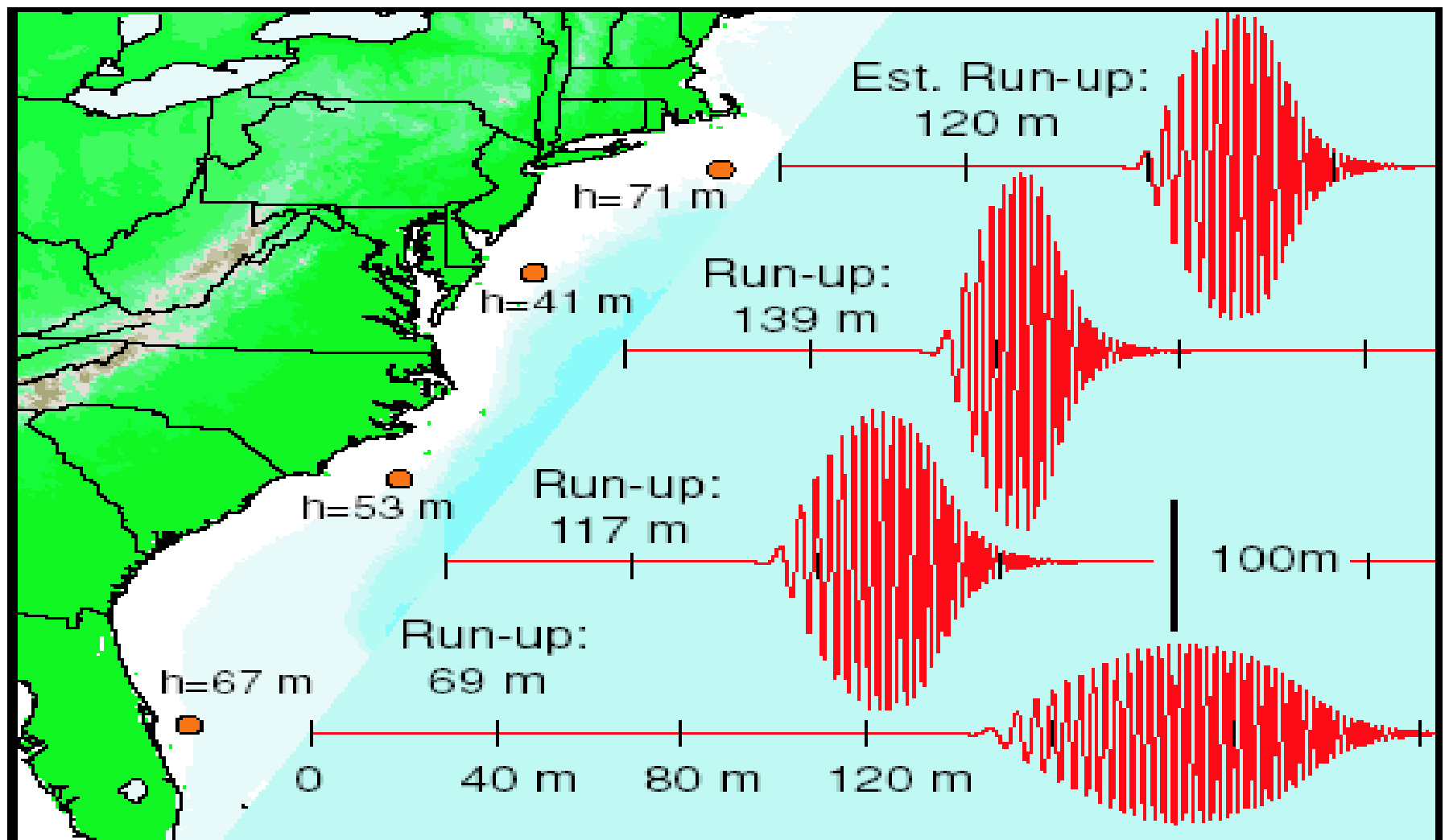
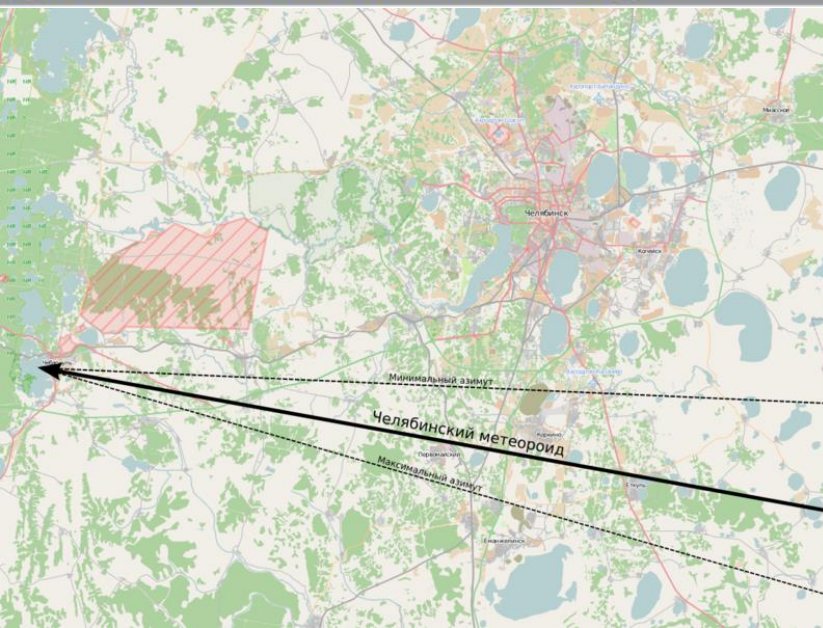


Figure 3. Tsunami waveforms at four sites along the United States east coast (orange dots). Note how dispersion spreads an original impulse into a long series of waves of decreasing period. Observers on shore would see initial minor oscillations grow to heights of 50–100 m in a one-half to one hour span. Peak amplitude waves have periods of about 2 min.

Челябинск, 15 февраля 2013 года



Почему не было цунами?

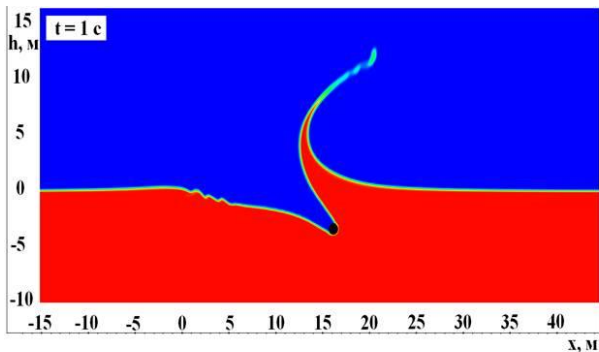


Вес
500 кг

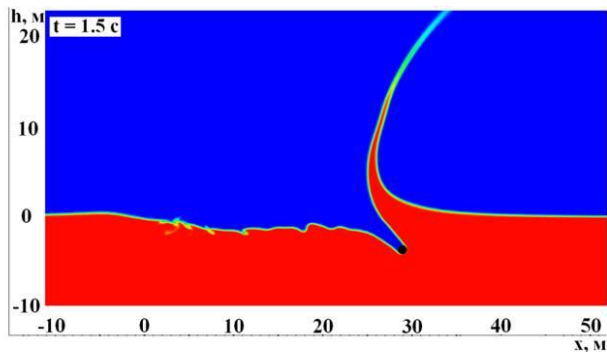
Диаметр
20 м



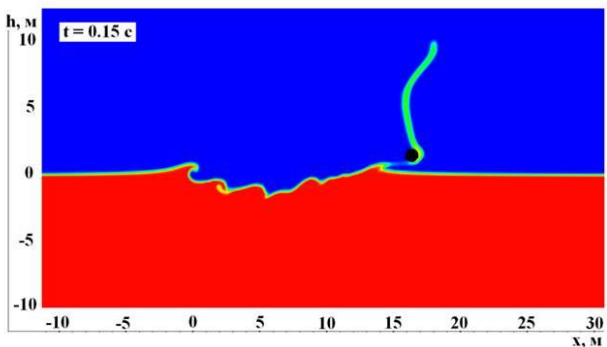
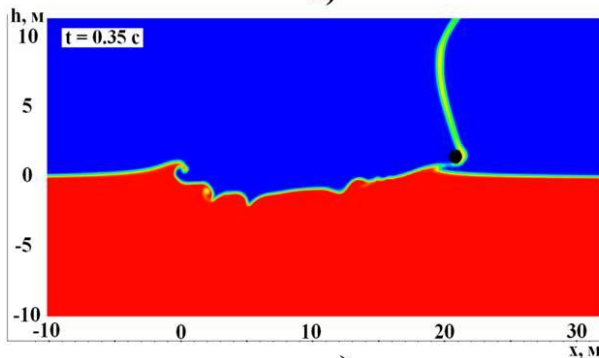
Падение тела под углом 5° с различными скоростями RANS-models



а)



б)



При определенных параметрах падения тело может **отскочить** от поверхности воды

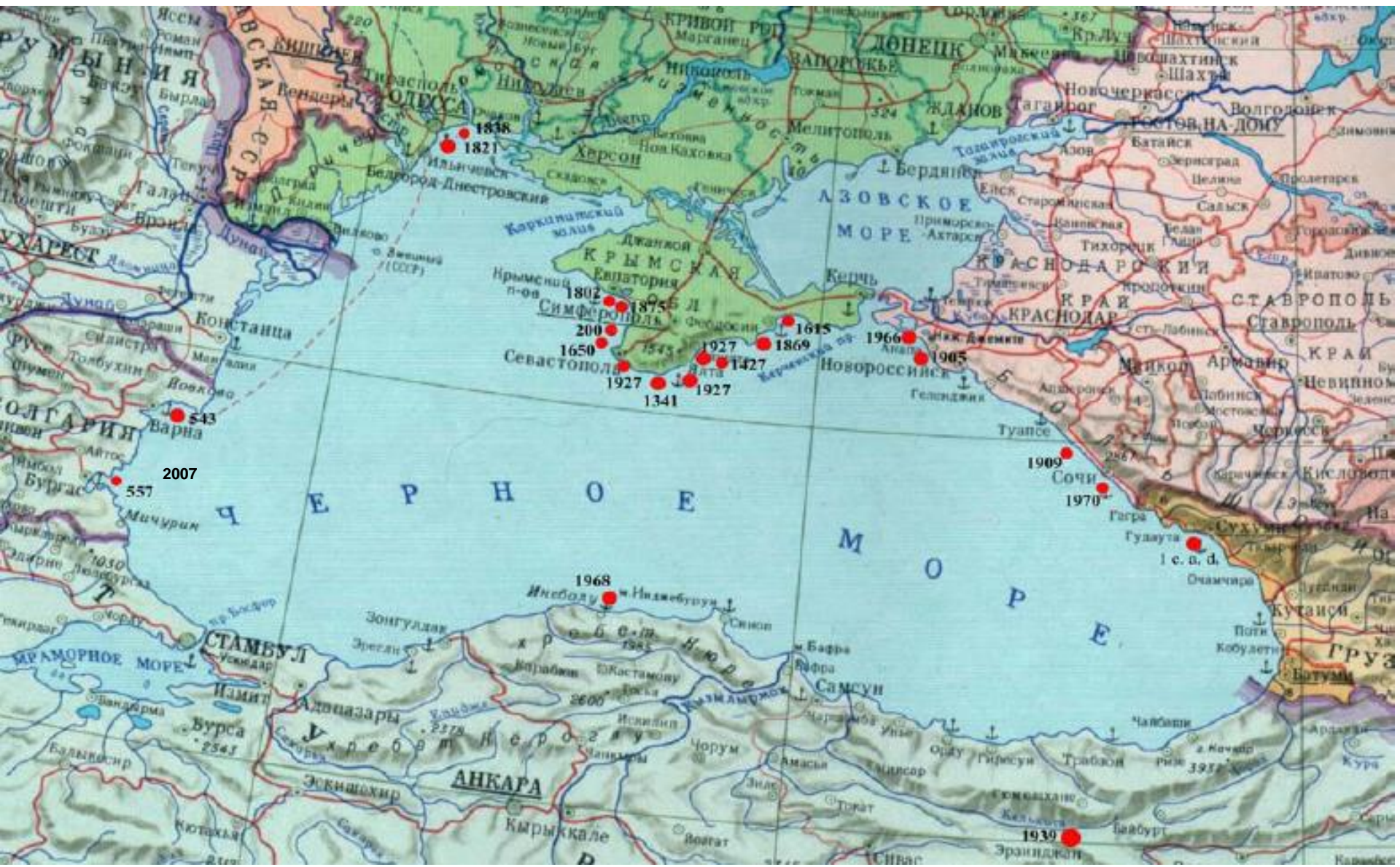


«Лягушка»

а - 30 м/с, б) - 60 м/с, в - 100 м/с, г - 150 м/с

Цунами в Черном море – более 20 событий

(Зайцев и Пелиновский, 2011)



Цунами в реках и озерах России

(Диденкулова и Пелиновский, 2006)



Последний случай - 26 февраля 2012 г. Тува, река Мерген

Оперативный прогноз цунами

1. «До» службы цунами: Почувствовав землетрясение на берегу – **Уходи** в горы....

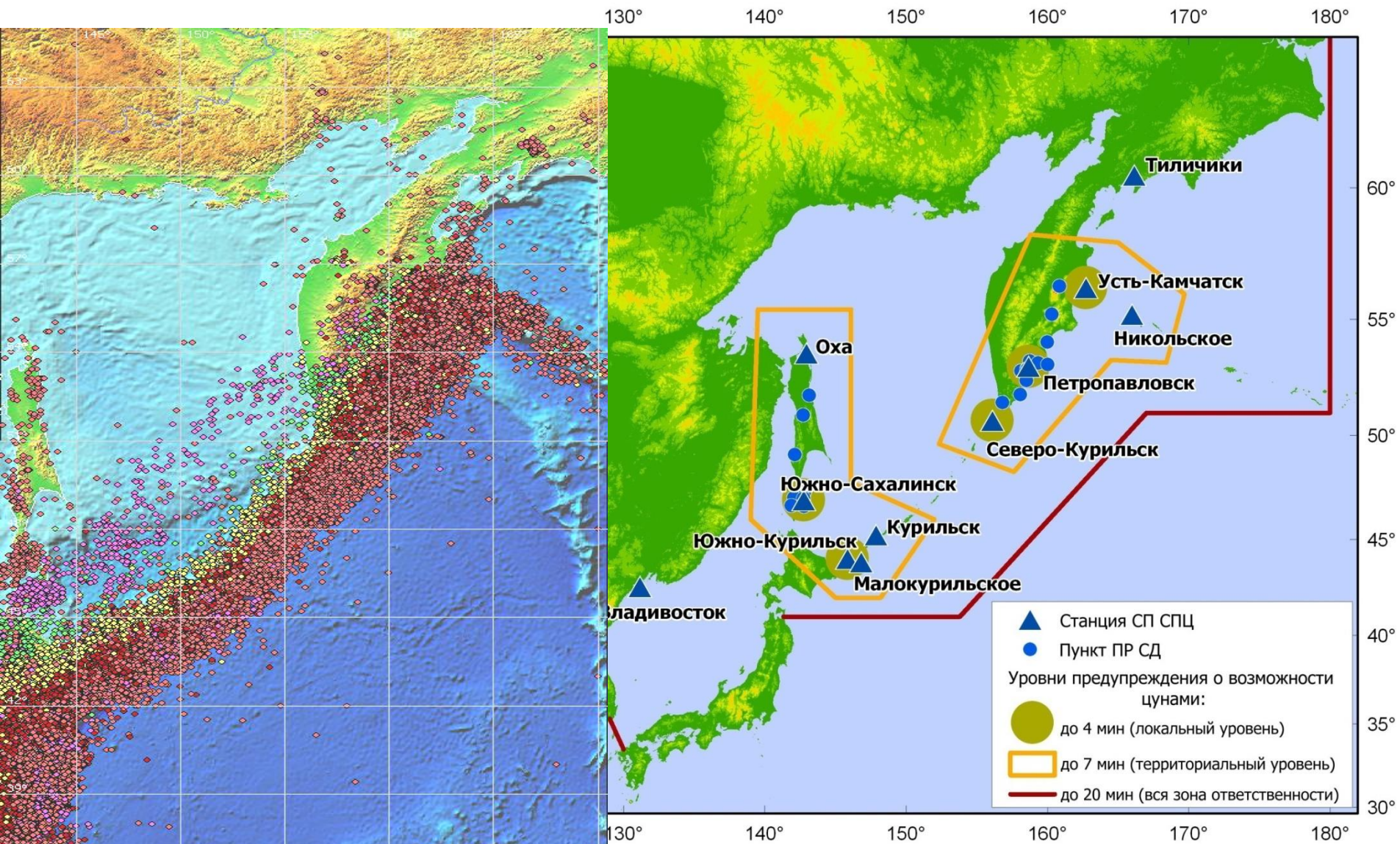
Всегда актуально для локальных цунами

2. Служба цунами (после 1960 года): За 10 минут -
Определить магнитуду и координаты землетрясения.
Если оно в море и $M > 7$ объявляй тревогу

Результат: огромное число ложных тревог (около 75%)
Очаг землетрясения должен быть **неглубоким** и
смещение в нем в основном **вертикальное**.

3. **Новые методы:** За 10 минут определить магнитуду землетрясения и выбрать наиболее близкое из **банка сценариев** цунами (**рассчитанные заранее**)

10 минут – основные цунами генерируются рядом!



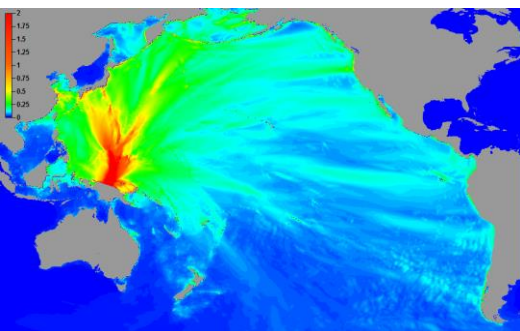
Сценарный подход:

- Используется в Японии и США

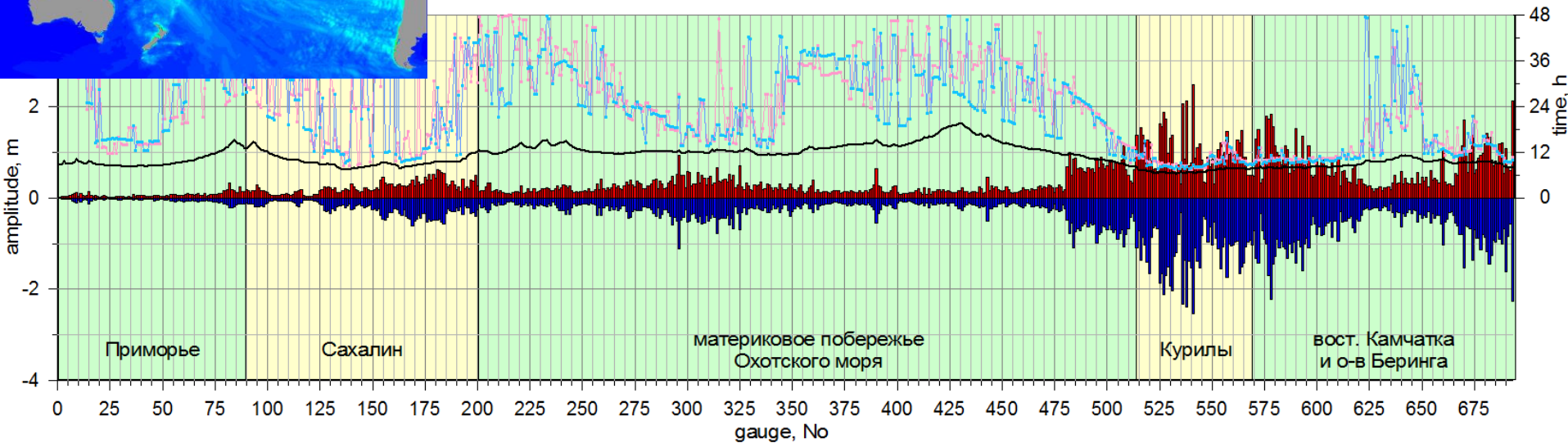
- Позволяет выдать прогноз амплитуды

Минус: если амплитуда занижена, то нет реакции
(жертвы цунами 2011 года в Японии)

Разрабатывается для России (Чубаров, Гусяков и др.)




Амплитуда и время добегания



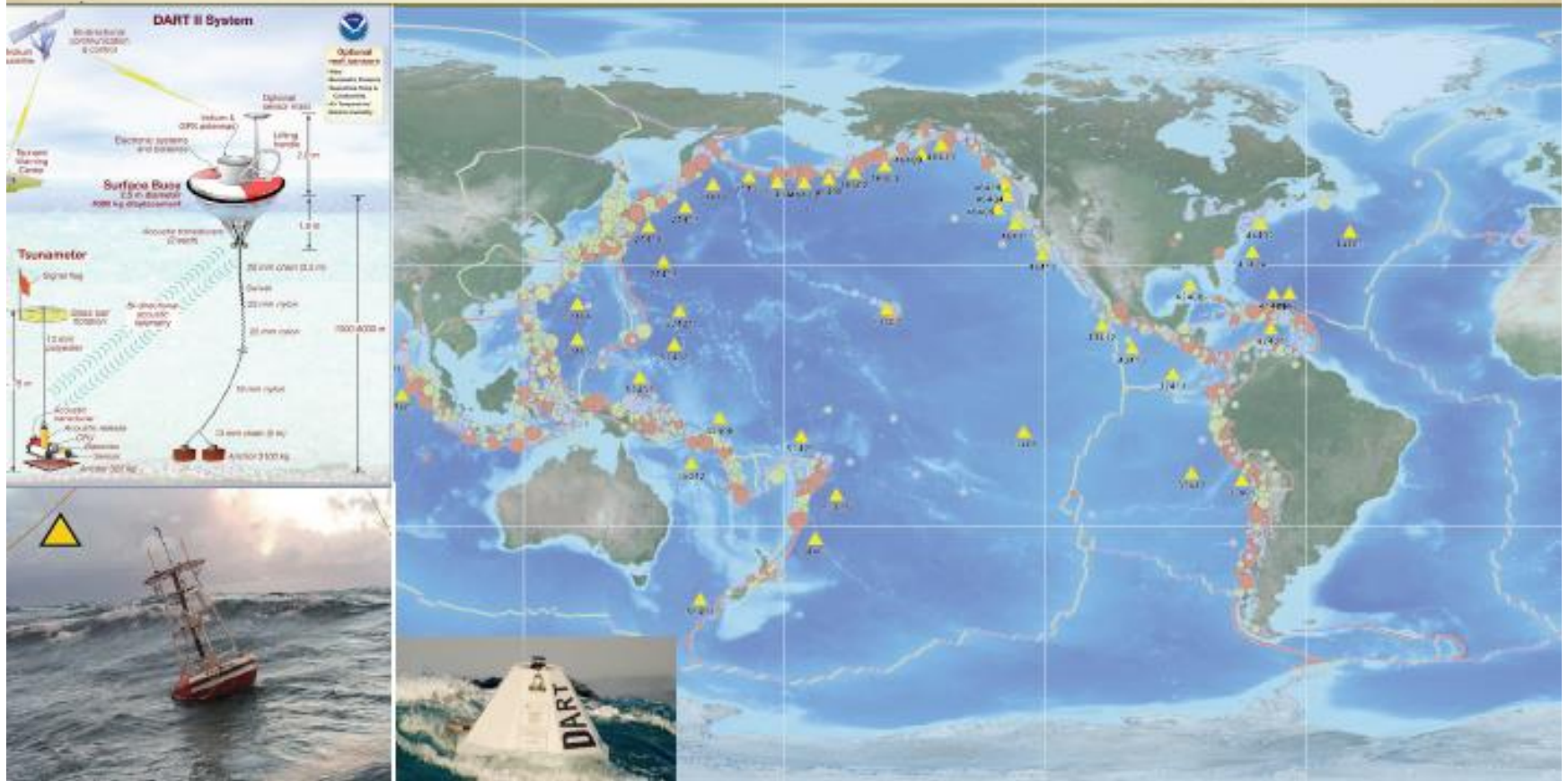
Первая регистрация цунами в открытом океане: США, 1979,
Вторая – Россия, 1980

NOAA Tsunami Forecast

Detection

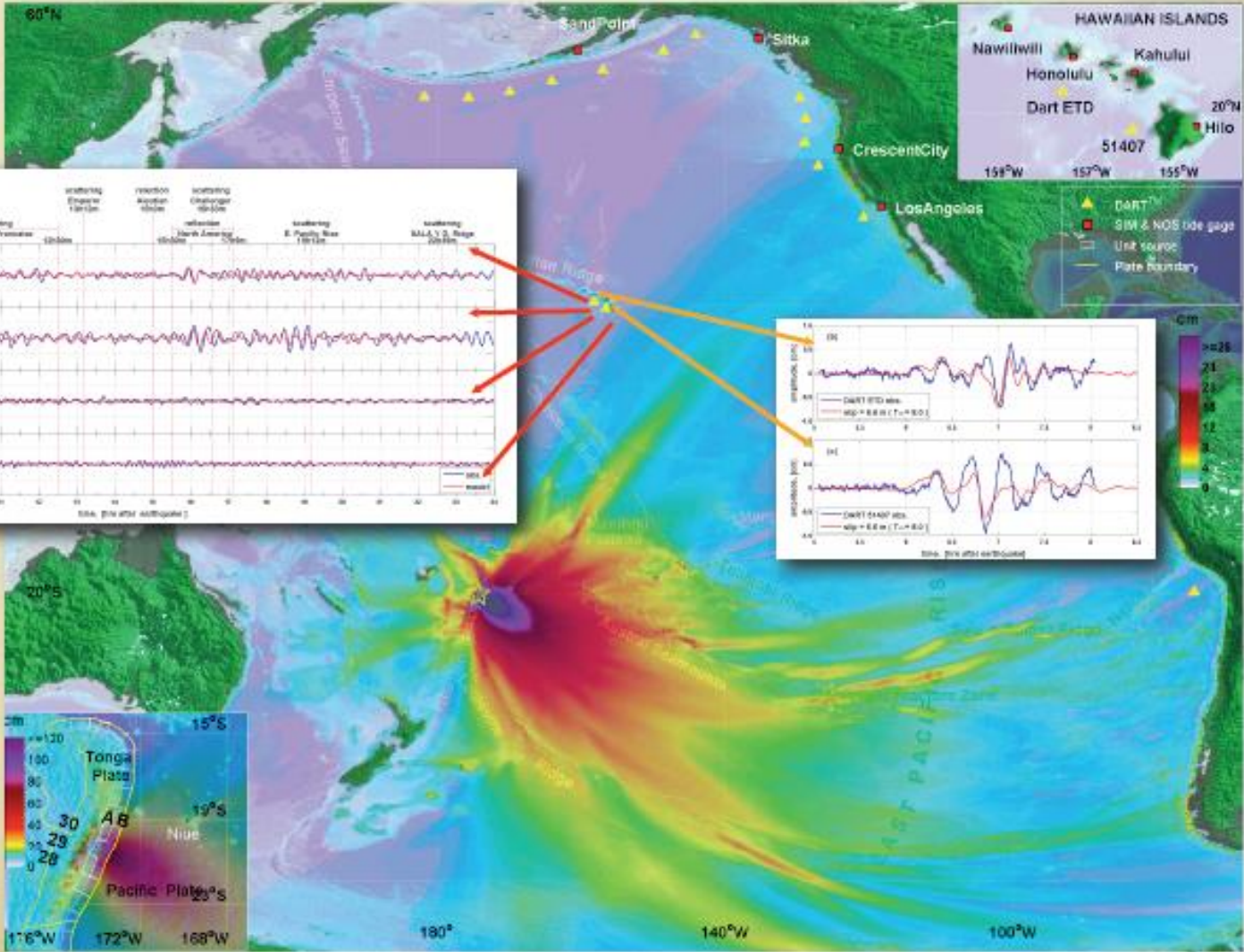
 Tsunameters

Мониторинг подходящей волны



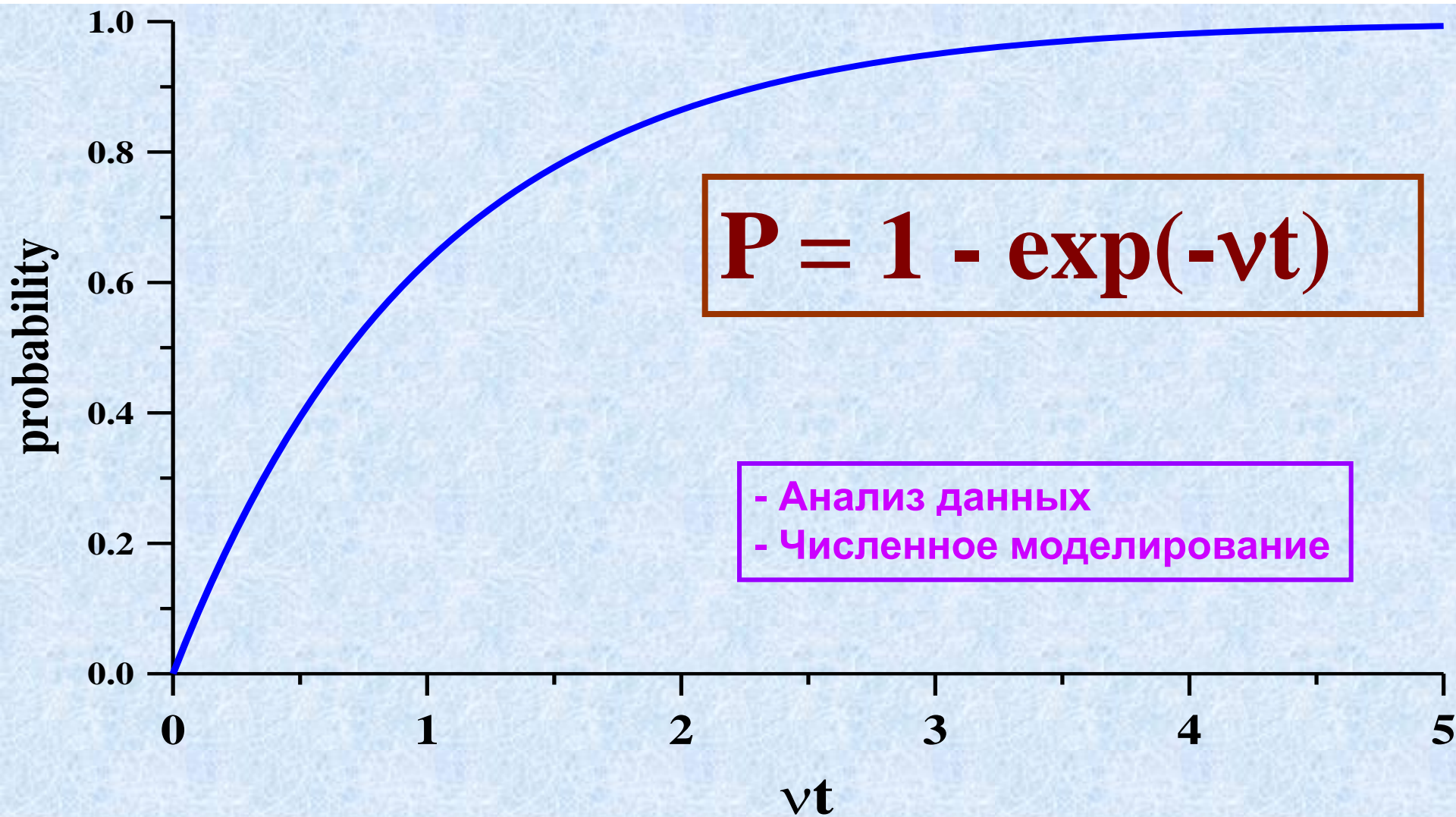
Модель хорошо и быстро предсказывает цунами характеристики.
Однако пока это **тестовый режим**.....

May 3, 2006 Tonga tsunami



Долгосрочный прогноз цунами

Прогностическая вероятность (Пуассон)



Прогностические высоты цунами на 100 лет

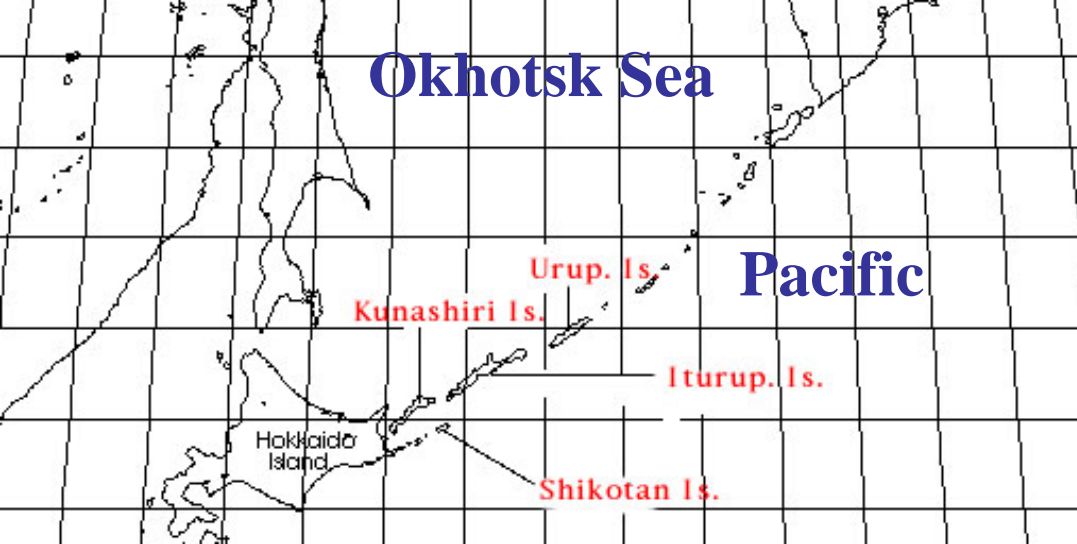
Го, Кайстренко, Пелиновский, Симонов, 1988



TABLE100-YEARS FORECAST FOR THE LEVELS OF FLOODING OF THE SOVIET
PACIFIC COAST

Point	Height m	Point	Height m
the Komandorskiye Islands		the Kunashir Island	
Mednyi Isl.	2.5	Vil. Yuzhno-Kuril'sk	4.5
Bering Isl.	8.0	Vil. Golovnino	2.5
Kamchatka		Shikotan Island	
Vil. Ust'-Kamchatsk	9.5	Vil. Malokuril'skoye	7.0
Vil. Zhupanovo	8.0	Vil. Krabozavodsk	7.0
Bay Morzhovaya	18.0	Bay Dimitrova	8.0
Cape Shipunskii	21.0	Bay Tserkovnaya	13.0
Cape Mayachnyi	11.0	Malaya Kuril'skaya Ridge	
Petropavlovsk	2.5	the Polonskii Island	5.0
Cape Lopatka	17.5	the Zelyonyi Island	7.0
the Shumshu Island		the Tanfil'ev Island	3.5
Vil. Babushkino	9.0	the Yurii Island	3.5
Vil. Baikovo	17.0	Sakhalin	
the Paramushir Island		Kholmsk	1.0
Severo-Kuril'sk	18.0	Nevel'sk	1.0
Vasil'ev Cape	11.0	Korsakov	2.0
Sredniye Kuril Islands		Pervomaisk	1.5
the Onekotan Island	12.0	Vil. Katangli	1.0
the Shiashkotan Island	13.5	Primor'e	
the Matua Island	10.0	Vil. Ternei	1.0
the Simushir Island	8.5	Vil. Rudnaya Pristan'	1.5
the Urup Island		Nakhodka	1.0
Cape Kastrikum	8.0	Vladivostok	1.0
Vil. Podgornoye	8.0	Vil. Pos'et	0.5
Cape Van-der Linda	17.0		
the Uturup Island			
Vil. Kuril'sk	1.0		
Vil. Sentyabr'skii	10.5		
Vil. Burevestnik	7.5		

Цунами
2006-2007
10 м



4 октября 1994,
Высота 10 м

Южные Курилы



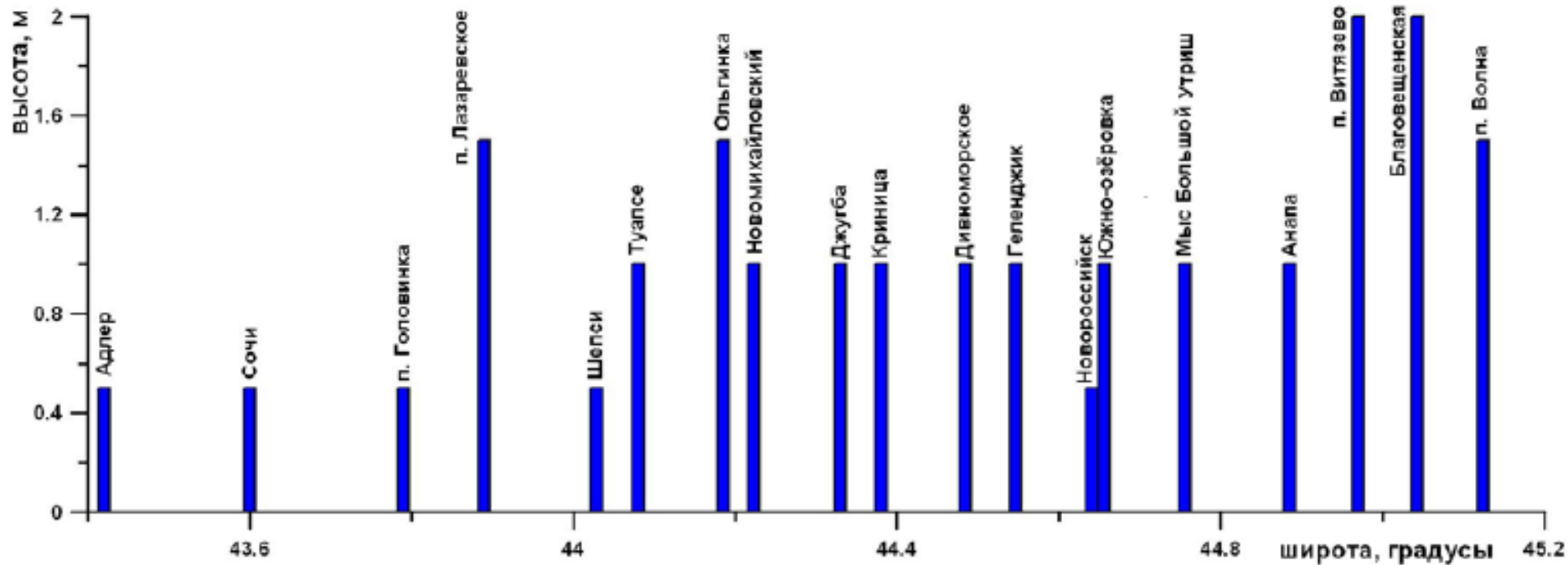


20 лет после Шикотановского цунами в 1994 году

Курильские острова	Высота, м	
	предсказание	измерение
Буревестник (о. Итуруп)	7,5	2,5
Южно-Курильск (о. Кунашир)	4,5	3,5
Головинно (о. Кунашир)	2,5	1,5
Малокурильское (о. Шикотан)	7,0	3,0
б. Димитрова (о. Шикотан)	8,0	9,5
б. Церковная (о. Шикотан)	13,0	7,9
о. Юрй	3,0	3,5
о. Зеленый	7,0	1,5
о. Половского	5,0	4,0

Предсказание оправдалось на 80%

Прогноз высот волн цунами на Российском побережье Черного моря



(Зайцев и Пелиновский, 2011)

Локальные коэффициенты усиления волны на берегу не включены

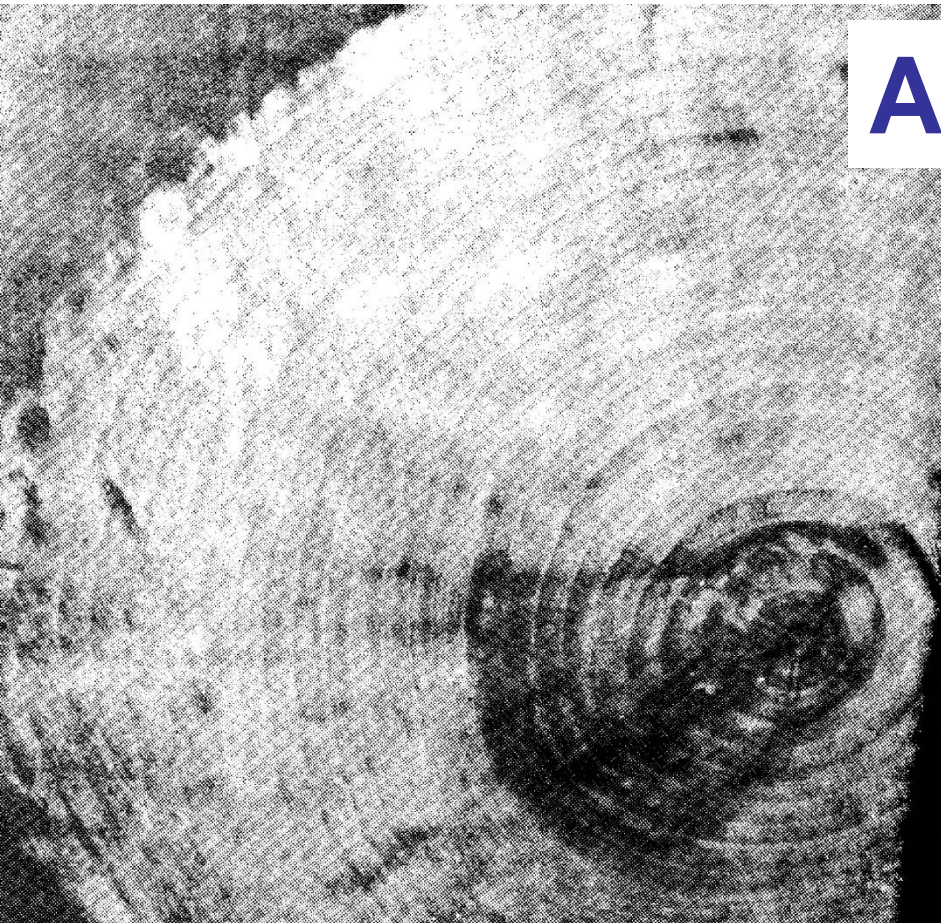
Paramushir, Kurile Islands,

1982

Tree cross-section: *annual rings*

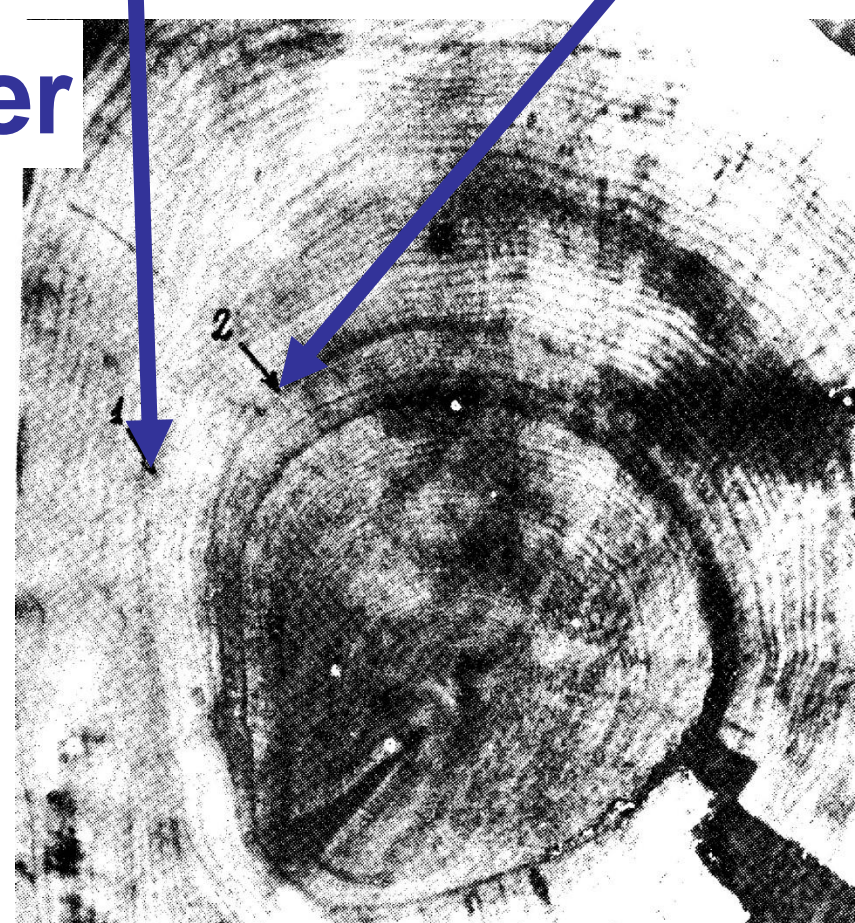
1960

1952



Alder

Out of flooding,
H = 25-30 m, Age 30 years



Flooding zone,
H = 5 m, Age 80



**Kunashir,
Kurile Islands,
October 4, 1994**

**View from
helicopter:
a few days after**

**New Methods of
Post-Disaster
Survey**

Disaster Recovery Operations Guidance

Pre- and Post-Event Imagery of 12 June 1993 Okushiri Tsunami



24 September 1976



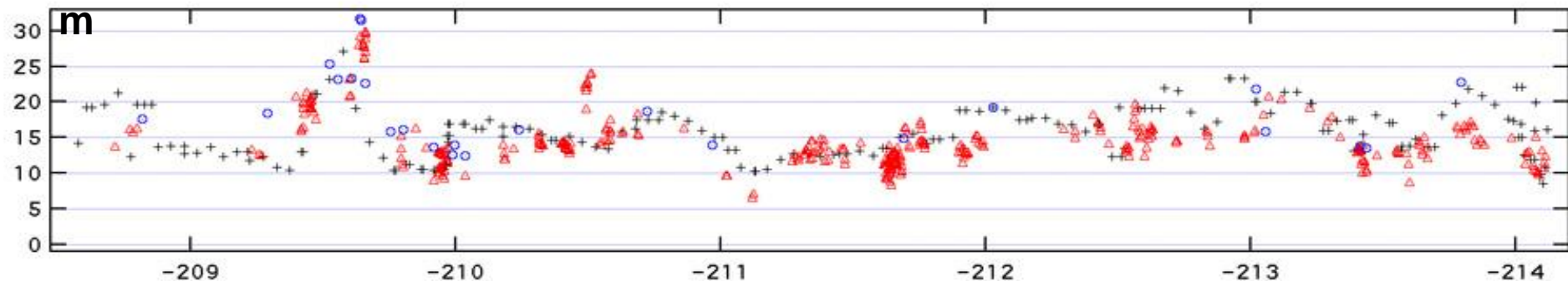
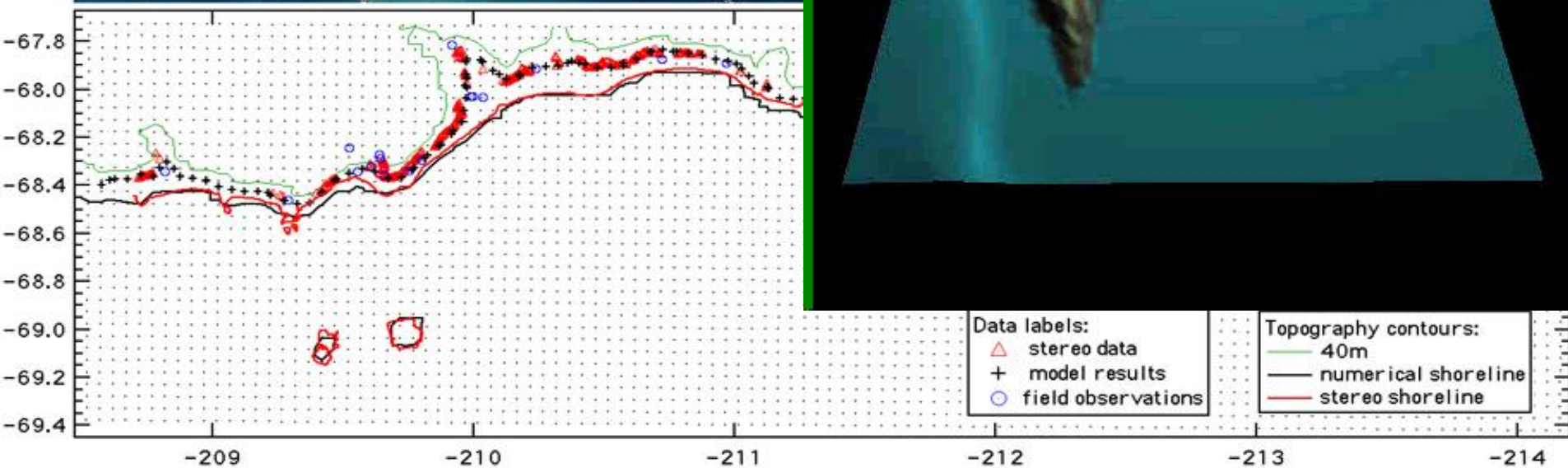
13 June 1993



NOAA/PMEL Tsunami Research Program

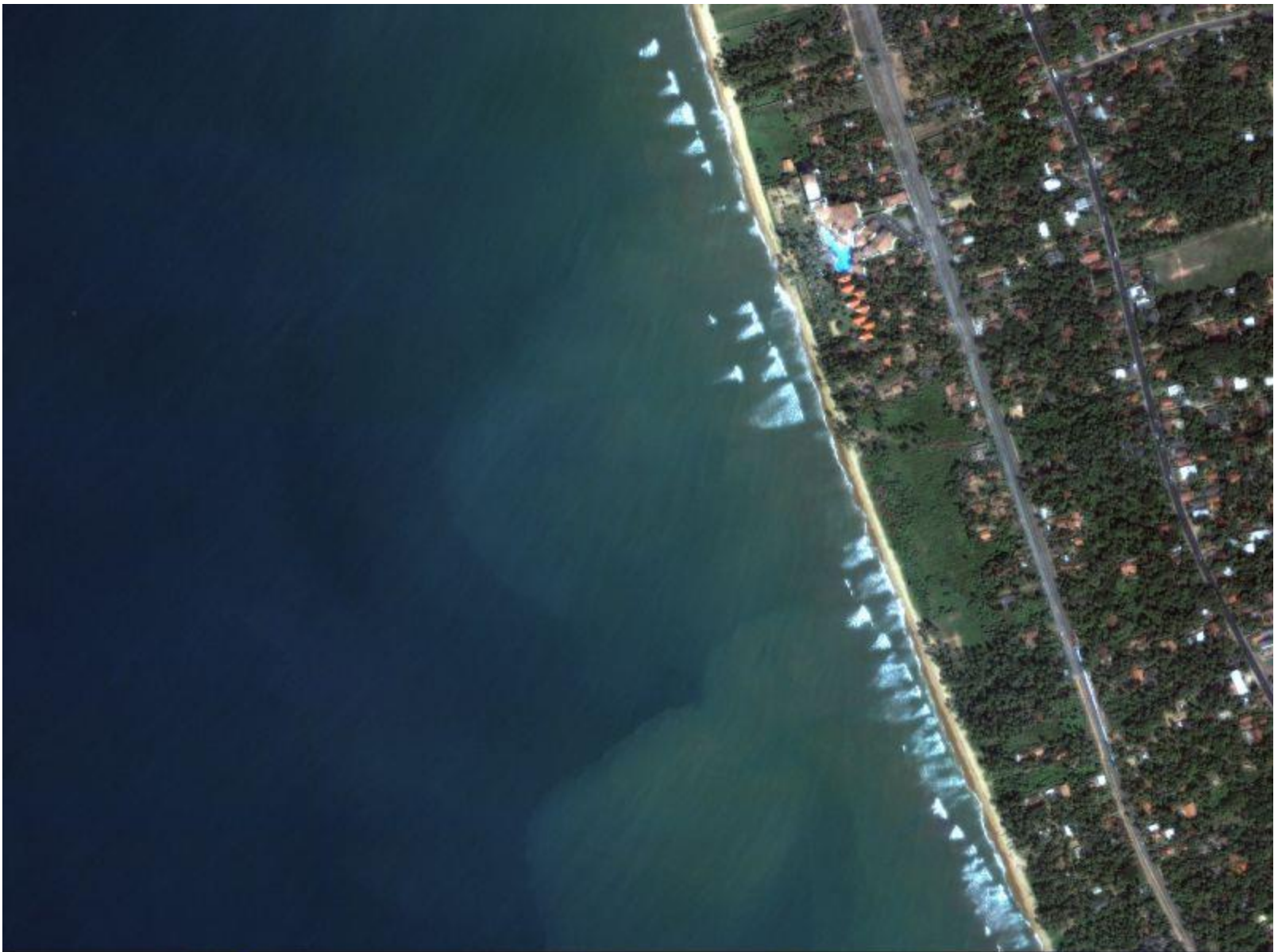
Aerial Photos: Kokusai Kogyo Co., Ltd.

Okushiri, Japan, 12 July 1993





Chennai (Madras), India - December 29, 2004



Global
Security.org



Public
Eye

DIGITALGLOBE



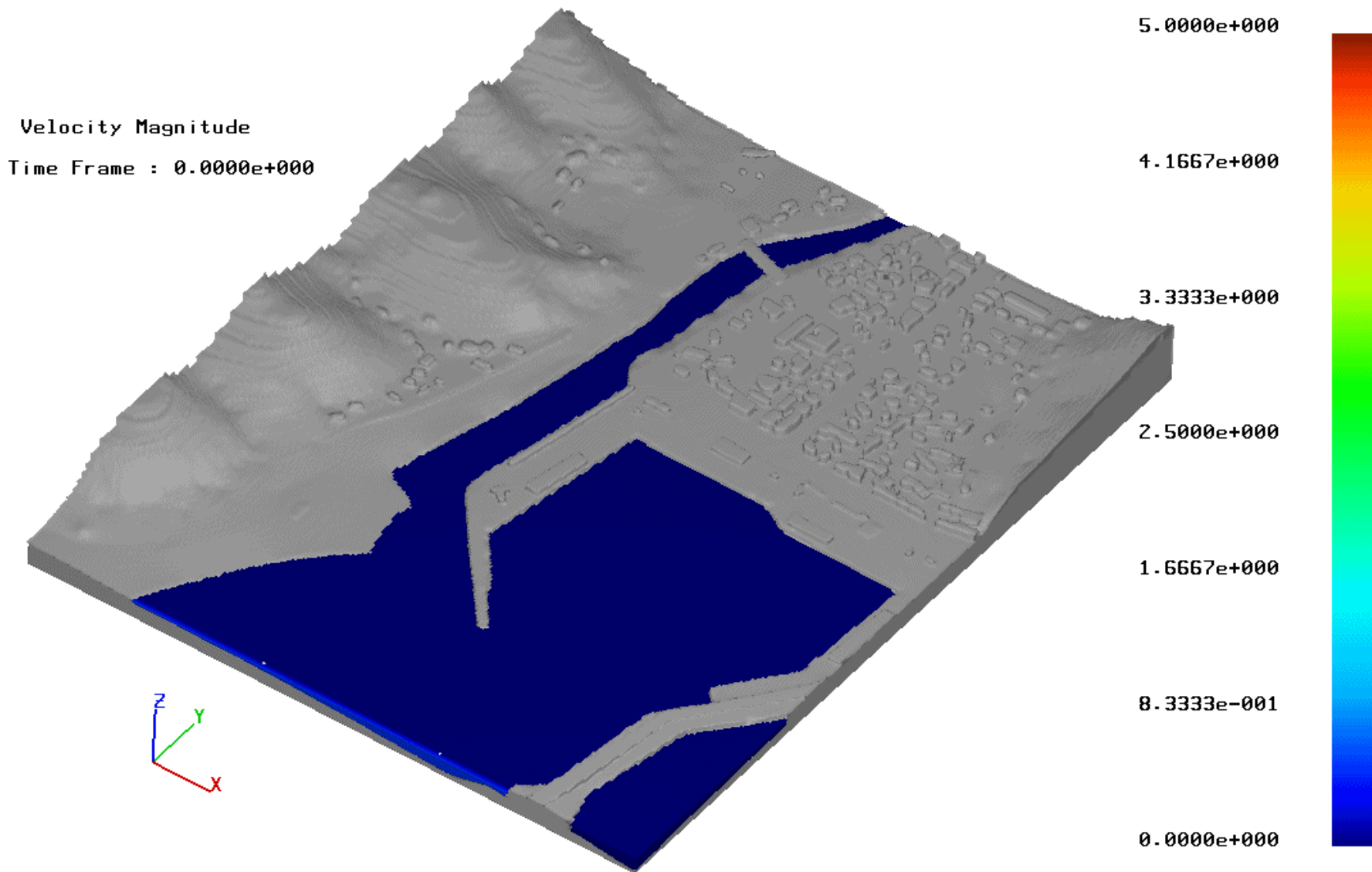
Global 
Security.org



**Public
Eye**


DIGITALGLOBE™

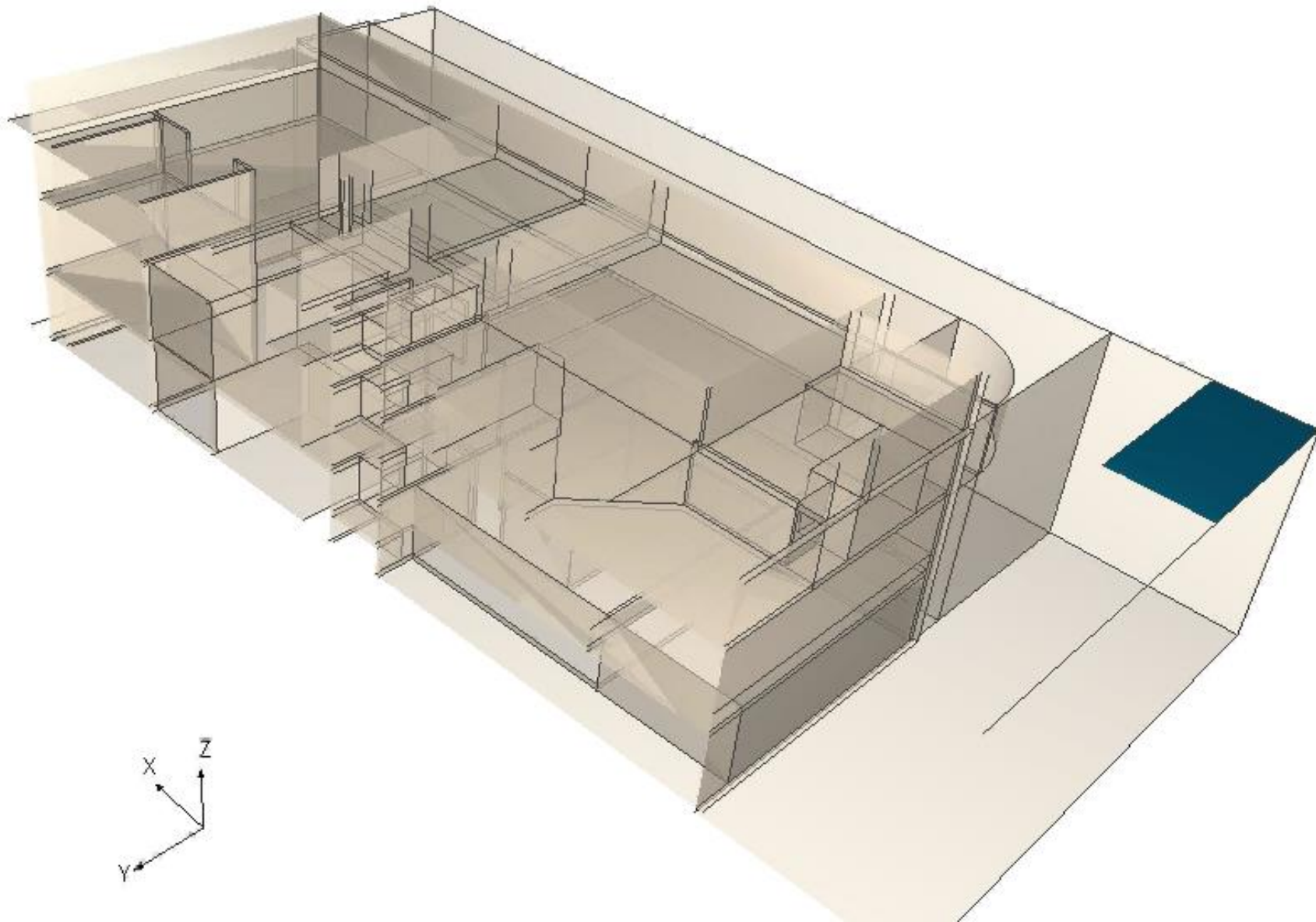
Новые направления: районирование городов и поселков



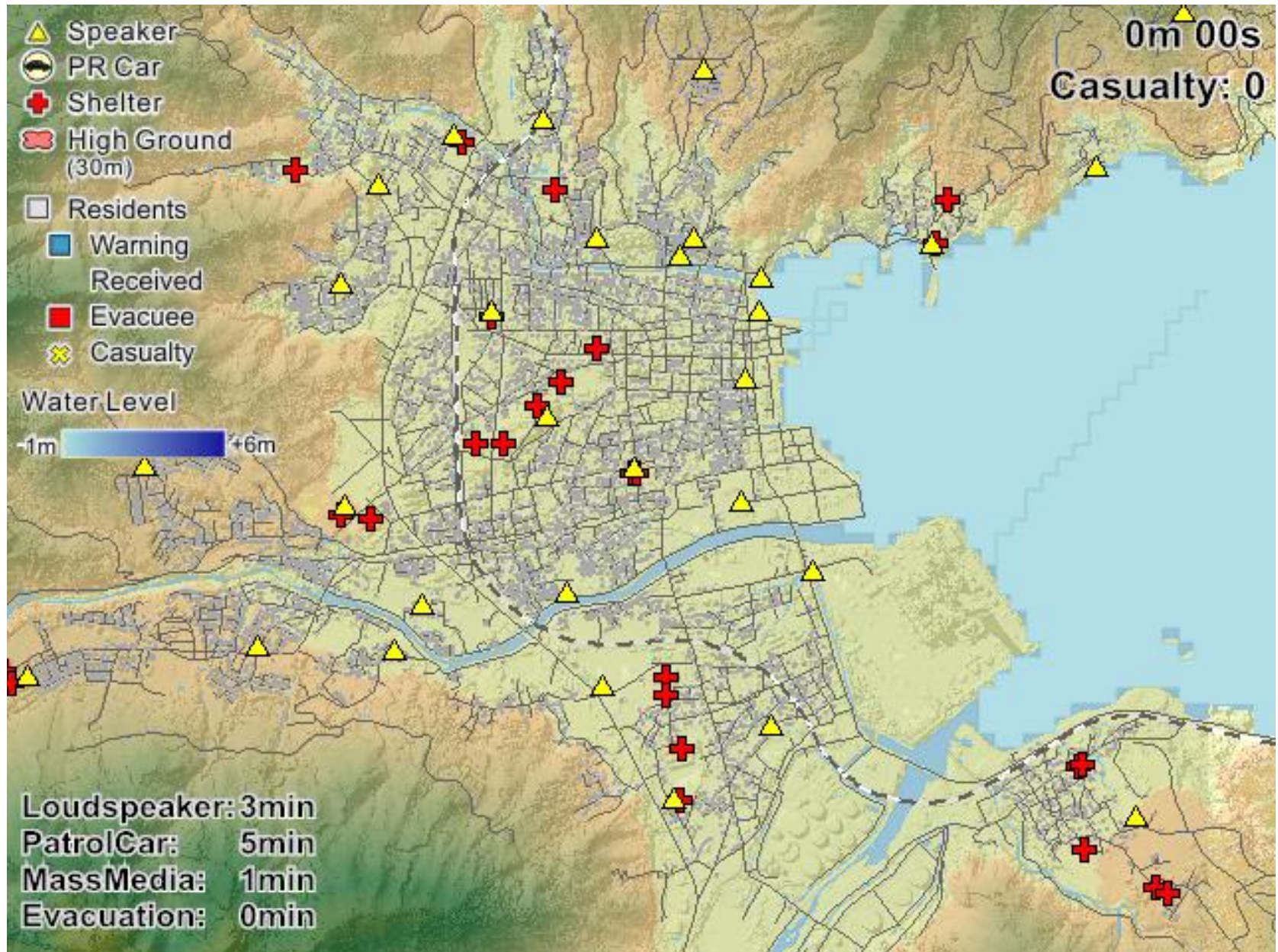
Сколько времени надо покинуть подземный гараж?

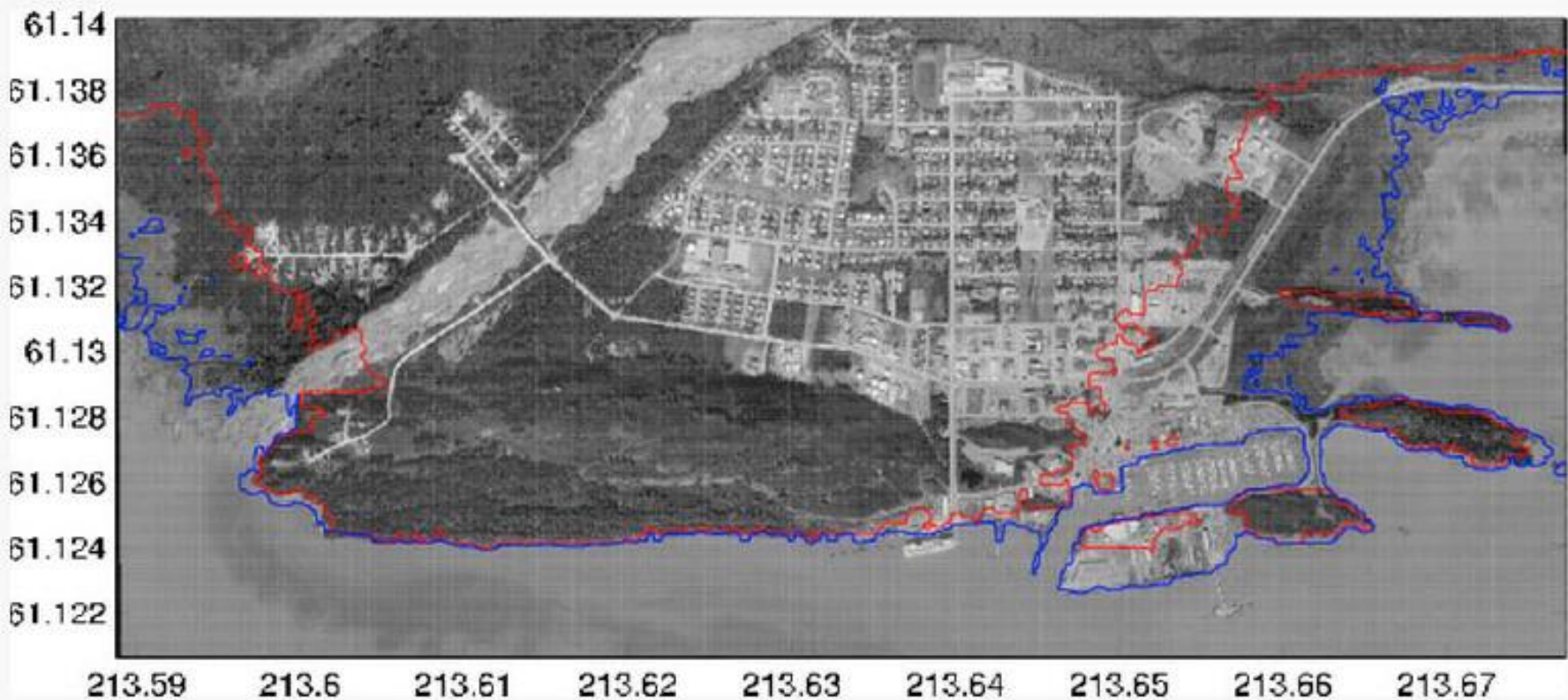
Time : 0,000000

Case1 DS



Evacuation





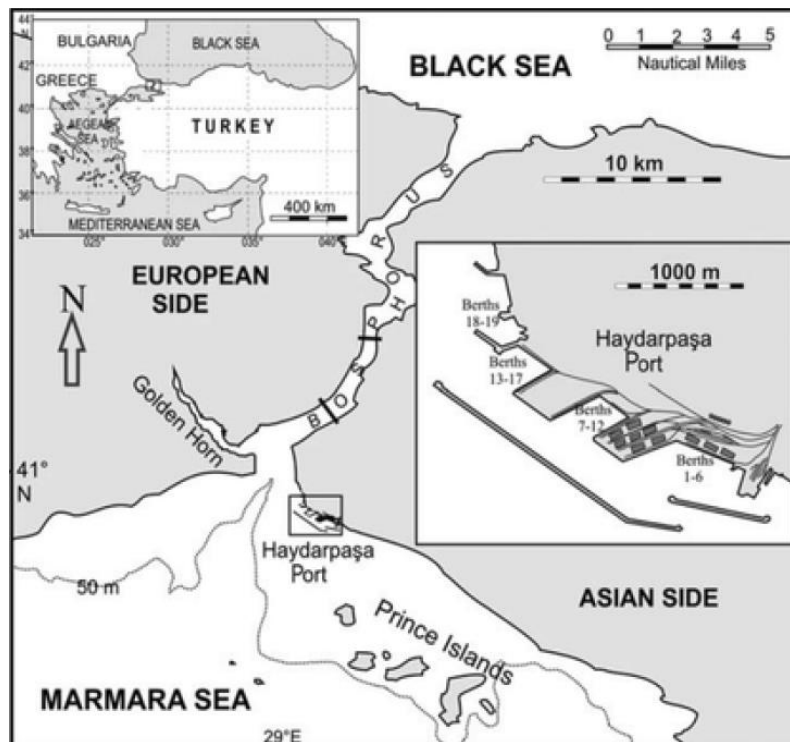
- **Yellow line** - Observed inundation after the 1964 tsunami,
- **Red line** - Simulated inundation,
- **Blue line** - Simulated coastline.

Расчеты зоны заливания для Аляски

(Е. Трошина, до 1994 года в ННТУ)

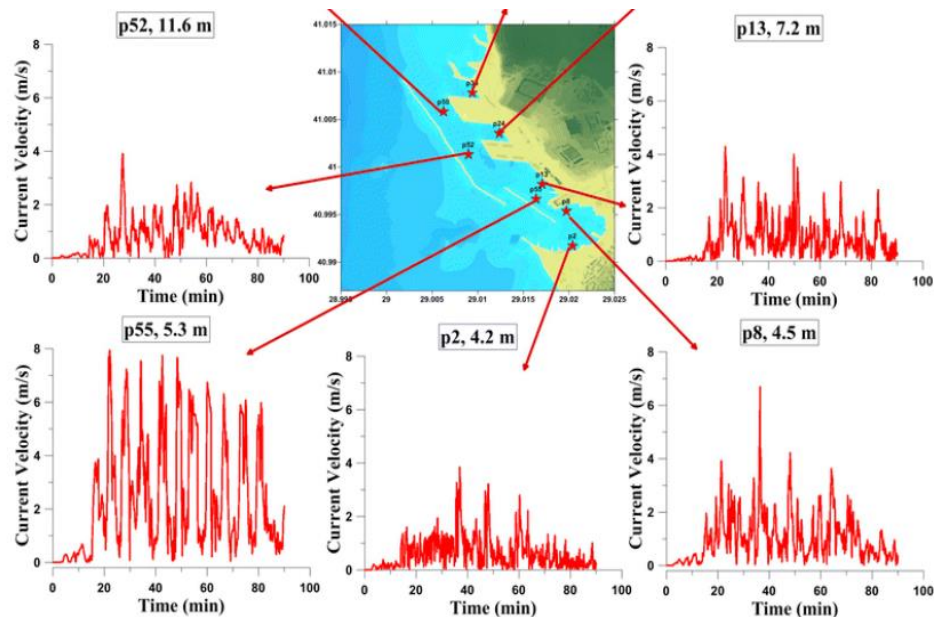
Для России еще не выполняется...

Порт Хайдарпаша, Турция (контейнерный порт)



Расчеты вплоть до шага 1 м

Волна приходит через 5 мин и становится максимальной к 20 мин

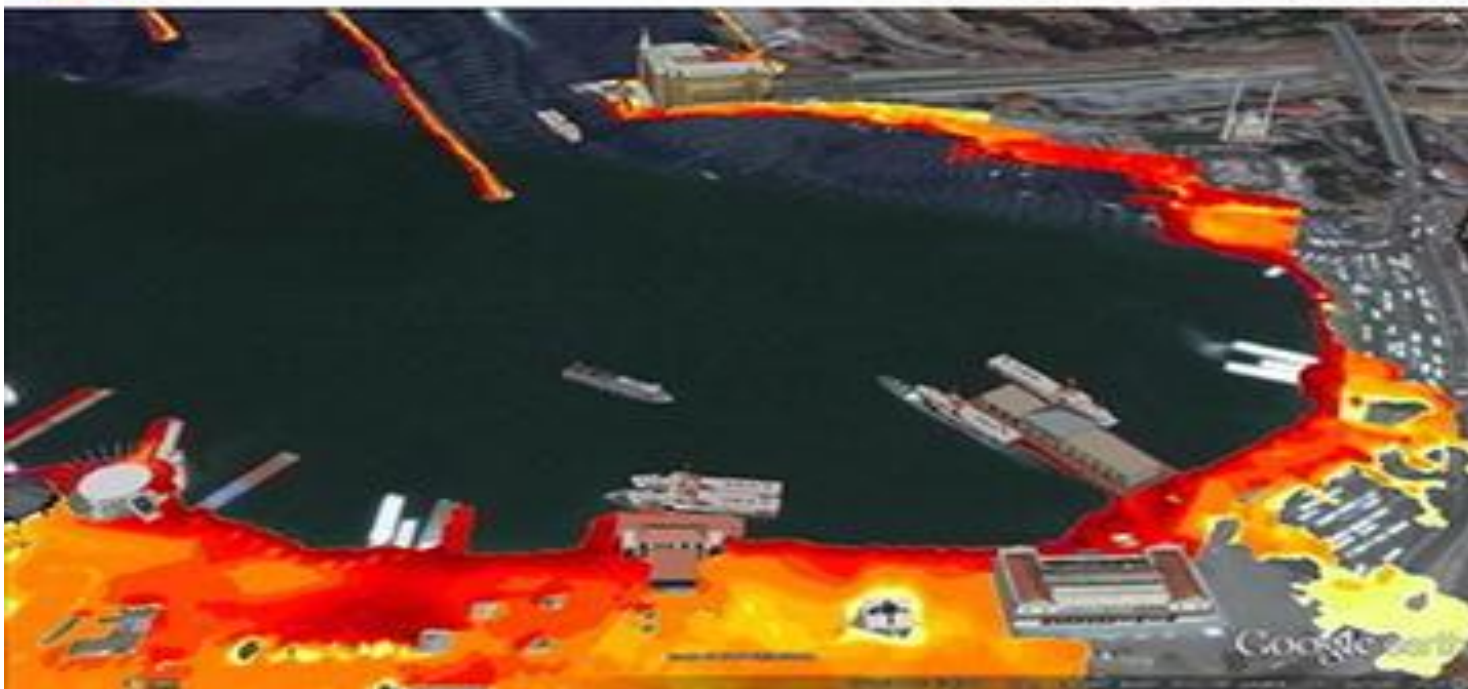


Вода стоит в порту более часа



Высота 5 м,

Дистанция
340 м



Уменьшение риска цунами:

1. Планы эвакуации

(в каждом доме и на телефоне)

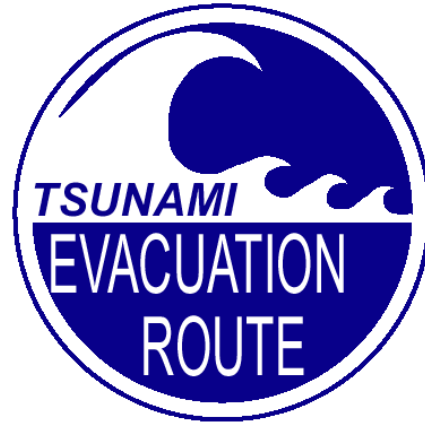
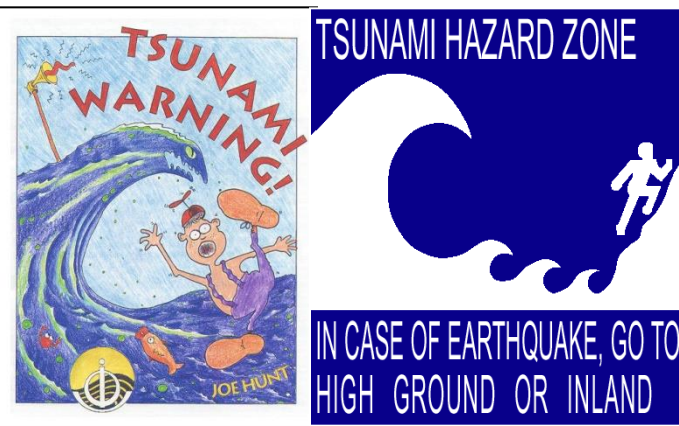
2. Образование (памятки, книги, игры)

3. Тренировки

4. НЗ (продукты, вещи)

5. Средства связи

(информация доводится до каждого на мобильный телефон)





DROP! **COVER!** **HOLD ON!**

Protect Yourself During Earthquakes



GO TO HIGH GROUND!
The Shaking is Your Warning



STAY THERE!
Waves May Arrive for Hours