

*Носов Михаил Александрович  
Большакова Анна Владимировна*

# *Физика цунами*

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

*Лекция №4*



*Носов Михаил Александрович  
Большакова Анна Владимировна*

# *Физика цунами*

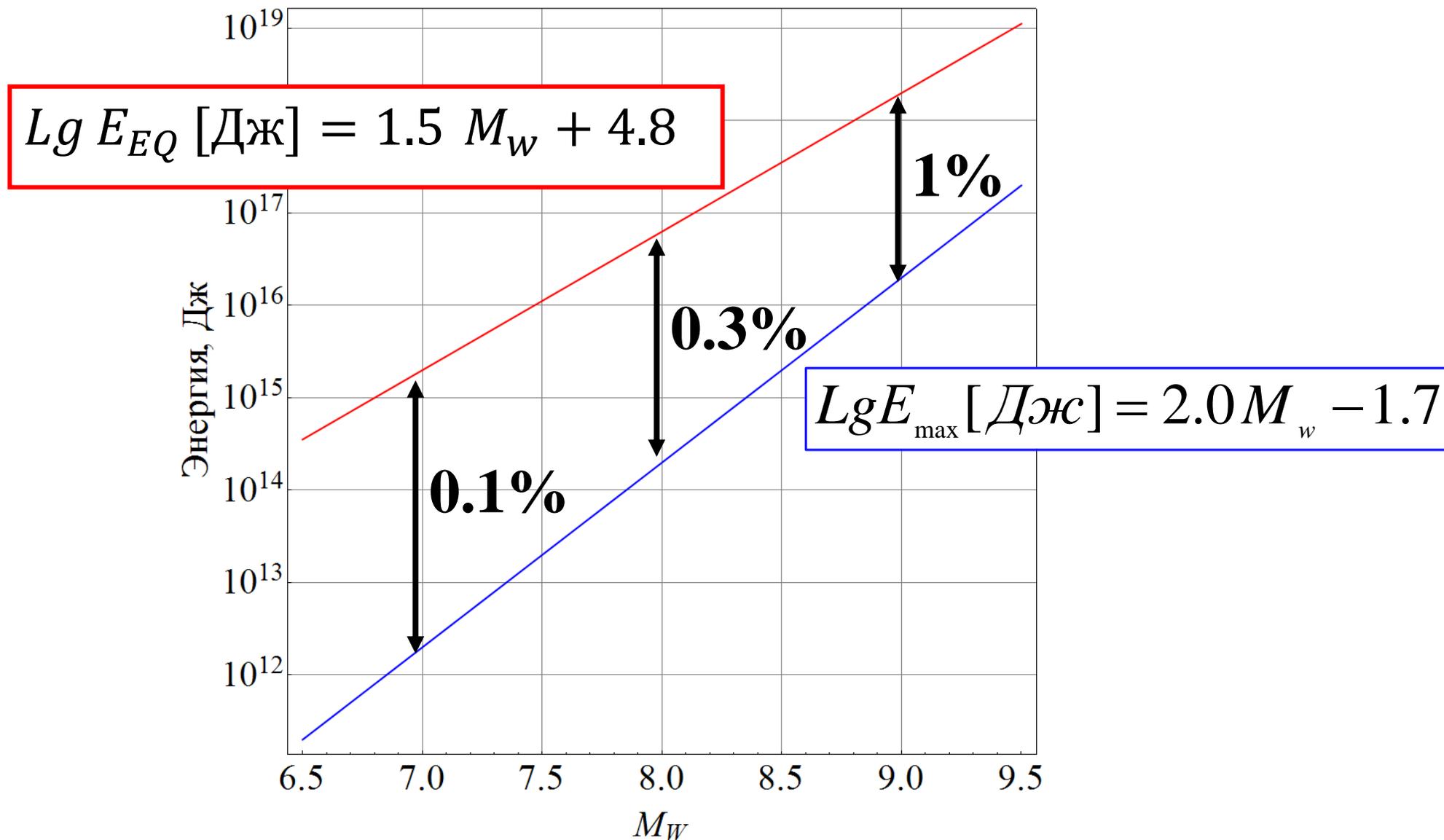
*Межфакультетский учебный курс*

*Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова*

**МОРЕТРЯСЕНИЯ**



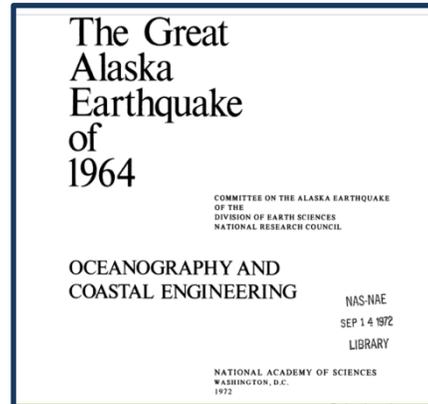
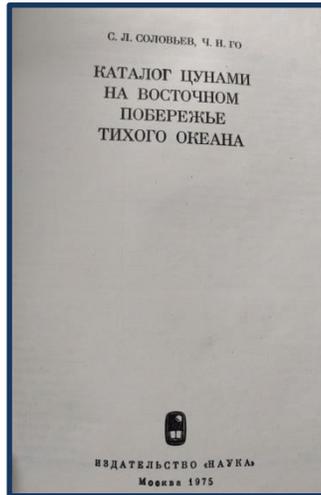
# Энергии землетрясения и цунами в зависимости от моментной магнитуды



# Основные эффекты, вызванные действием подводного сейсмоисточником

Наименование эффекта	Признаки проявления
Локальное кратковременное возмущение поверхности акватории (выброс).	Возникновение колонны, столба, купола, поднятия на невозмущенной ранее поверхности океана.
Возмущение обширной области поверхности акватории (формирование волновых структур).	Появление необычных поразительных волн, струй и водоворотов, волн типа биений, сулоя, толчеи, зыби или сейш на всей видимой с корабля поверхности океана.
Гидродинамический конвекционный поток.	Формирование необычных течений и больших одиночных волн на спокойной поверхности океана.
Нелинейно-акустическое воздействие.	Низкочастотный гул и грохот, вибрация воды и корабельного такелажа, перемещение предметов и людей, разрушение палубных настроек.
Кавитационные эффекты.	Возникновение насыщенного пузырьками приповерхностного слоя (кавитационного) воды в районе действия источника.
Биоакустические эффекты.	Появление огромного количества мертвой рыбы, морских птиц и черепах, депрессивное воздействие на человека.
Оптические эффекты.	Изменение цветности морской воды в зоне действия источника, появление световых колонн и полос в воздухе над этой зоной.

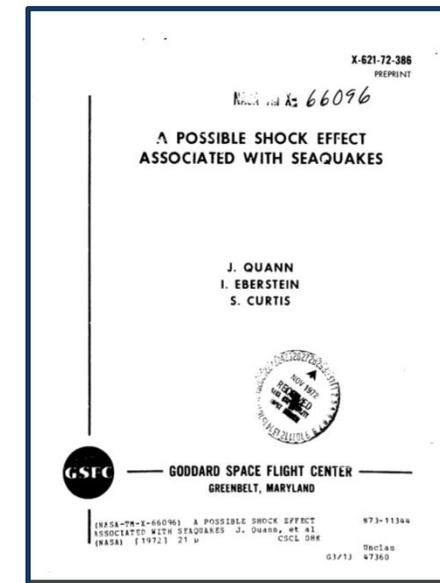
# Источники информации



## Ships Report Seaquakes

by Capt. David Williams

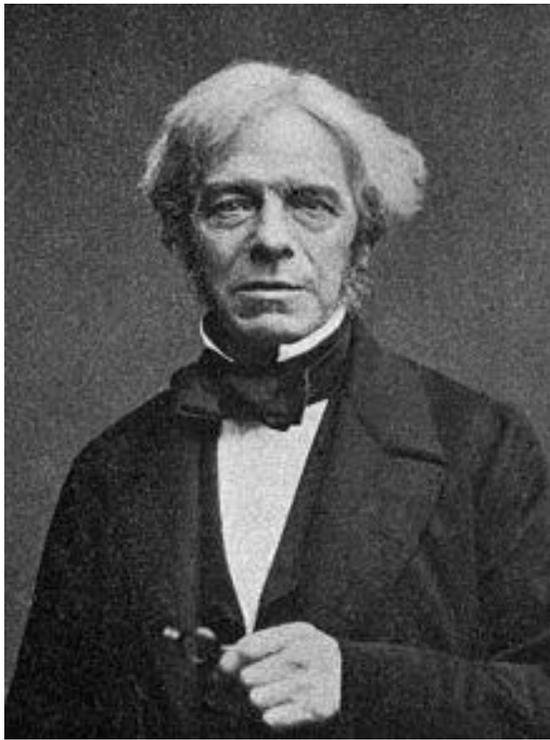
Thousands of ships report seaquakes from 1900 to 2015. Below you will find the highlights of eyewitness reports of ship/seaquake encounters. The main purpose of this historical gathering is to prove that seaquakes generate powerful disturbances in ambient water pressure that could indeed cause a pressure-related injury in the cranial air spaces of diving whales, sea turtles, polar bears, seals, walrus, dugongs, and human divers. Seaquakes have also killed great schools of fish with swim bladders throughout history.



*“Зеркально ровная поверхность моря при полном безветрии внезапно покрылась буграми. Эти, подобные волнам, водяные бугры никуда не бежали, но и не стояли на месте. Они стремительно нарастали до высоты примерно 8 м и потом опадали, образуя глубокую воронку на месте недавнего бугра... Все пассажиры и команда высыпали на палубу. Яркое солнце и полный штиль усиливали напряжение этого ужасающего зрелища взбесившегося моря. Прошло меньше минуты, а уже не было сил сопротивляться этой чудовищной скачке... откуда-то из глубины возник низкий рёвоподобный гул, подавляющий волю и разум. Люди стали метаться по судну, охваченные паническим страхом. Многие пассажиры и даже матросы, не выдержав этой пытки и, видимо, потеряв рассудок, стали выпрыгивать за борт.”*

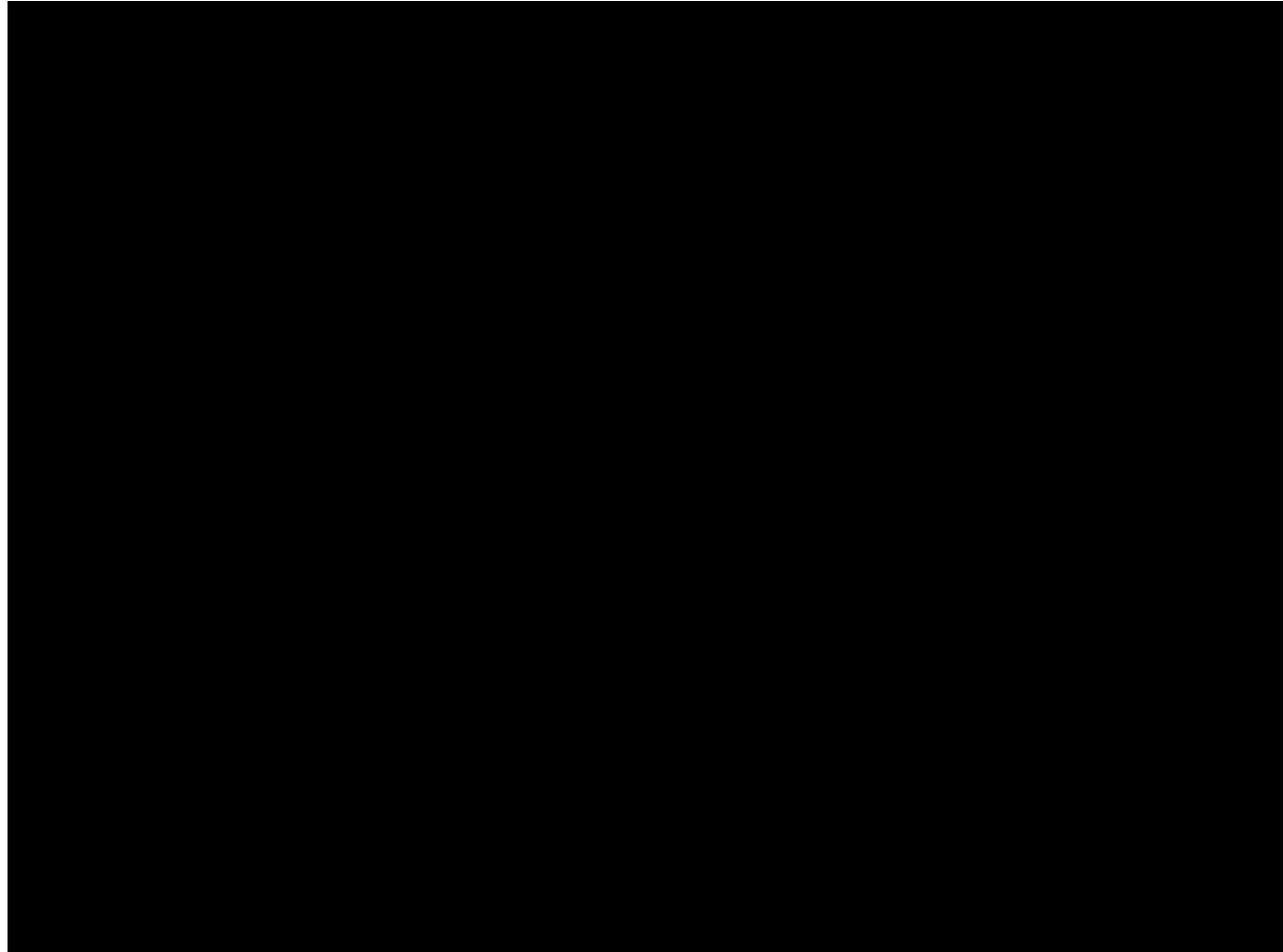
## Средние характеристики сейсмического источника и параметры движения водного слоя

Наименование характеристики	Ед.изм.	Подводное землетрясение
Энергия землетрясения	Дж	$10^{13} - 10^{17}$
Длительность динамического действия источника	с	$10^1 - 10^2$
Характерный линейный размер источника	км	$>10^2$
Амплитуда возмущающего движения дна	м	$10^{-4} - 10^0$
Ускорение дна	м/с <sup>2</sup>	$10^0 - 10^1$
Характерные частоты колебаний дна	с <sup>-1</sup>	$10^0 - 10^2$
Амплитуда возникающей волны сжатия в водном слое	МПа	1-2
Скорость конвекционного (гидродинамического) потока в воде	м/с	~1
Характерный линейный размер поверхностного возмущения	км	$>10^2$
Размер зоны осязаемости события	км	$10^3$
Высота одиночного выброса	м	$10^1 - 10^2$
Высота поверхностных волновых структур	м	~10
Частоты колебаний водной поверхности	с <sup>-1</sup>	10
Количество зафиксированных и описанных геособытий	-	600
Количество ощутимых событий на Земле за 1 год	-	2000



# Майкл Фарадей

22 сентября 1791 — 25 августа 1867



# Шкала интенсивности моретрясений

Интенсивность колебаний водной поверхности		Описание степени воздействия моретрясений на судах по А. Зибергу
балл моретрясения по А. Зибергу	интервалы массовых скоростей, см/с	
I	0,5	Дрожание, легкий треск палубы.
II	0,5-1,0	Отчетливый треск, сотрясение, как при легком царапании.
III	1-3	Сильный толчок, как при налете на мель, скалистое дно или риф. Громкий треск, колебание предметов.
IV	3-6	Судно трещит и раскачивается, неустойчивые предметы падают.
V	6-12	Люди не держатся на ногах, крупные предметы опрокидываются и выскакивают из подставок, судно теряет ход, постройки тяжело скрипят.
VI	12	Судно может быть выброшено из воды, ломаются мачты и палубные постройки, аварийная ситуация.

# Верификация данных

The screenshot shows the USGS Earthquake Hazards Program website. At the top left is the USGS logo with the tagline "science for a changing world". Below it is the "Earthquake Hazards Program" header. The main content area is titled "Search Earthquake Catalog". On the left is a navigation sidebar with links for "Earthquakes", "Hazards", "Data & Products", "Learn", "Monitoring", and "Research". The "Earthquakes" link is highlighted. Below the sidebar is a search input field with the placeholder "Search..." and a "Search" button. The main content area has a sub-header "Search Earthquake Catalog" and a note: "Search results are limited to 20,000 events. To get URL for a search, click the search button, then copy the URL from the browser address bar." Below this are four links: "Help", "ANSS Comprehensive Earthquake Catalog (ComCat) Documentation", "Developer's Corner - bulk access to catalog, tools for obtaining specific products", and "Significant Earthquakes Archive". The "Basic Options" section is divided into two columns. The "Magnitude" column has three radio buttons: "2.5+" (selected), "4.5+", and "Custom". Below these are input fields for "Minimum" (containing "2.5") and "Maximum". The "Date & Time" column has three radio buttons: "Past 7 Days" (selected), "Past 30 Days", and "Custom". Below these are input fields for "Start (UTC)" (containing "2019-04-12 00:00:00") and "End (UTC)" (containing "2019-04-19 23:59:59"). At the bottom of the "Basic Options" section are two expandable sections: "+ Advanced Options" and "+ Output Options". Below these is another "Search" button. At the very bottom of the page is a small footnote: "†Conterminous U.S. refers to a rectangular region including the lower 48 states and surrounding areas which are outside the Conterminous U.S."

# Пример описания моретрясения

*Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на восточном побережье Тихого океана. Издательство «Наука», 1975*

11.9.1921 о. Ява

В пункте  $8^{\circ}41'$  ю.ш.  $112^{\circ}$  в.д. ощущалось моретрясение.

Сотрясения длились по разным оценкам от 1 мин до 4 мин

# Пример описания моретрясения

*Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на восточном побережье Тихого океана. Издательство «Наука», 1975*

11.9.1921 о. Ява

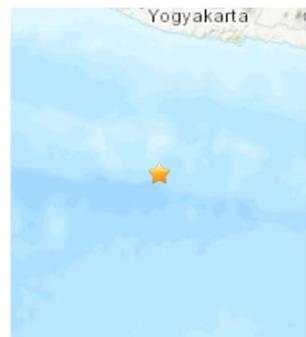
В пункте 8°41' ю.ш. 112° в.д. ощущалось моретрясение.  
Сотрясения длились по разным оценкам от 1 мин до 4 мин

## USGS

### M 7.6 – south of Java, Indonesia

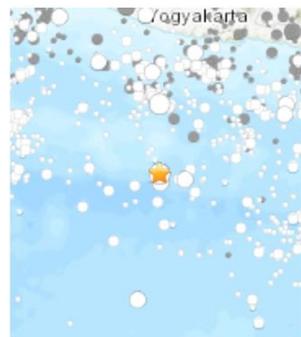
1921-09-11 04:01:44 (UTC) | 10.080°S 110.623°E | 15.0 km depth

[Interactive Map](#)



Contributed by US<sup>1</sup> ISCGEM

[Regional Information](#)



Contributed by US<sup>1</sup> ISCGEM

# Пример описания моретрясения



7.2.1928 Индийский океан, Кокосовые острова

Подводное землетрясение, испытало судно Мooltan на своем пути во Фримантл приблизительно в 5:30 утра по местному времени. Подводное землетрясение произошло в 700 милях к северо-западу от Кокосовых островов

# Пример описания моретрясения



7.2.1928 Индийский океан, Кокосовые острова

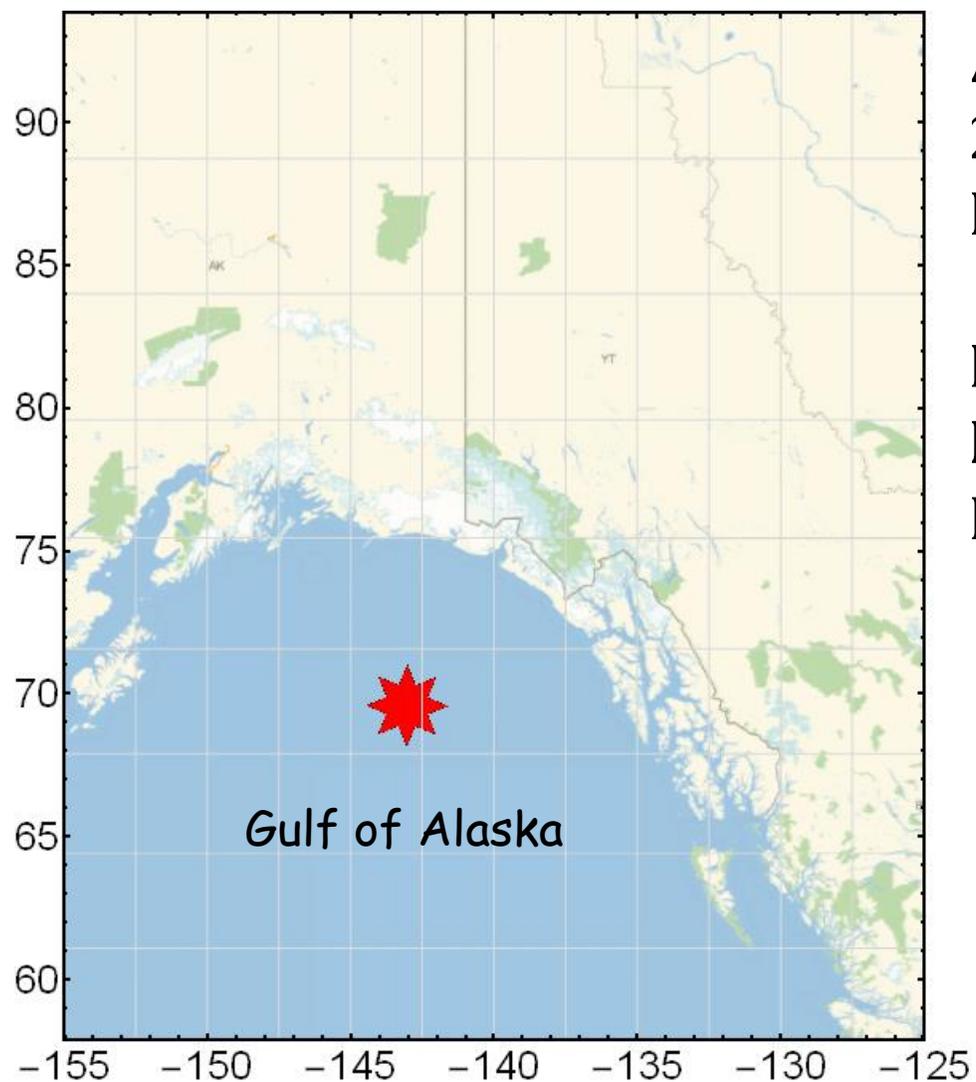
Подводное землетрясение, испытало судно Mooltan на своем пути во Фримантл приблизительно в 5:30 утра по местному времени. Подводное землетрясение произошло в 700 милях к северо-западу от Кокосовых островов

M 6.7 – South Indian Ocean

1928-02-07 00:01:42 (UTC) | 2.643°S 88.578°E | 15.0 km depth

USGS





Аляска, 06.03.1988

22:35:38 (UTC)

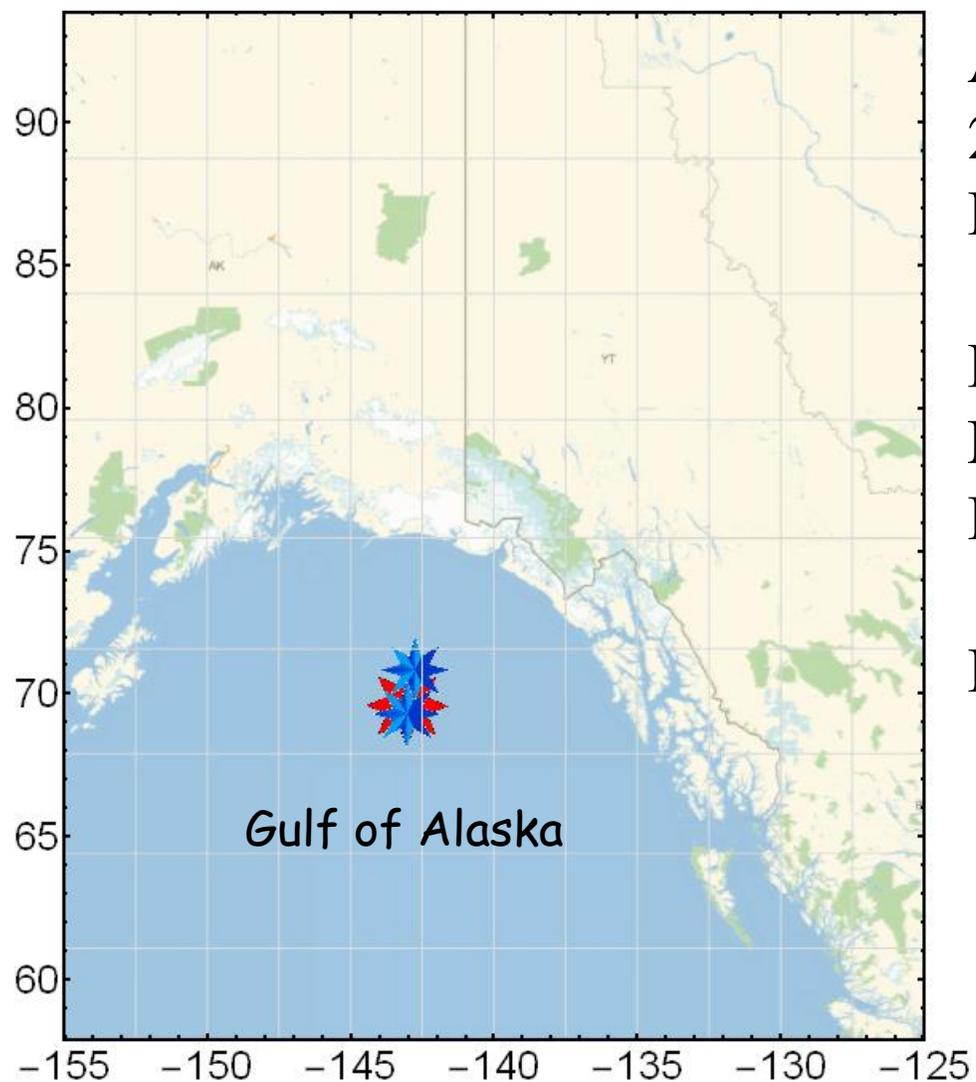
Координаты землетрясения

$56.953^{\circ}$ с.ш.  $143.032^{\circ}$ з.д.

Магнитуда землетрясения

$M_w=7.8$

Глубина океана 3.5 км (NGDC)



Аляска, 06.03.1988

22:35:38 (UTC)

Координаты землетрясения

$56.953^{\circ}$  с.ш.  $143.032^{\circ}$  з.д.

Магнитуда землетрясения

$M_w=7.8$

Глубина океана 3.5 км (NGDC)

Координаты моретрясения

$57,63^{\circ}$  с.ш.  $142,75^{\circ}$  з.д.

$56,95^{\circ}$  с.ш.  $143,03^{\circ}$  з.д.



Португалия,

28.2.1969

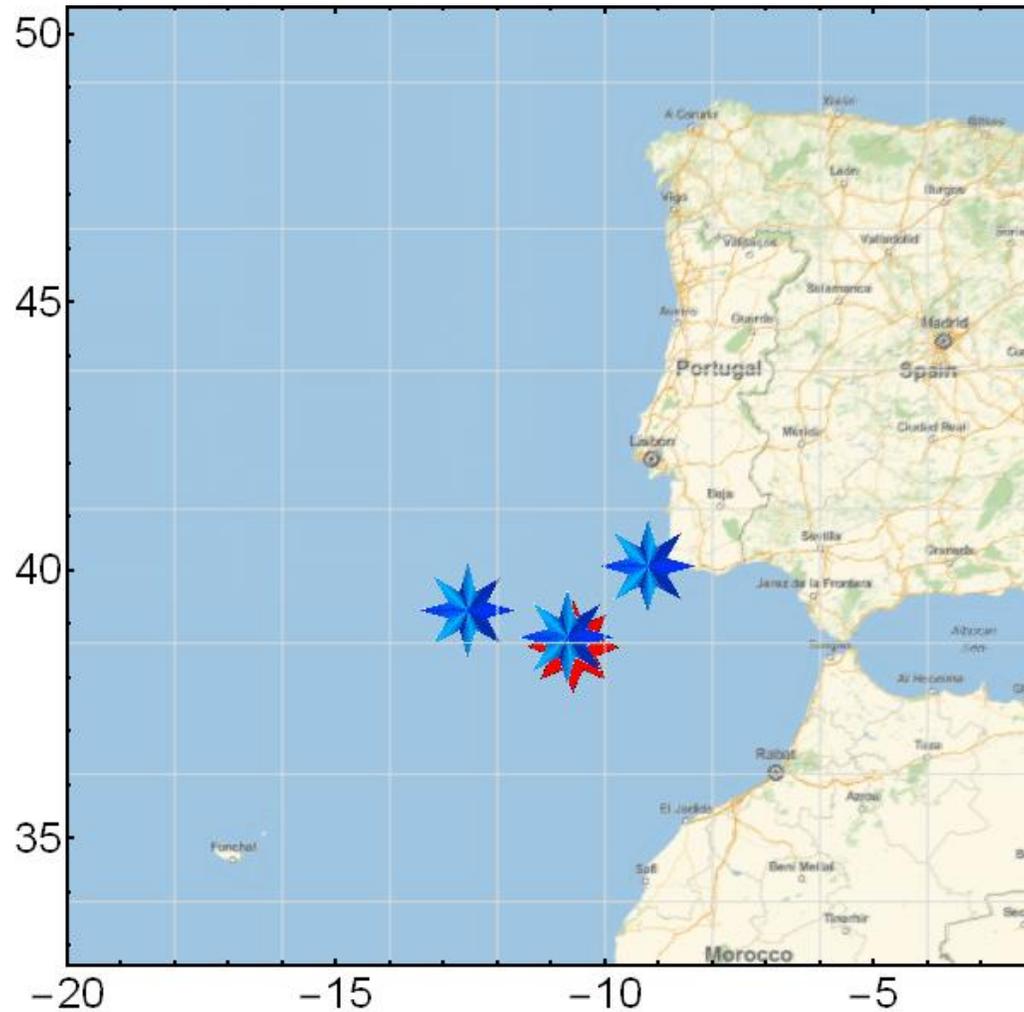
Магнитуда землетрясения

$M_w=7.8$

Координаты землетрясения

$36.033^\circ$ с.ш.  $10.613^\circ$ з.д.

Глубина океана 5км (NGDC)



Португалия,  
28.2.1969

Магнитуда землетрясения  
 $M_w=7.8$

Координаты землетрясения  
 $36.033^\circ$ с.ш.,  $10.613^\circ$ з.д.

Глубина океана 5км (NGDC)

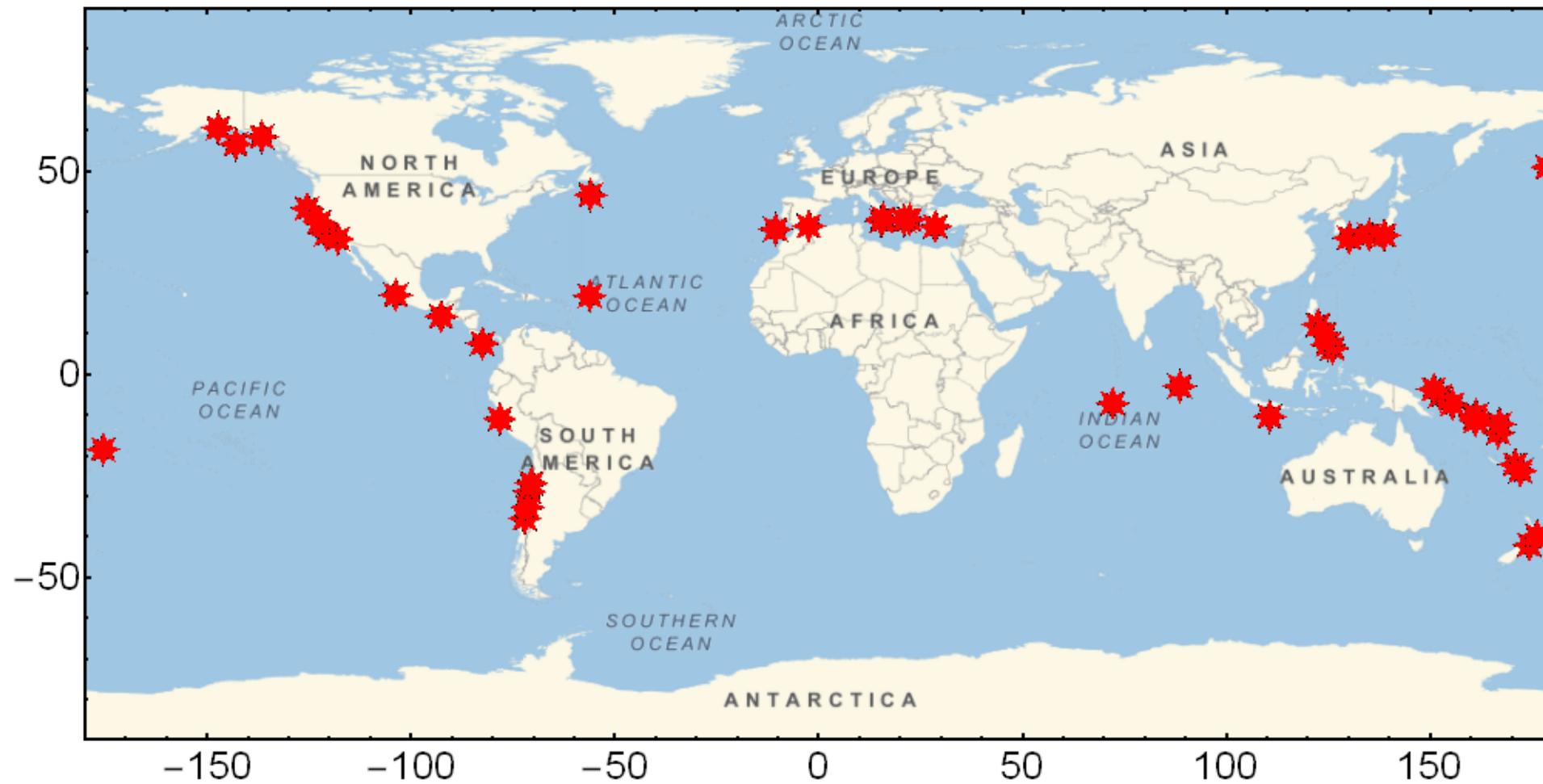
Координаты моретрясения

$37,18^\circ$ с.ш.,  $9,20^\circ$ з.д

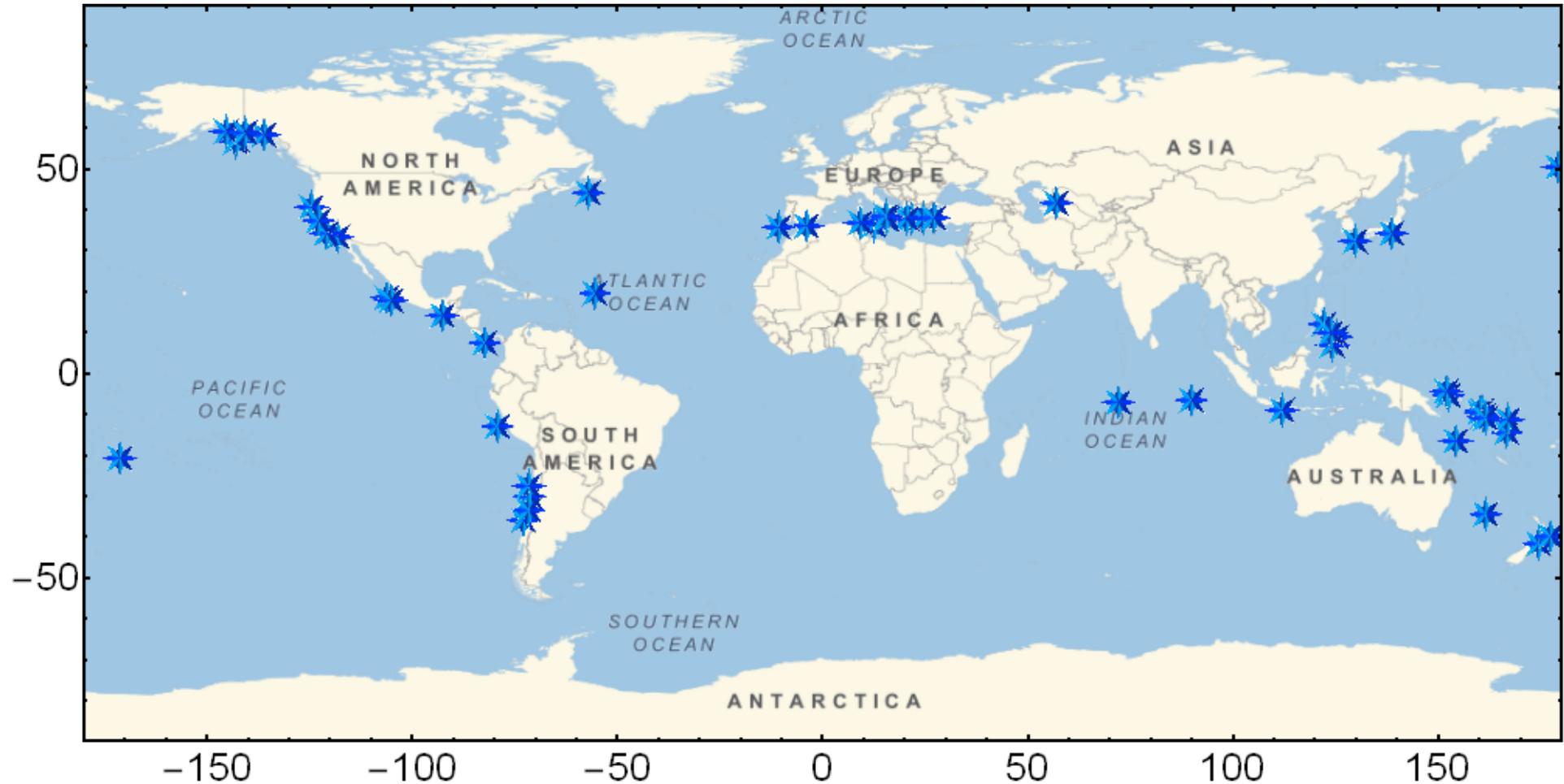
$36,12^\circ$ с.ш.,  $10,7^\circ$ з.д

$36,52^\circ$ с.ш.,  $12,55^\circ$ з.д

# Карта землетрясений



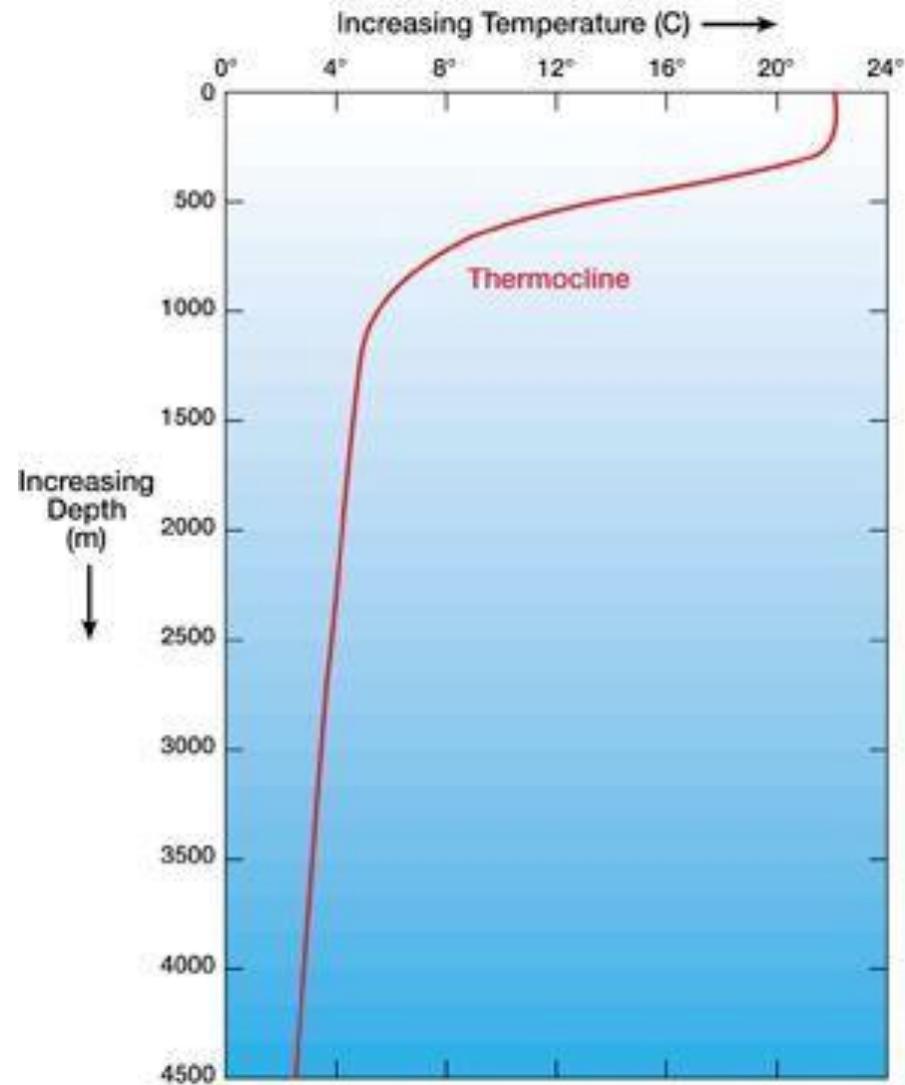
# Карта моретрясений



<http://ocean.phys.msu.ru/projects/maremoto/>

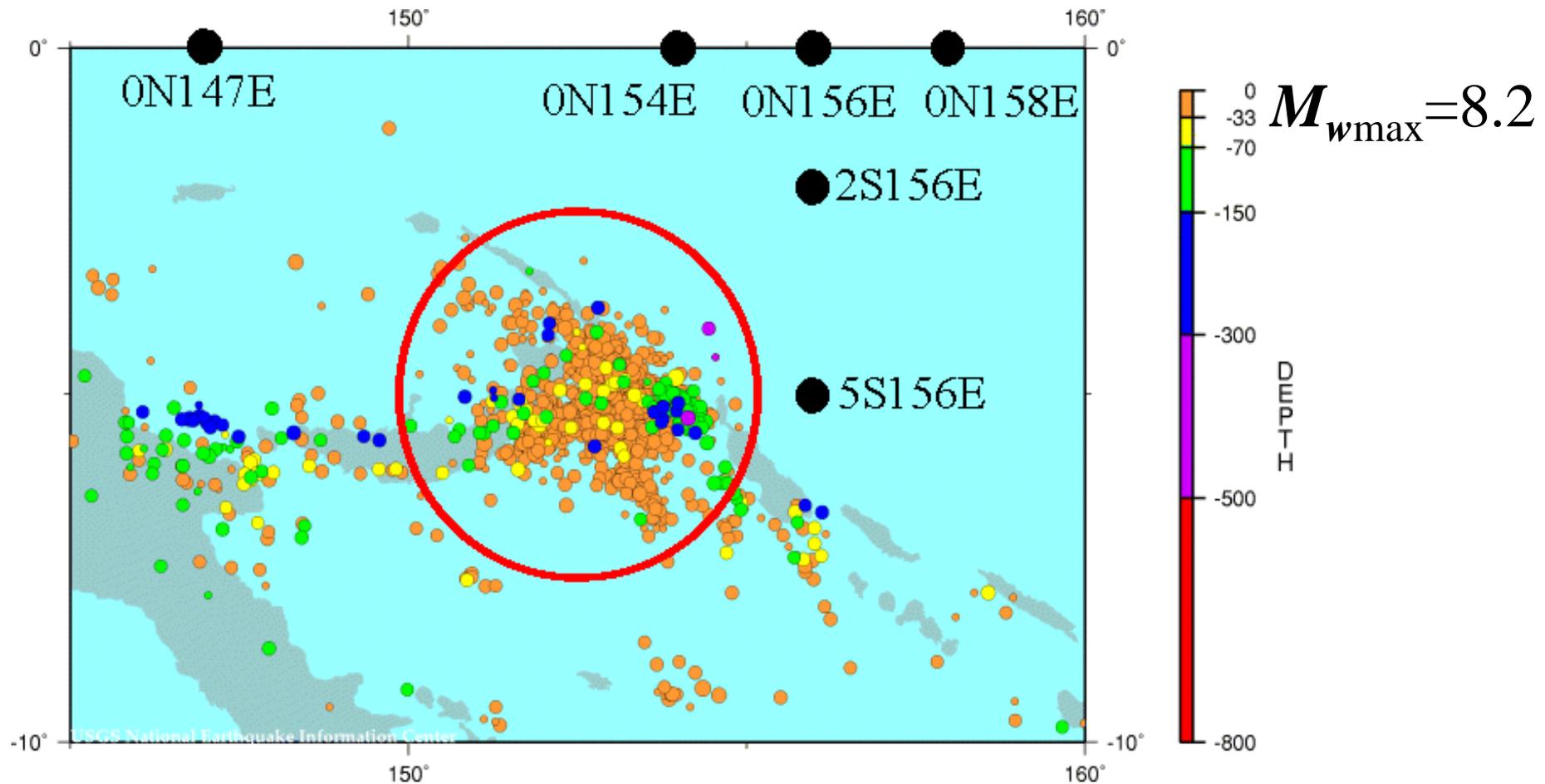
# **Влияние подводных землетрясений на вертикальный обмен в океане**

# Влияние подводных землетрясений на вертикальный обмен в океане



# Влияние подводных землетрясений на вертикальный обмен в океане

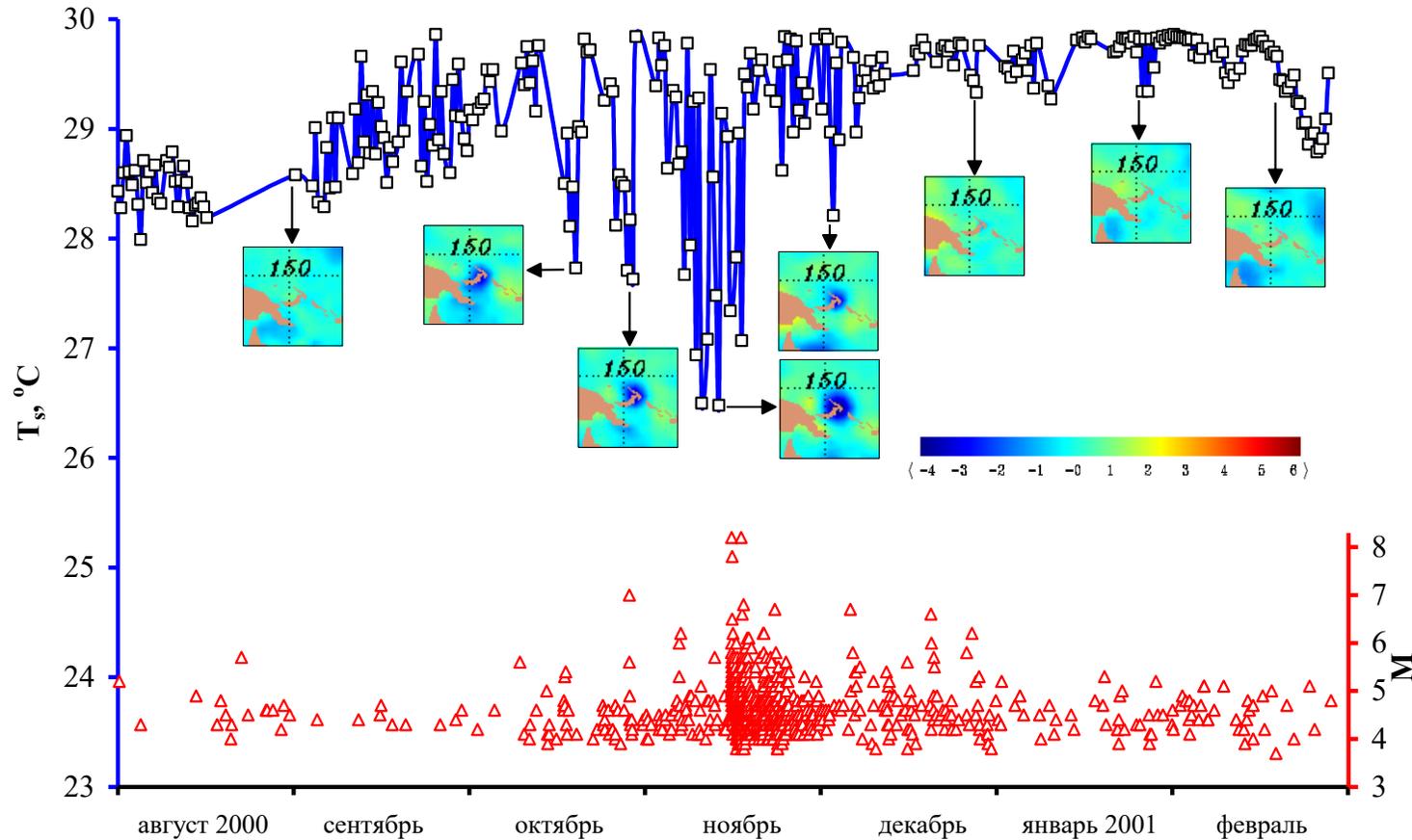
*Новая Британия, 2000 г*



*Эпицентры землетрясений у о. Новая Британия за период 01.08.2000 - 28.02.2001.*

# Влияние подводных землетрясений на вертикальный обмен в океане

*Новая Британия, 2000 г*

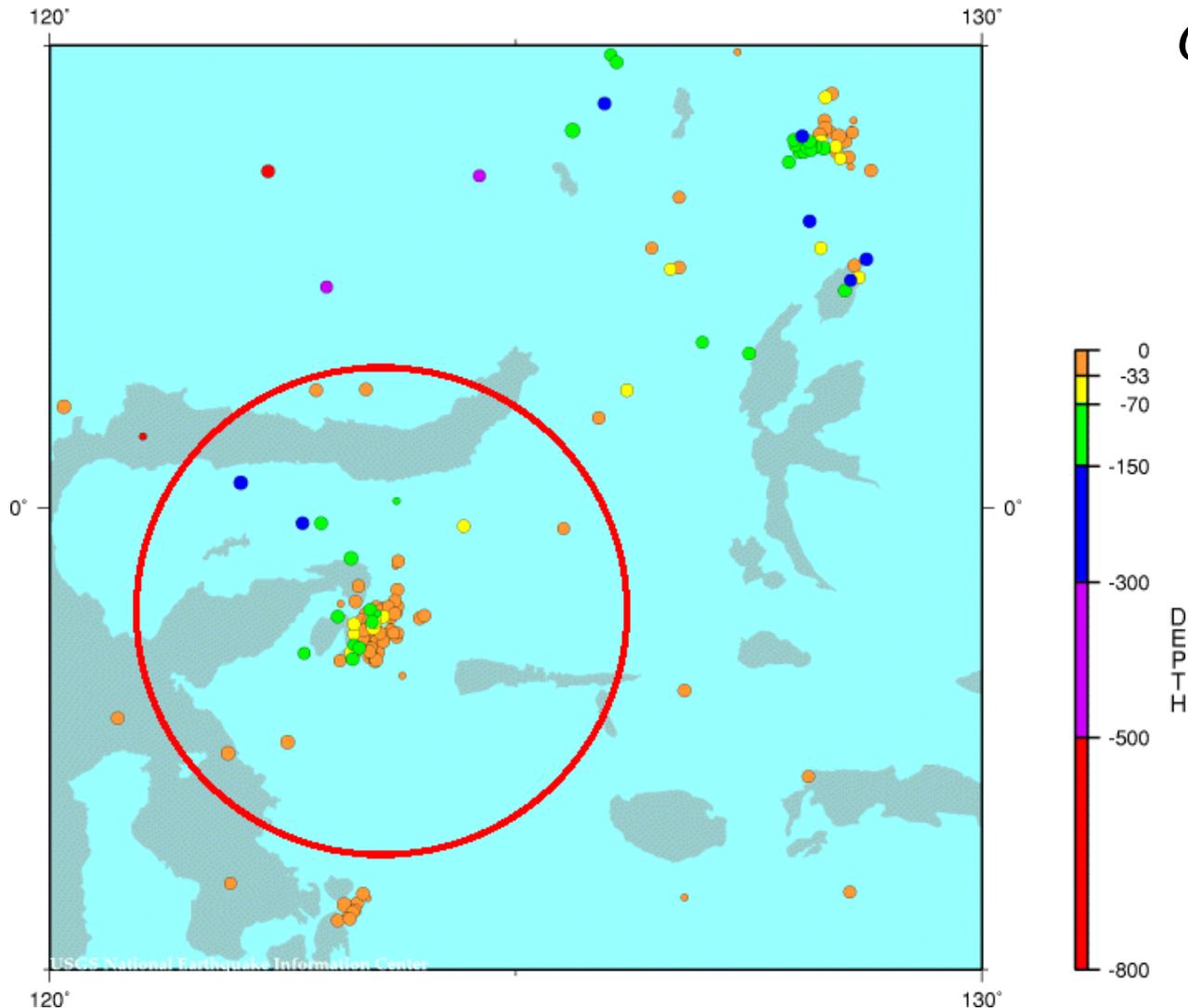


*Временной ход ТПО (средней по круговой области диаметром 770 км с центром в точке 5S, 153E), время и магнитуда сейсмических событий.*

# Влияние подводных землетрясений на вертикальный обмен в океане

*Сулавеси, 2000 г*

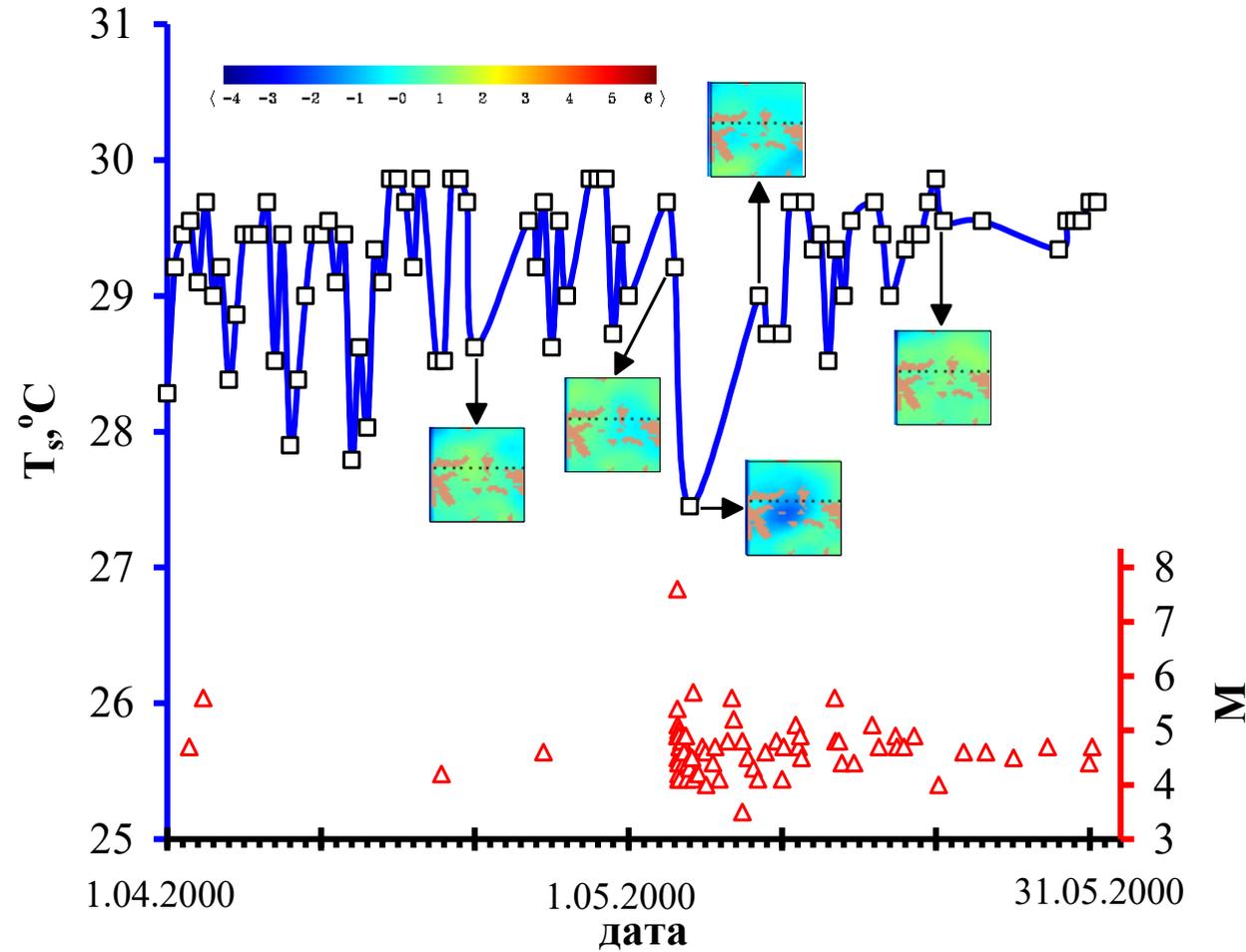
$$M_{w\max}=7.6$$



*Эпицентры землетрясений у о. Сулавеси за период 01.04 - 31.05.2000.*

# Влияние подводных землетрясений на вертикальный обмен в океане

Сулавеси, 2000 г

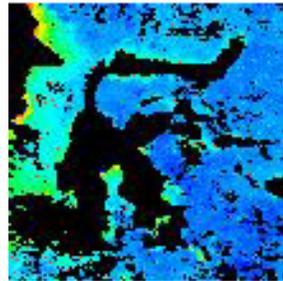


Временной ход ТПО в точке 1S 124E; время и магнитуда сейсмических событий

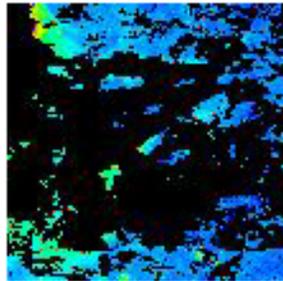
# Влияние подводных землетрясений на вертикальный обмен в океане

*Сулавеси, 2000 г*

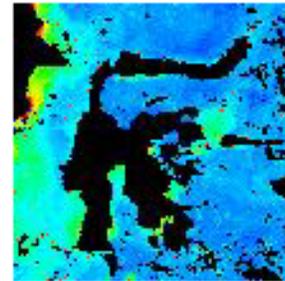
22.04-29.04



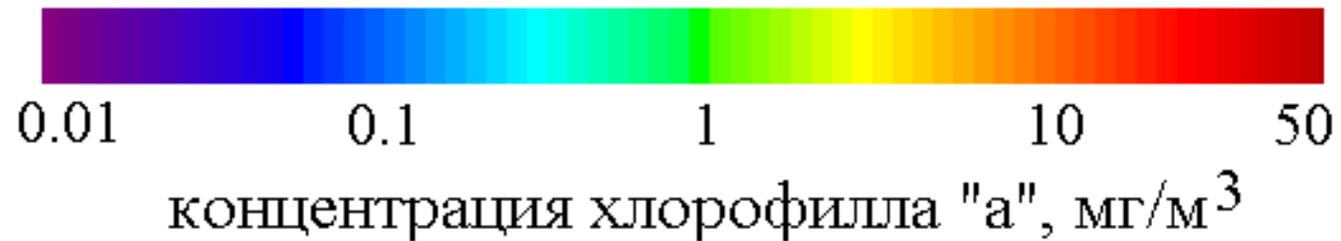
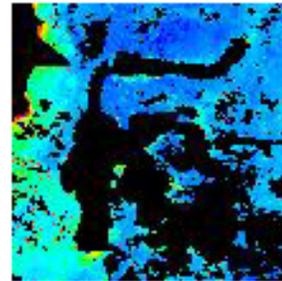
30.04-07.05



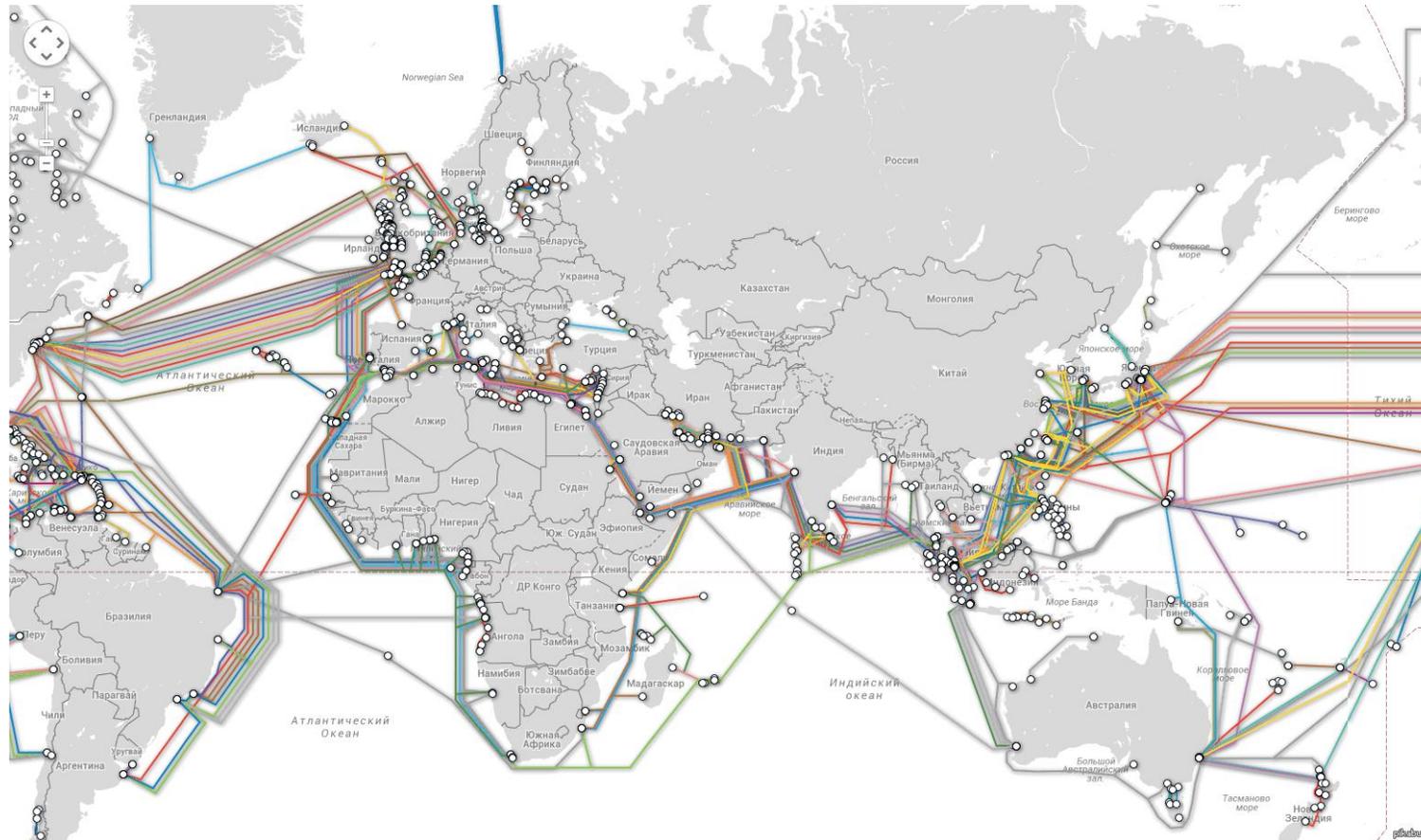
08.05-15.05



16.05-23.05



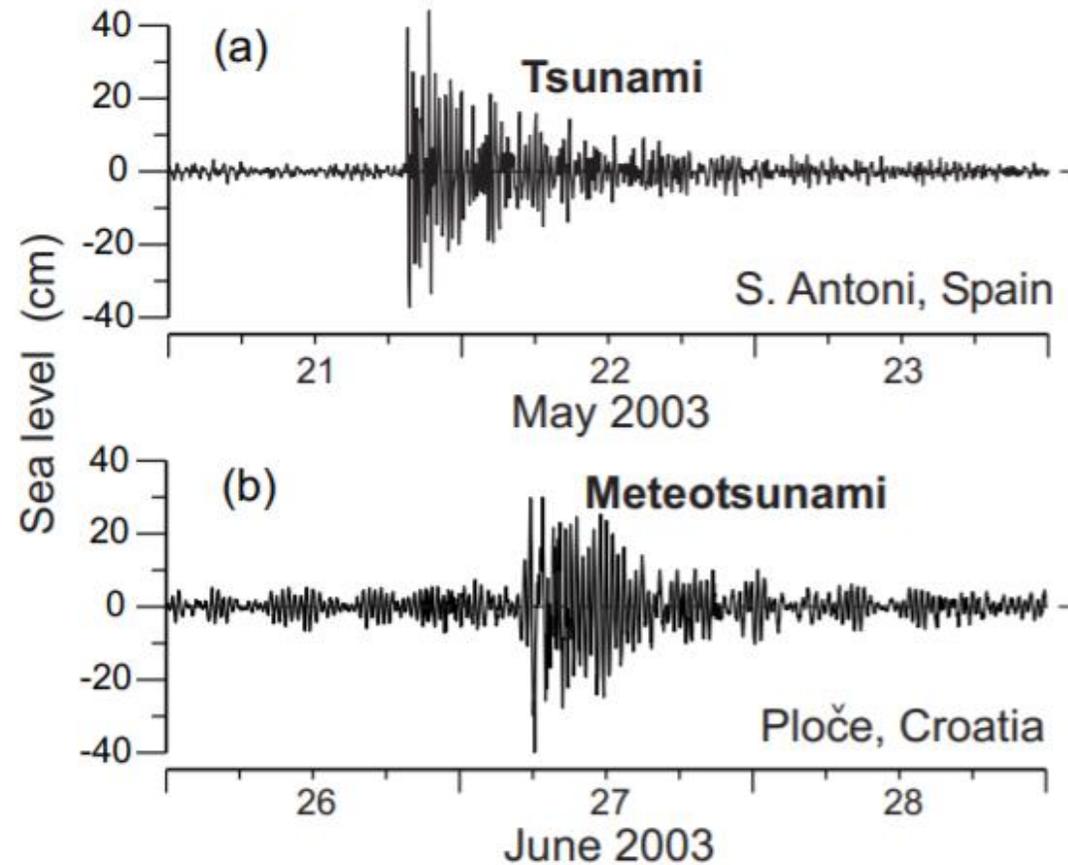
# Submarine Cable Map



# МЕТЕОЦУНАМИ

Метеорологические цунами (метеоцунами)— это длинные океанские волны, которые имеют те же пространственные и временные масштабы, что и обычные волны цунами, и могут оказывать на побережье аналогичное разрушительное воздействие. Но вызываются они не землетрясениями, извержениями вулканов или подводными оползнями, а атмосферными процессами: тайфунами, ураганами, линиями шквалов, прохождением фронтальных зон, атмосферными внутренними волнами или просто скачками атмосферного давления

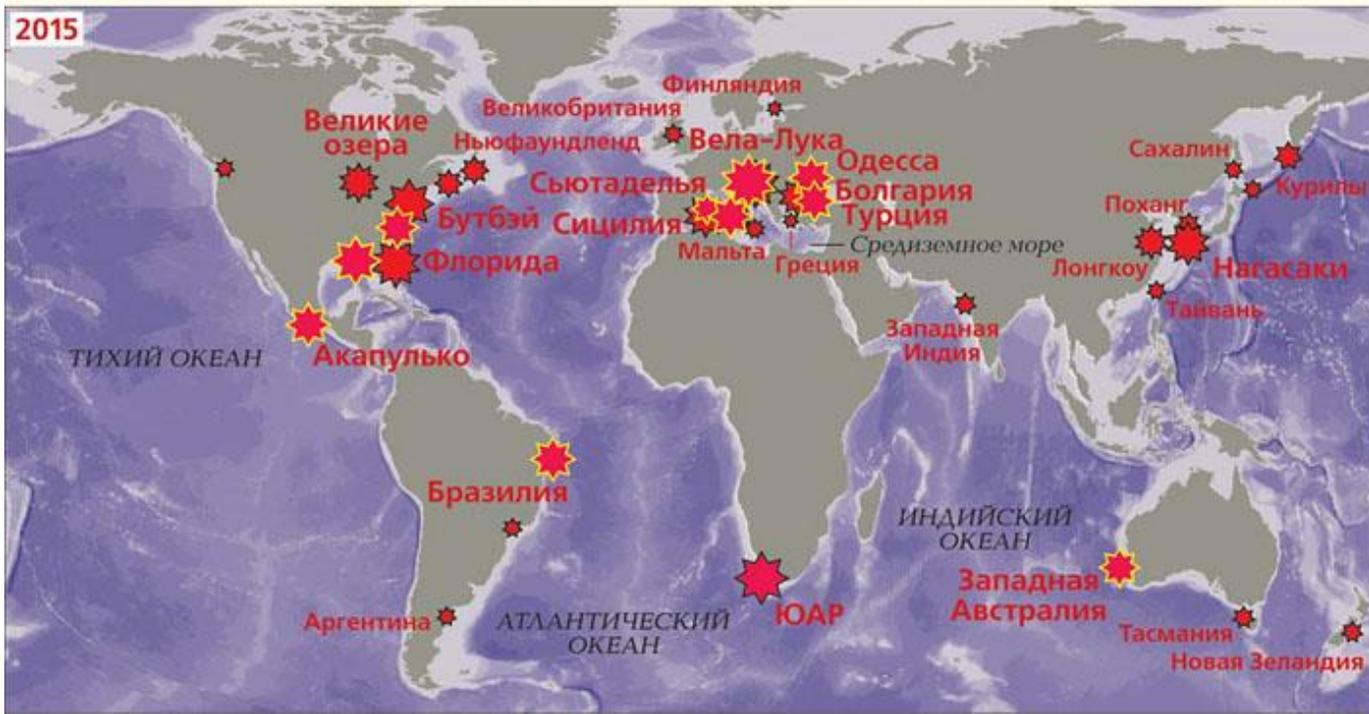
Упоминания о волнах цунами, вызываемых атмосферным давлением и ветром, можно найти в японских работах 30-х годов прошлого века, но первым, кто предложил термин «метеоцунами», был, видимо, выдающийся австрийский океанограф *Альберт Джозеф Мария Дефант*.



**Fig. 1.** (a) Tsunami oscillations recorded at Sant Antoni (Ibiza Island, Spain) after the Algerian earthquake of 21 May 2003; and (b) the meteotsunami recorded at Ploče Harbour (Croatia) on 27 June 2003. Both records have been high-pass filtered to eliminate oscillations with periods longer than 2 h.



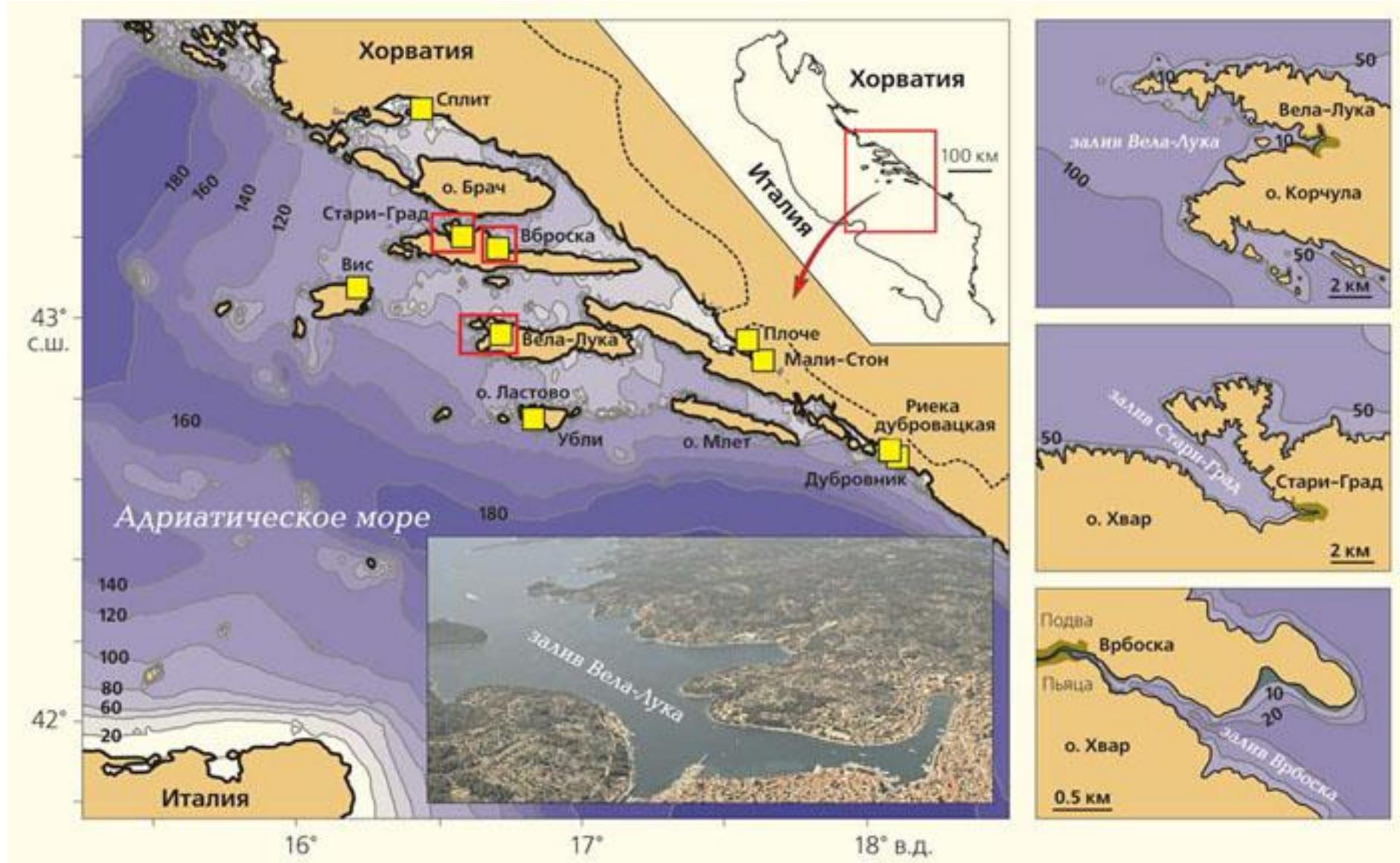
## Районы известных метеоцунами по данным 1995 г. и 2015 г.



Vilibić I, Šepić J, Rabinovich AB and Monserrat S (2016) Modern Approaches in Meteotsunami Research and Early Warning. *Front. Mar. Sci.* 3:57. doi: 10.3389/fmars.2016.00057



В тех районах, где метеоцунами наблюдаются достаточно часто, для них существуют местные названия. На Балеарских о-вах — *риссага*, на побережье Сицилии — *марруббио* (*марроббио*), в Японии — *абики*, в Хорватии - *сига*.



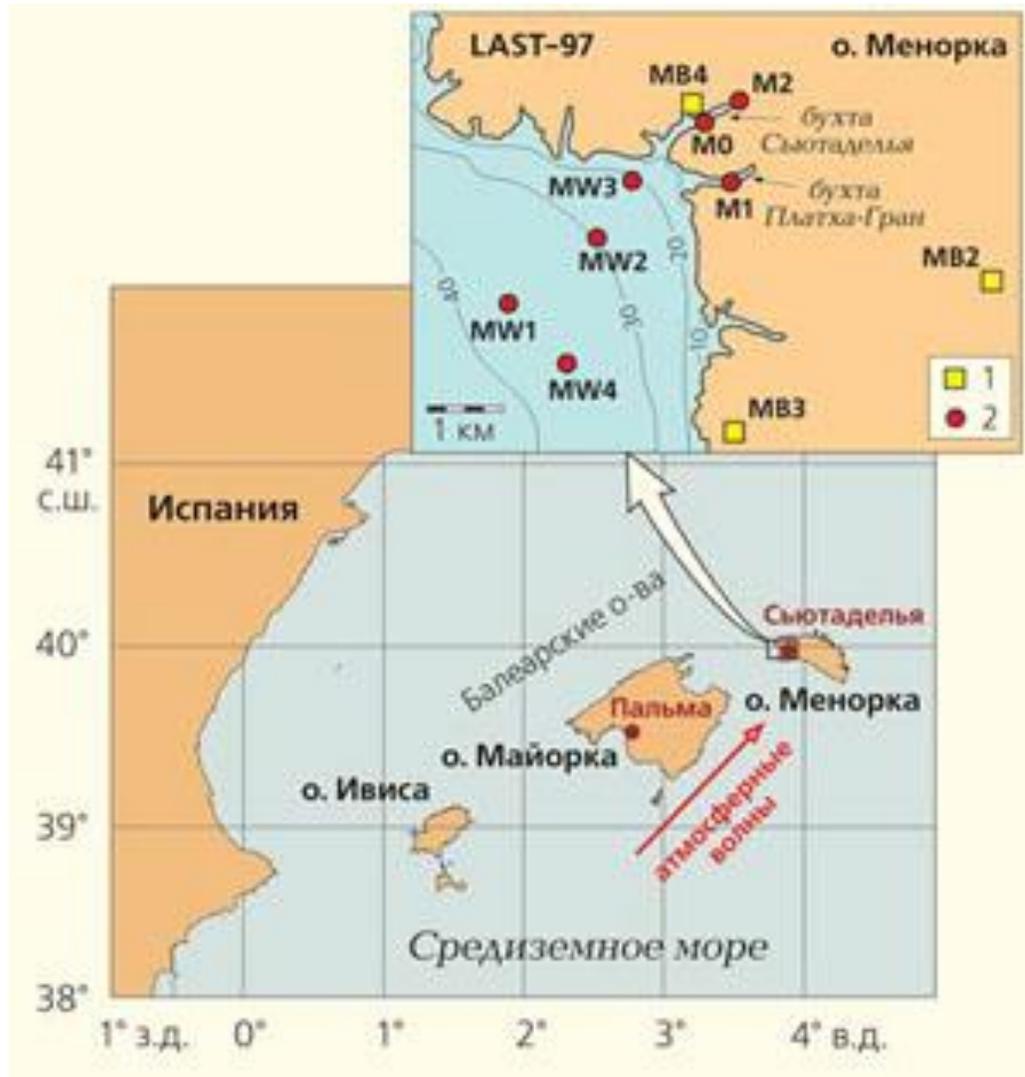
Карта Адриатического моря с побережьем Хорватии. Пункты, подверженные метеоцунами, показаны желтыми квадратиками. На врезках сверху вниз: залив Вела-Лука, о. Корчула; заливы Стари-Град и Врбоска, о. Хвар

# Наводнение в Вела-Луке 21 июня 1978 г.



Наводнение в Вела-Луке 21 июня 1978 г. *Слева* — во время полной воды, *справа* — в момент максимальной осушки. Разница во времени между двумя фазами события около 10 мин

# 15 июня 2006 г. о. Менорка



Характерный пример — разрушительное метеоцунами (риссага) 15 июня 2006 г. на о. Менорка (Балеарские о-ва).

Закон обратного барометра:  
 $\Delta P = 1$  гПа ( **гектопаскаль** )  
 $\Delta \xi \sim 1$  см.

# 15 июня 2006 г. о. Менорка



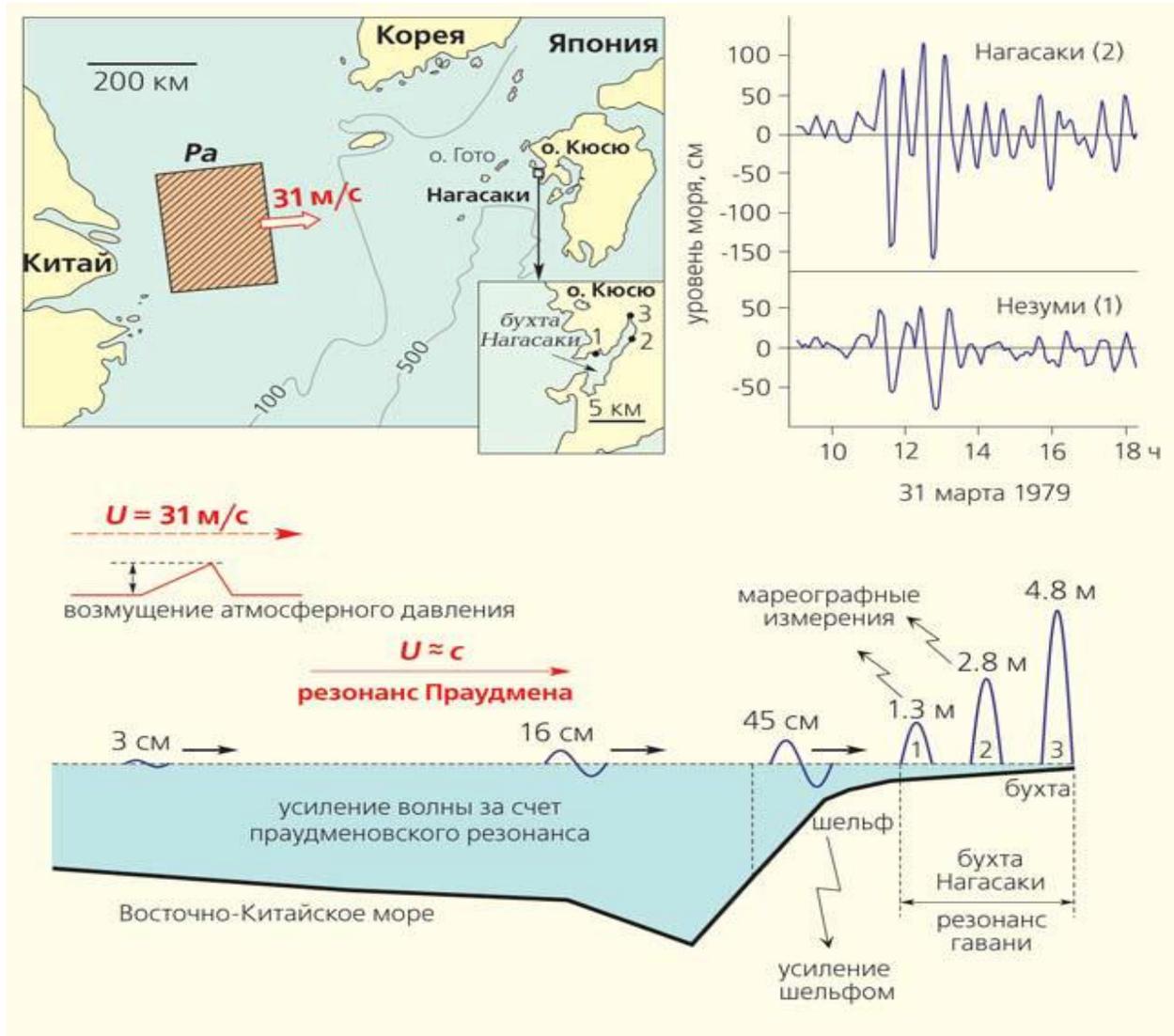
Характерный пример — разрушительное метеоцунами (риссага) 15 июня 2006 г. на о. Менорка (Балеарские о-ва).

$\Delta P \sim 5$  гПа ( **гектопаскаль** )

$\Delta \xi \sim 5$  м.

Отношение перепада давления и высоты волн риссага составило примерно 1:100. Более 40 судов были потоплены, общий убыток превысил 30 млн евро.

# Схема формирования катастрофического метеоцунами (абики) в бухте Нагасаки 31 марта 1979 г.



Вверху слева — северная часть Восточно-Китайского моря и район бухты Нагасаки на о. Кюсю. Заштрихованным прямоугольником показана зона, в которой сформировалось начальное отклонение уровня моря под действием атмосферного возмущения. Цифрами на врезке показано положение мареографов. Вверху справа — записи метеоцунами на мареографах Незуми (1) и Нагасаки (2). Внизу — схема последовательного усиления возбужденной волны: от 3 см в зоне источника до 4,8 м в вершине бухты Нагасаки (точка 3 на врезке)

# Метеорологические цунами на восточном побережье Северной Америки

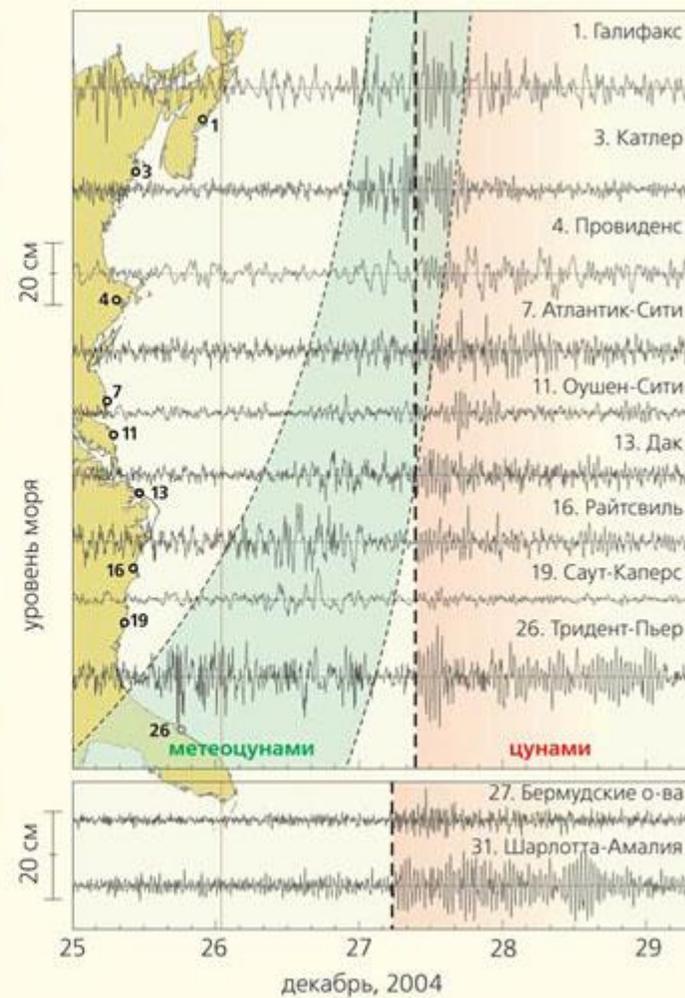
26.12.2004

О. Суматра

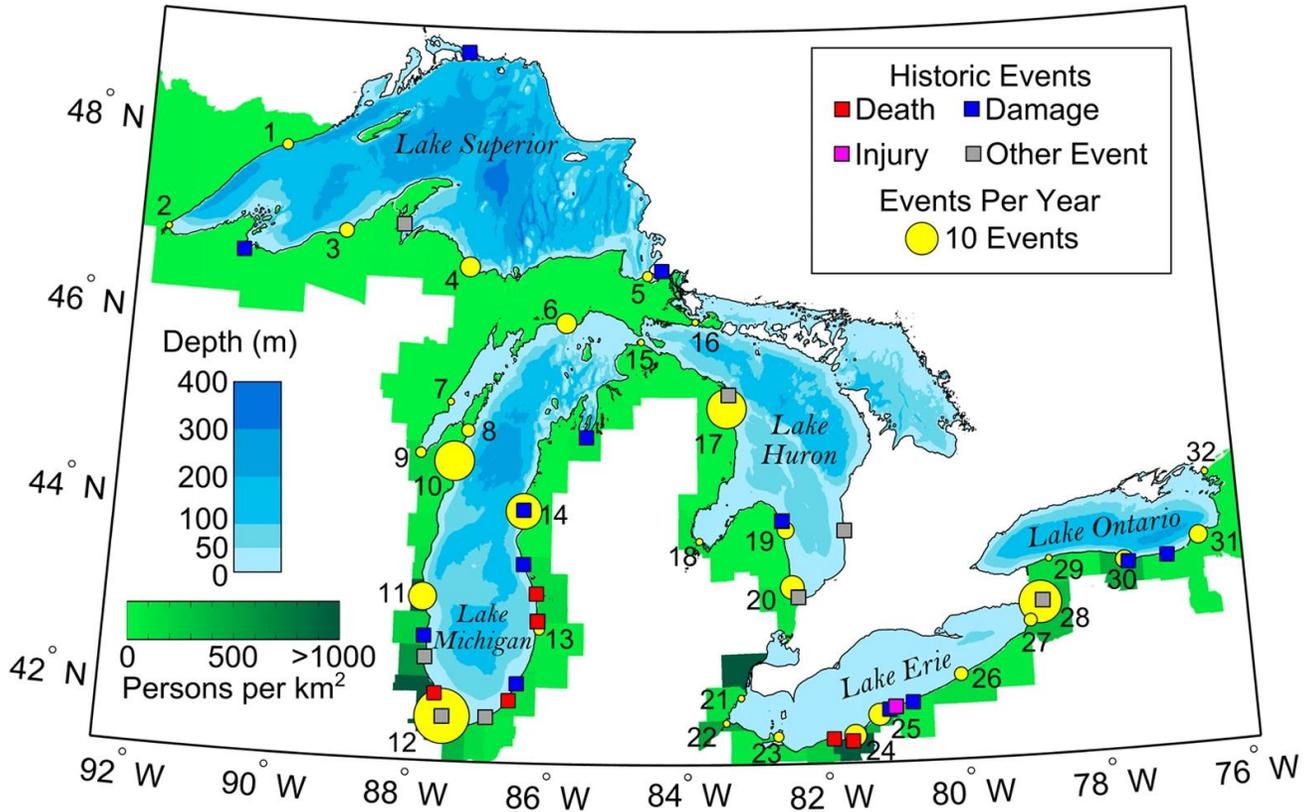
Землетрясение  $M_w = 9.3$

Погибло около 230 тыс. человек

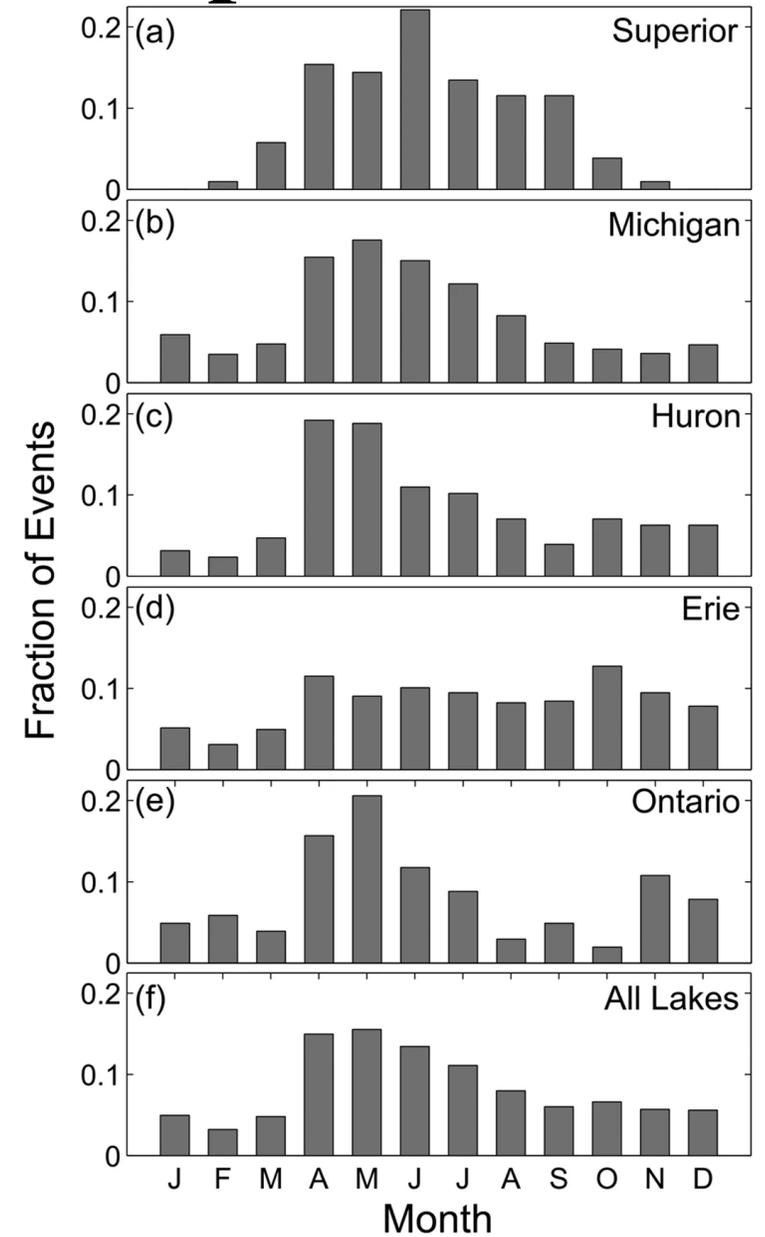
Совпали два природных разрушительных явления. Различить и разделить их достаточно сложно, но волны цунами достигли всего побережья практически одновременно, а метеоцунами возбуждалось последовательно с юга на север. На границе США и Канады (станции Галифакс — точка 1 и Катлер — точка 3) два типа колебаний наложились друг на друга, и произошло значительное усиление результирующего сигнала.



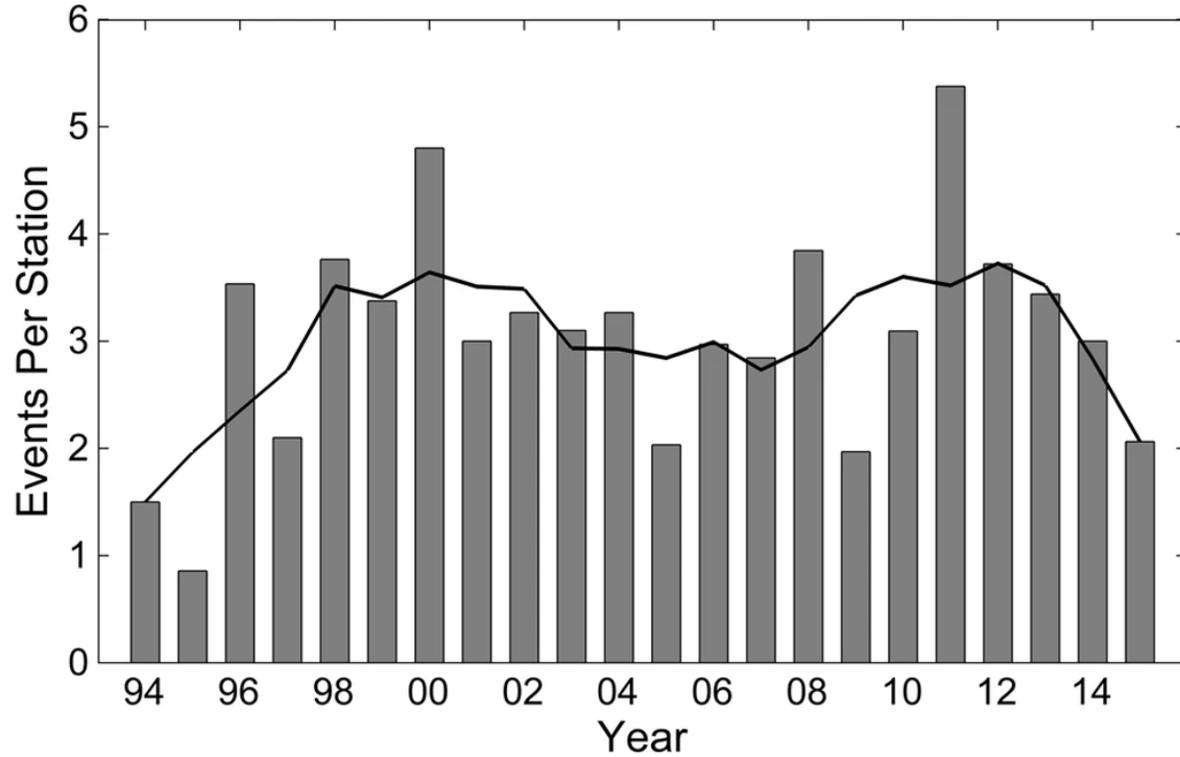
# Великие озера, Северная Америка



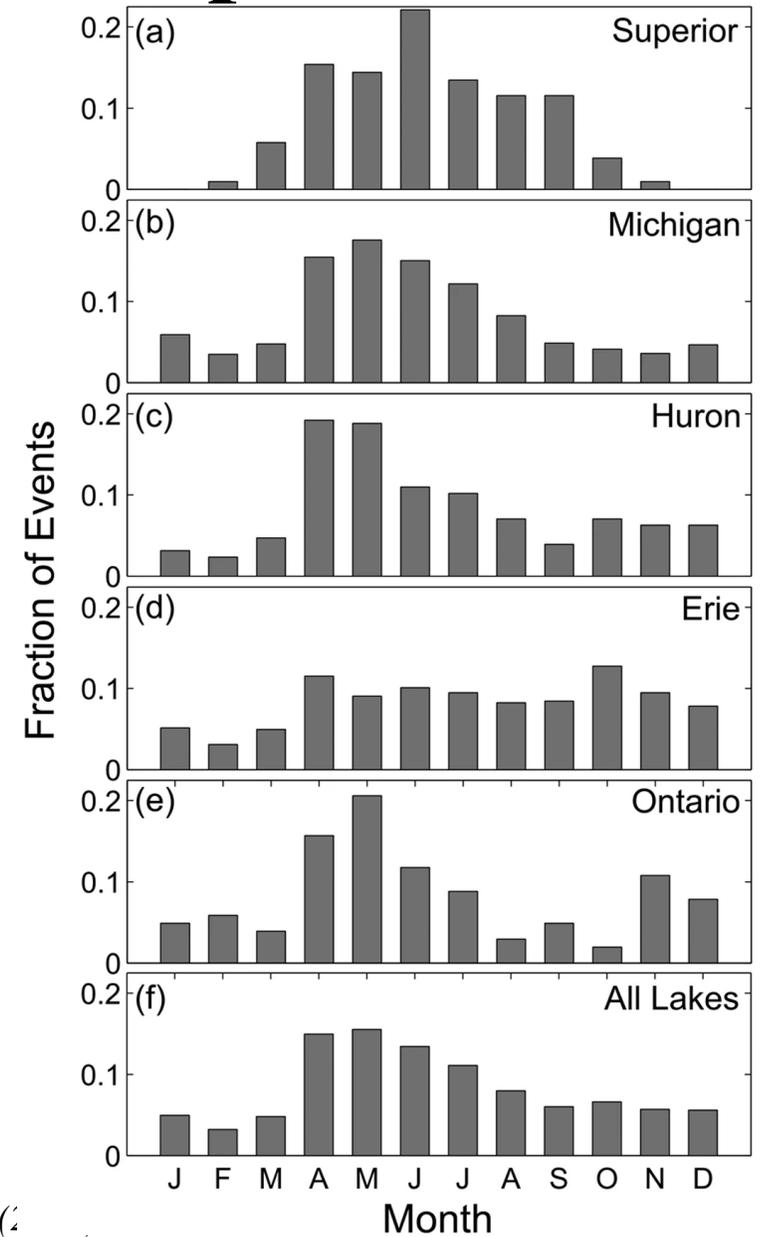
NOAA/NOS Great Lakes Water Level Stations			
1. Grand Marais, MN	9. Green Bay, WI	17. Alpena, MI	25. Fairport, OH
2. Duluth, MN	10. Kewaunee, WI	18. Essexville, MI	26. Erie, PA
3. Ontonagon, MI	11. Milwaukee, WI	19. Harbor Beach, MI	27. Sturgeon Point, NY
4. Marquette, MI	12. Calumet Harbor, IL	20. Lakeport, MI	28. Buffalo, NY
5. Point Iroquois, MI	13. Holland, MI	21. Fermi Power Plant, MI	29. Olcott, NY
6. Port Inland, MI	14. Ludington, MI	22. Toledo, OH	30. Rochester, NY
7. Menominee, MI	15. Mackinaw City, MI	23. Marblehead, OH	31. Oswego, NY
8. Sturgeon Bay, WI	16. De Tour Village, MI	24. Cleveland, OH	32. Cape Vincent, NY



# Великие озера, Северная Америка



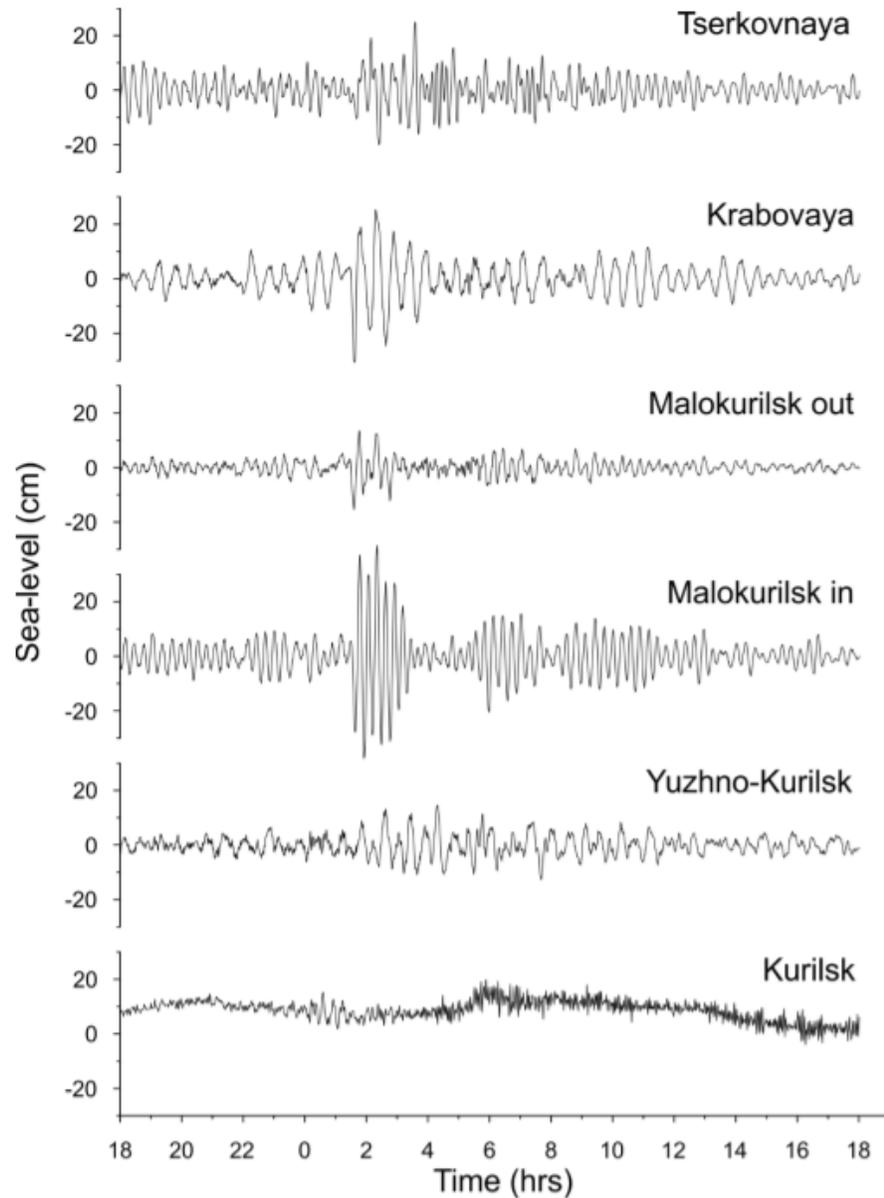
Около 100 событий в год



# Метеоцунами. Одесса 27.06.2014



# 16 октября 2011 года Курильские острова

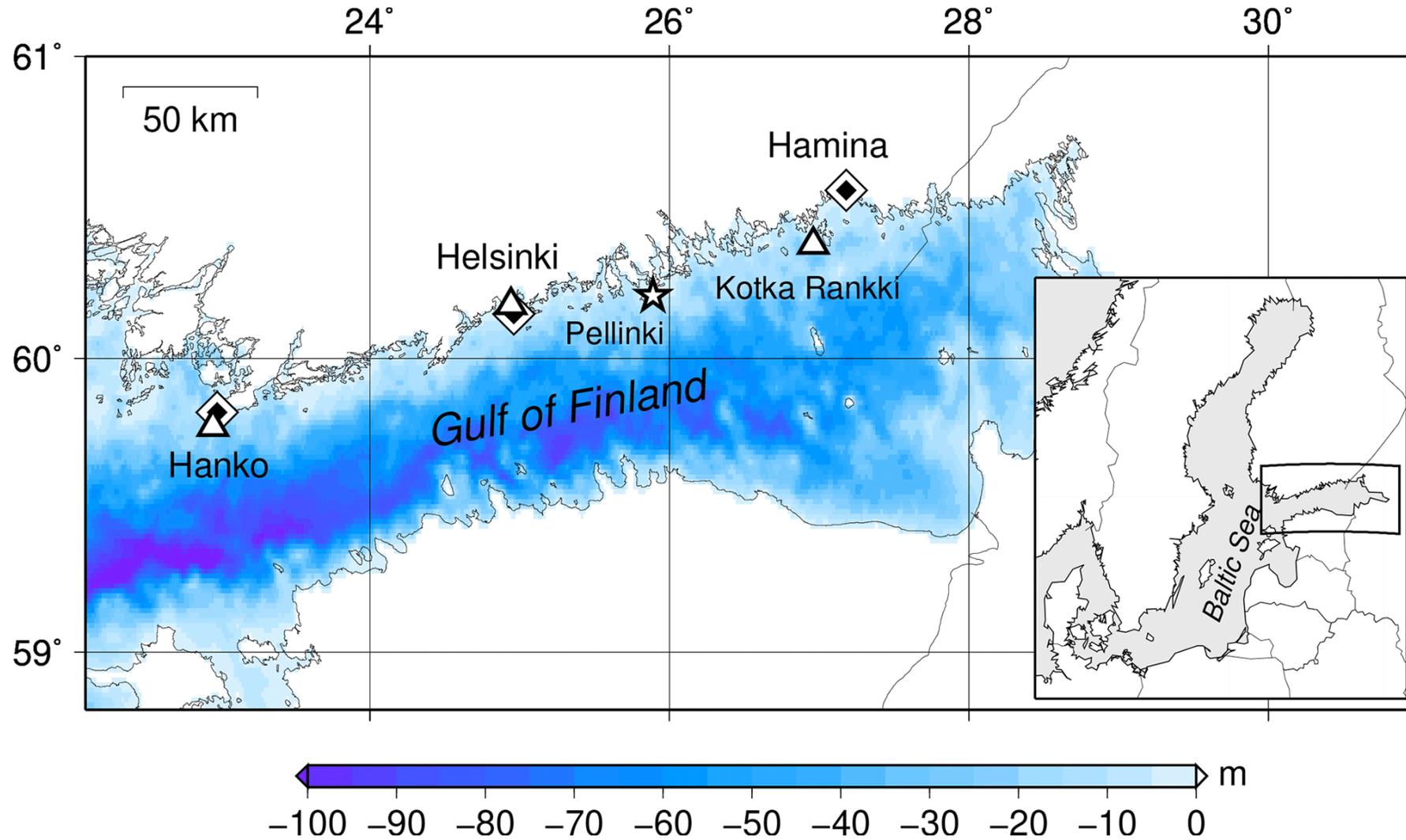


Станция	Волна	Первая		
		Высота (см)	Высота (см)	
Южно-Курильск	Crest	4.7	14.6	
	Trough	-5.0	-10.8	
Церковная	Crest	-1.1	25.0	
	Trough	-10.4	-16.1	
Малокурильская вход	Crest	3.3	-15.4	
	Trough	-15.4	13.6	
Малокурильская внутри	Crest	5.6	37.2	
	Trough	-27.8	-37.3	
Крабовая	Crest	4.4	25.4	
	Trough	-30.6	-24.8	

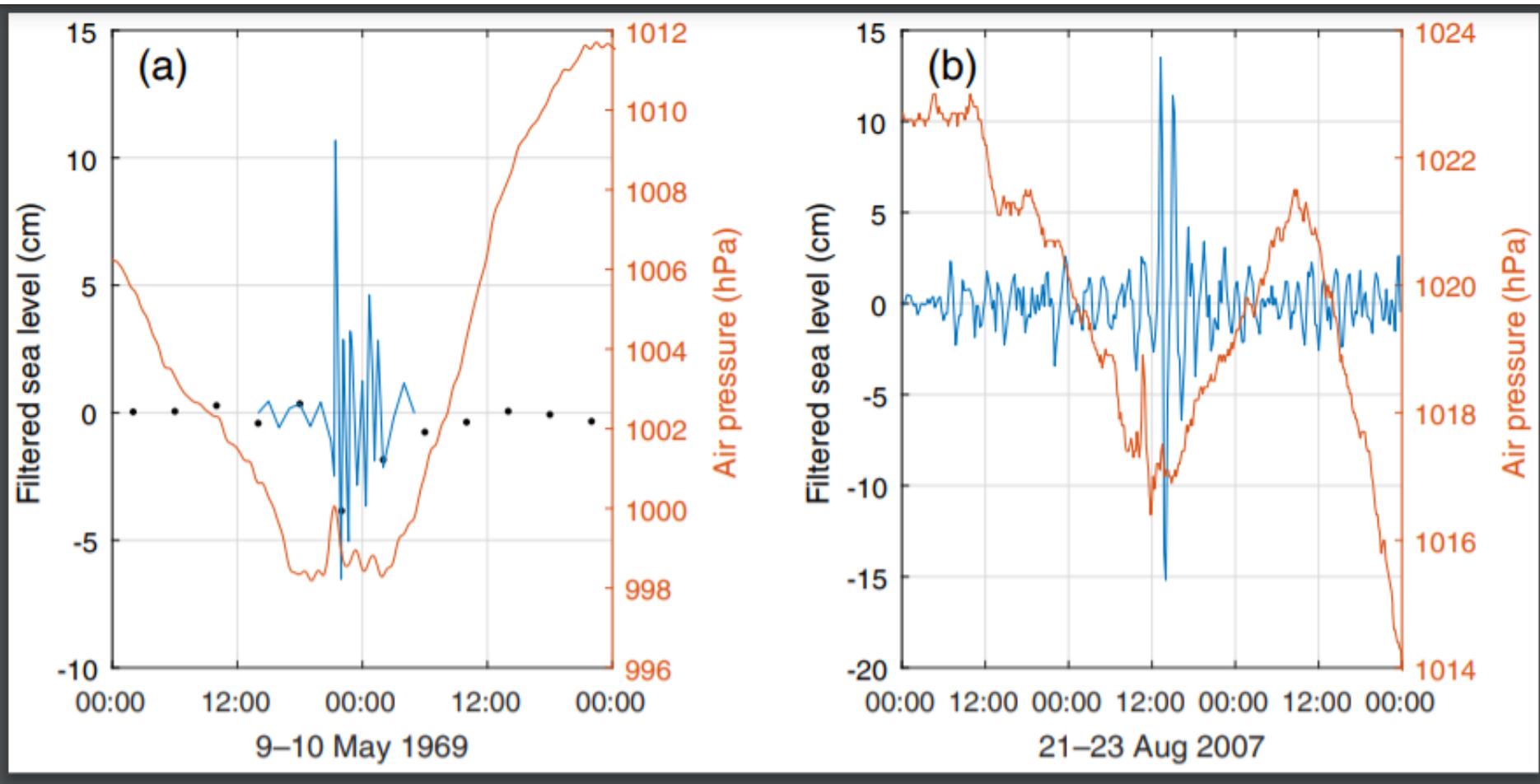
Метеоцунами сравнительно часто (1–2 раза в год) наблюдаются на побережье о. Сахалин и Курильских островов, что, обусловлено высокой активностью атмосферных процессов в регионе. Скорость движения атмосферного фронта около 100 км/ч. Реже метеоцунами обусловлены сильными грозами.

Метеоцунами представляют определенную угрозу (существенно меньшую по сравнению с сейсмическими волнами, но вполне реальную) в бухтах с хорошо выраженными резонансными свойствами, таких как Малокурильская, Крабовая, Холмская.

# Финский залив



1922 г–2014 г  
Более 100  
метецунами



красный – записи  
атмосферного  
давления

синий – записи  
мареографа

9-10 мая 1969 года

22 августа 2007 года

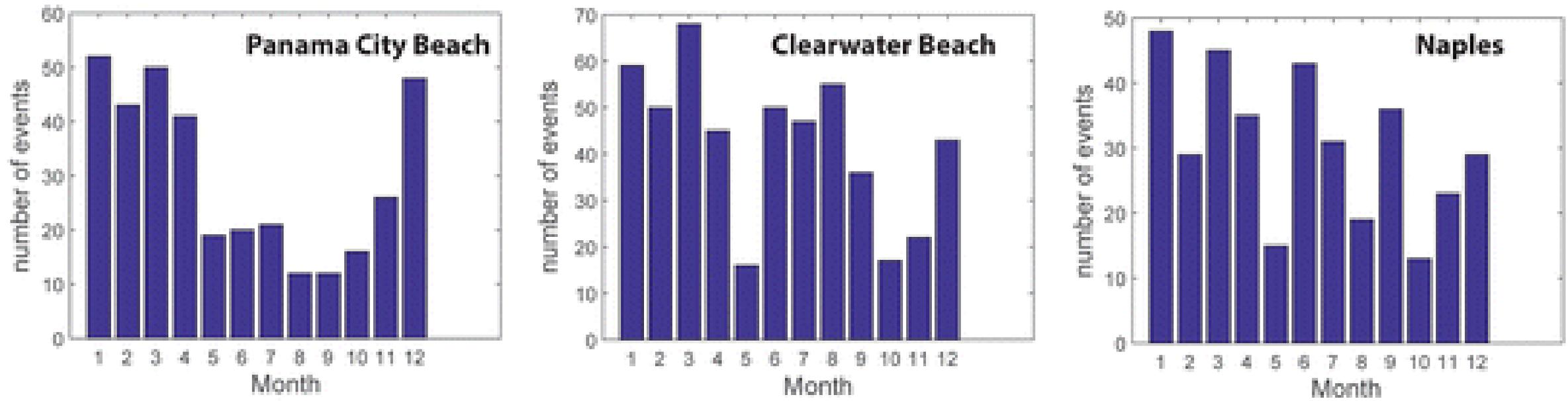
# Мексиканский залив



1-3 события в год

-сезонные шторма  
- El Niño

**(a)** Monthly distribution of the total number of meteotsunami events



Количество метеоцунами 1997Г - 2017Г

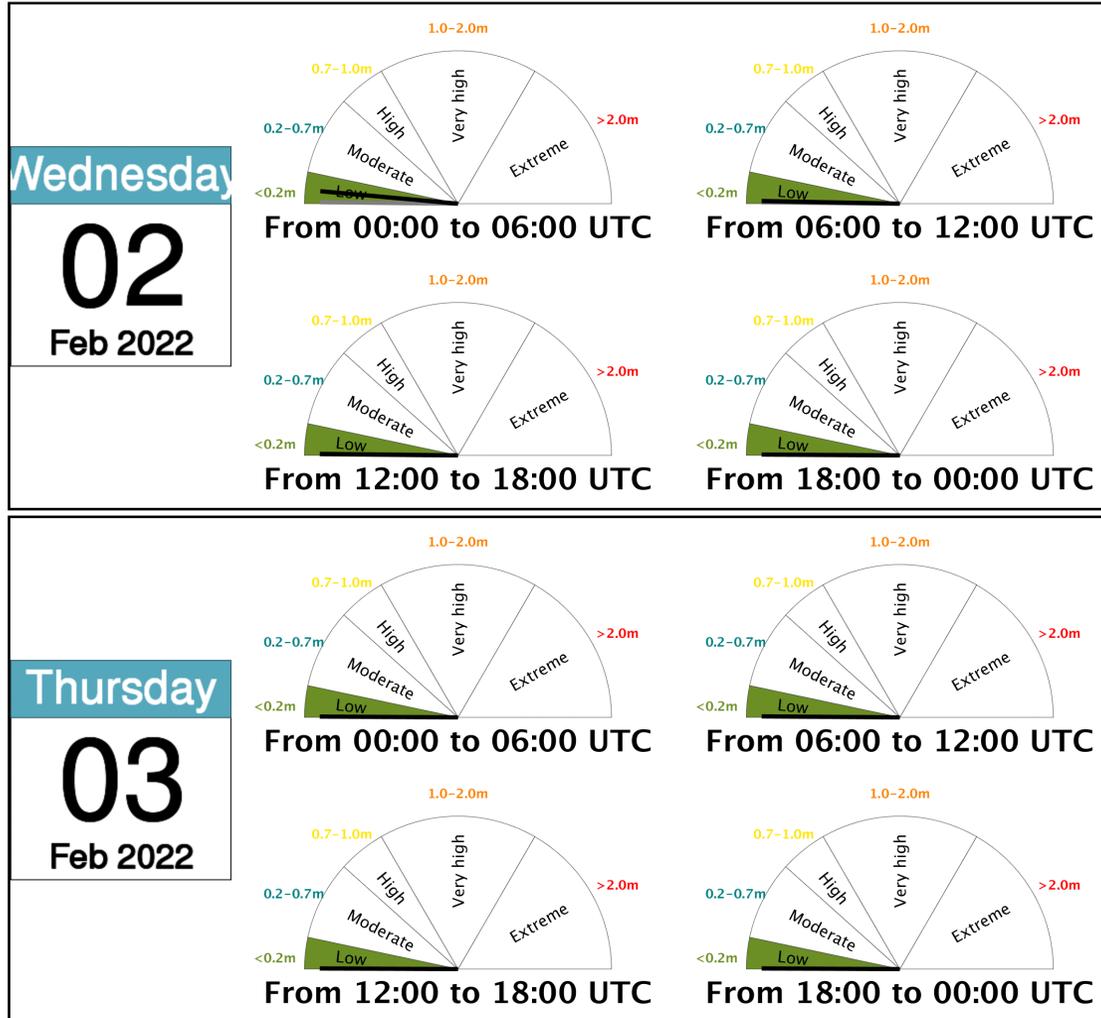
*Olabarrieta, M., Valle-Levinson, A., Martinez, C.J. et al. Meteotsunamis in the northeastern Gulf of Mexico and their possible link to El Niño Southern Oscillation. Nat Hazards 88, 1325–1346 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2922-3>*

# SOCIB / Balearic Rissaga Forecasting System (BRIFS)



## BRIFS Rissaga Warning Levels in Ciutadella

Last Update:  
02/02/2022 04:52 UTC



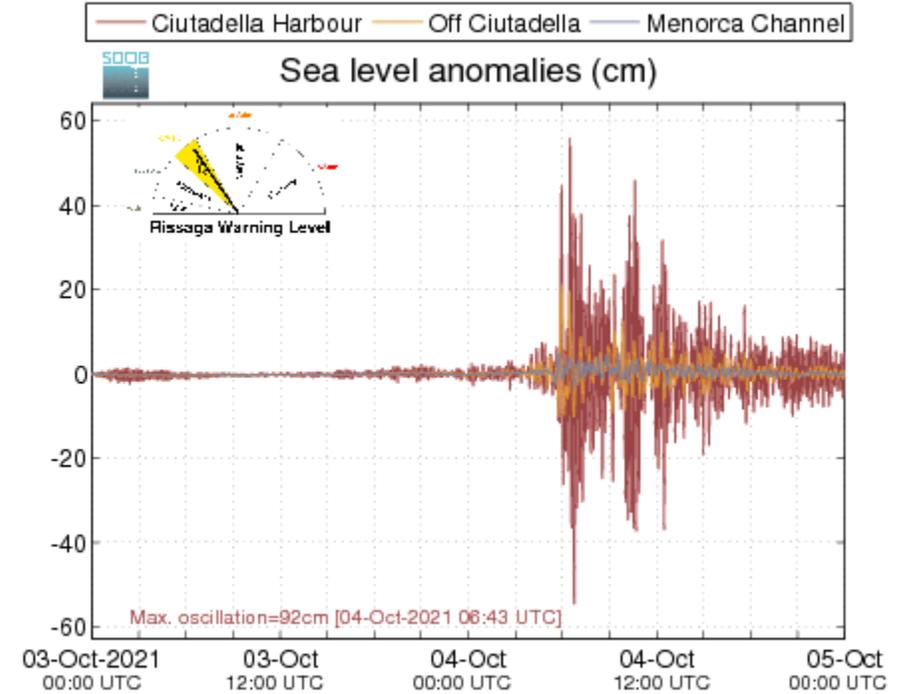
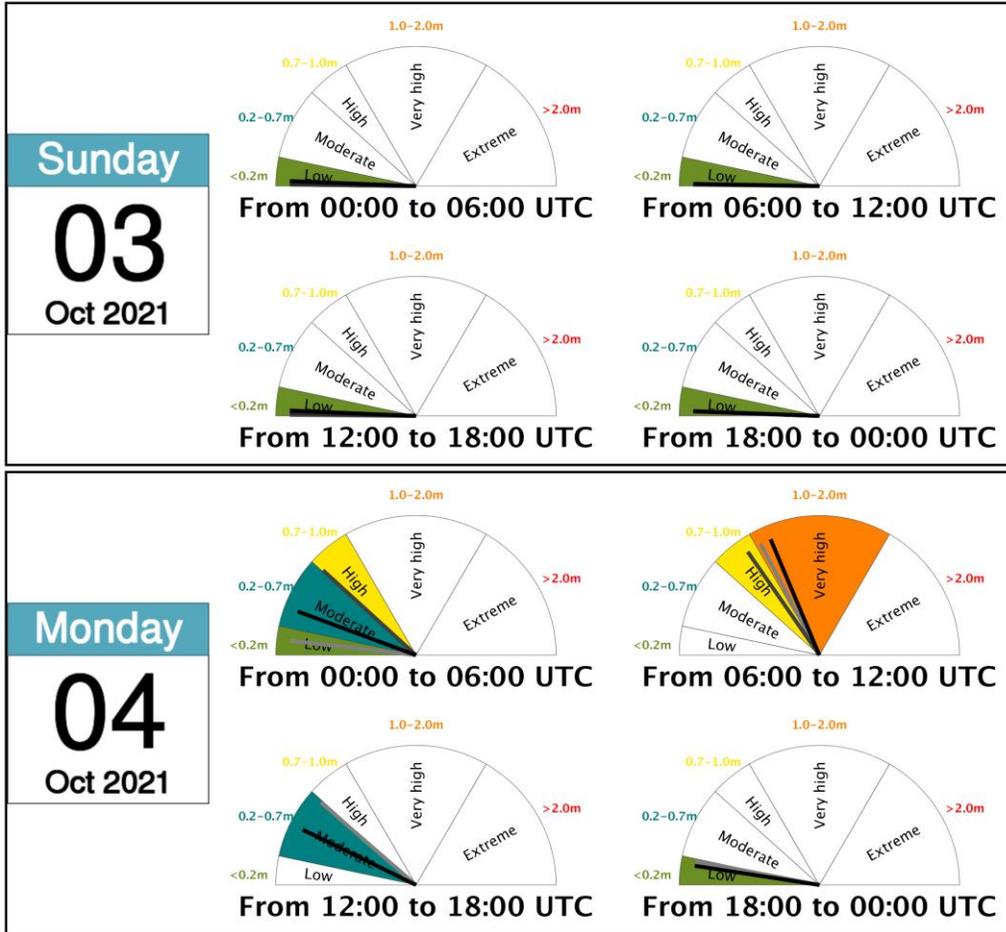
## BRIFS Rissaga warning levels in Ciutadella

The figure shows the results of all available BRIFS simulations computed in the previous 48 hours (the darker the pointer, the more recent the prediction). Each 6-hour time slot contains a variable number of predictions, from 1 to 4, according to availability. Intermediate predictions starting at 12:00 UTC are only performed when high-frequency atmospheric perturbations are detected in the WRF simulation.



# BRIFS Rissaga Warning Levels in Ciutadella

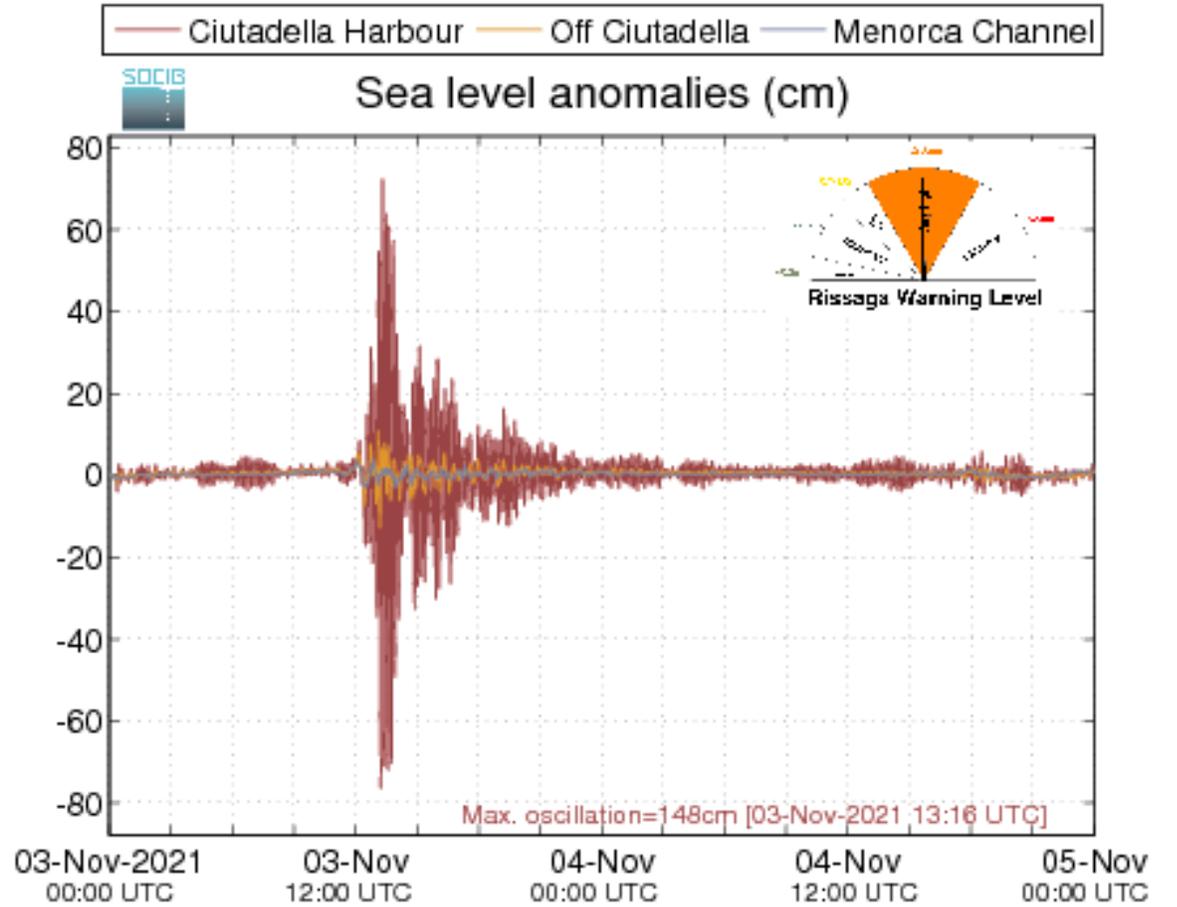
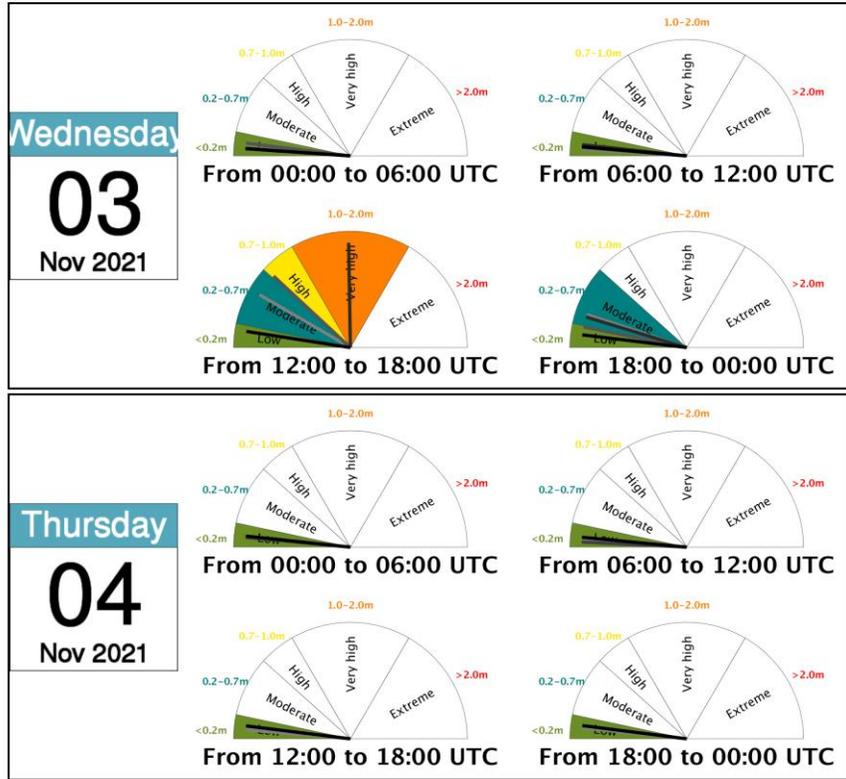
Last Update:  
03/10/2021 19:44 UTC





# BRIFS Rissaga Warning Levels in Ciutadella

Last Update:  
03/11/2021 19:58 UTC





## MODELLING AND FORECASTING FACILITY

### Overview

### Ocean circulation forecasts

#### System description

#### Ocean forecast

#### Operational validation

#### Ocean indicators

#### Data access

### Rissaga forecast

### Wave forecast

### Publications

### Links

### Acknowledgements

## SOCIB / Balearic Rissaga Forecasting System (BRIFS)



*DISCLAIMER: The experimental products presented in this section are provided "as is" without warranty of any kind, including any implied warranties of merchantability or fitness for a particular purpose. Ongoing research is carried out to improve the system. Particular events caused by very local convection cells are known to be very challenging to reproduce. This forecasting system aims at complementing the actual AEMET Rissaga alert system by providing quantitative predictions of sea level oscillations in Ciutadella harbour. Timely delivery of daily predictions is not guaranteed.*

▶ BRIFS Forecasts

▶ BRIFS General Description

▶ BRIFS Configuration

# ОПОЛЗНЕВЫЕ ЦУНАМИ

Только в русскоязычной литературе можно встретить около 20 определений оползня



• *Погребов Н.Ф., 1935*

Движение масс горных пород вниз по склону под действием силы тяжести, часто при участии поверхностных и подземных вод.

• *Варнес Д, 1978*

Оползень представляет собой совокупность склоновых движений масс пород, в процессе которых происходит разрушение и сдвиг вдоль одной или нескольких характерных поверхностей. Термин «оползень» широко применяется и будет, несомненно, использоваться в дальнейшем как общее понятие почти для всех видов склоновых процессов, включая и те движения, в которых мало скольжения или вообще его нет.

• *Инженерная геология России. 2103. Инженерная геодинамика территории России*

Оползневый называют движение масс горных пород вниз по склону под действием силы тяжести в виде скольжения по хорошо выраженной поверхности или зоне.

• *Геологический словарь*

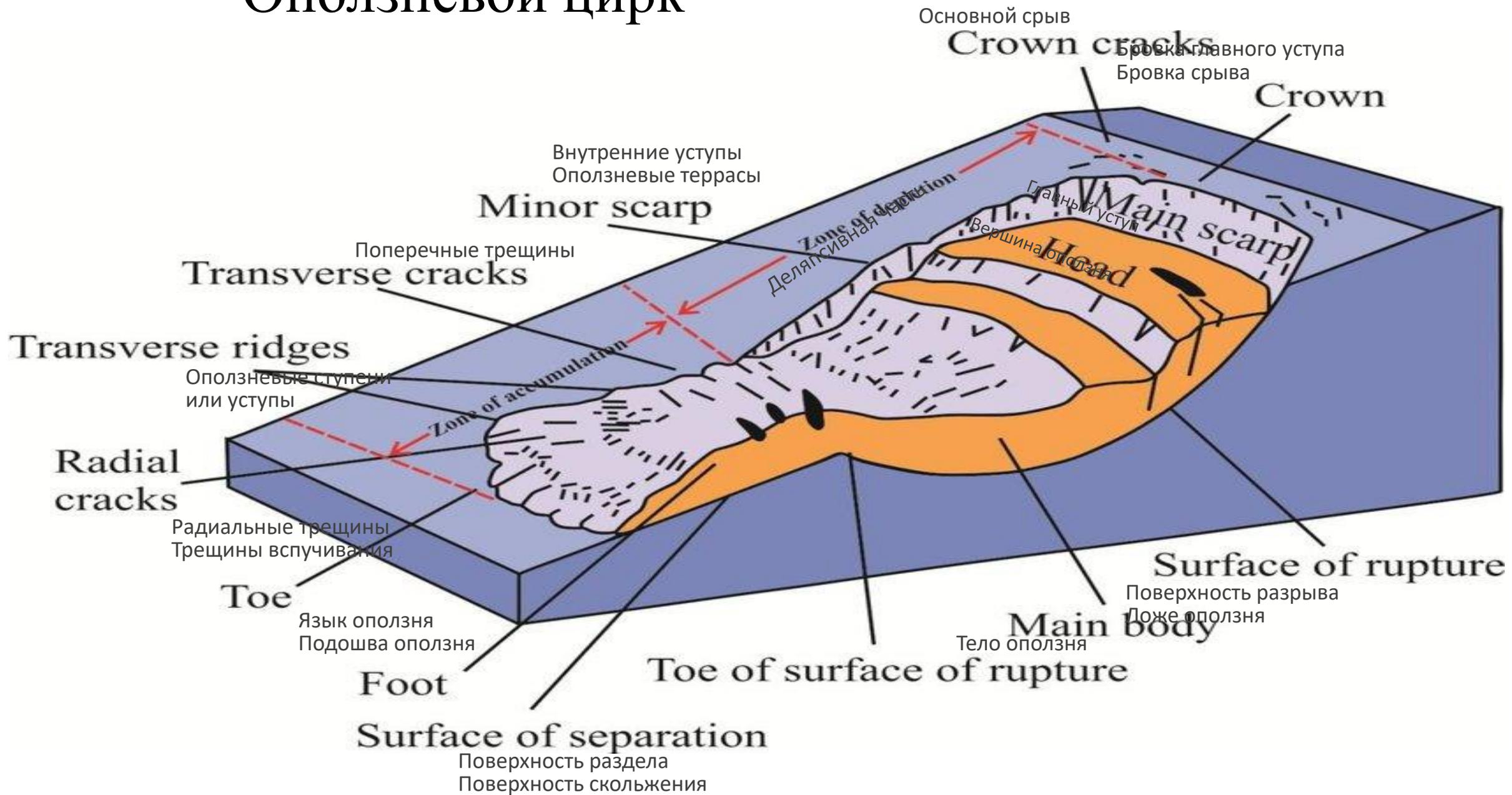
Оползень - отрыв земляных масс и перемещение их по склону под влиянием силы тяжести.

**Оползень (как объект)** – это геологическое тело, представленное смещенными горными породами, сформировавшееся в результате развития на склоне оползневой процесс.

**Оползень (как процесс)** – это перемещение образовавшегося оползневого тела по поверхности скольжения без потери контакта с несмещаемым ложем.



# Оползневой цирк

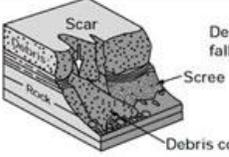
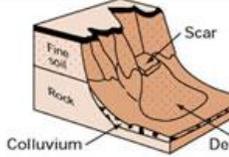
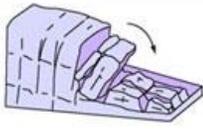
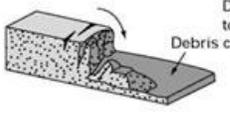
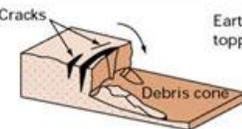
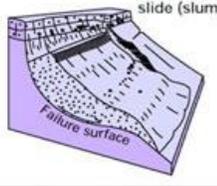
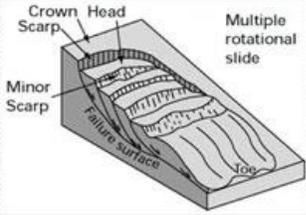
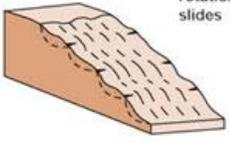
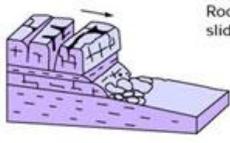
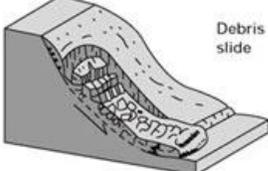
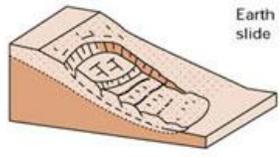
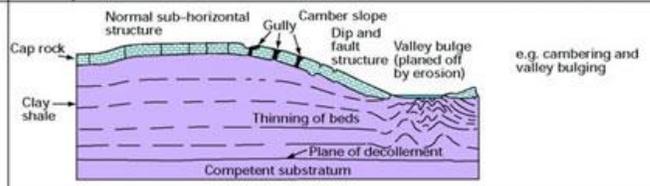
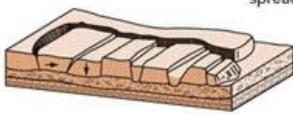
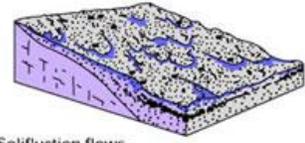
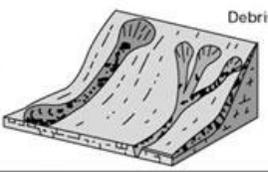
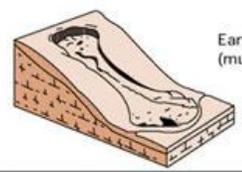
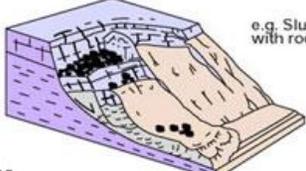
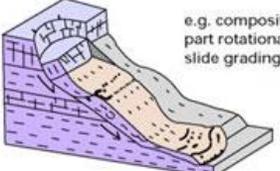


# Классификация оползней по Варнесу (Varnes, 1978 )

Оползни различаются по

- типу материала;
- типу движения.



Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS		 <p>Scar Rock fall Rock Fall Debris</p>	 <p>Scar Debris fall Scree Debris cone</p>	 <p>Scar Earth fall Colluvium Debris cone</p>
	TOPPLES	 <p>Rock topple</p>	 <p>Debris topple Debris cone</p>	 <p>Cracks Earth topple Debris cone</p>
SLIDES	Rotational	 <p>Single rotational slide (slump) Failure surface</p>	 <p>Crown Scarp Head Scarp Multiple rotational slide Failure surface Minor Scarp</p>	 <p>Successive rotational slides</p>
	Translational (Planar)	 <p>Rock slide</p>	 <p>Debris slide</p>	 <p>Earth slide</p>
SPREADS	 <p>Cap rock Normal sub-horizontal structure Gully Camber slope Dip and fault structure Valley bulge (planned off by erosion) Clay shale Thinning of beds Plane of decollement Competent substratum e.g. cambering and valley bulging</p>			 <p>Earth spread</p>
FLOWS	 <p>Solifluction flows (Periglacial debris flows)</p>	 <p>Debris flow</p>	 <p>Earth flow (mud flow)</p>	
COMPLEX	 <p>e.g. Slump-earthflow with rockfall debris</p>			 <p>e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe</p>

По скорости движения оползни подразделяются

на:

Крайне быстрое .....	3 м/с
Очень быстрое .....	0,3 м/мин
Быстрое .....	1,5 м/сут
Умеренное .....	1,5 м/мес
Медленное .....	1,5 м/год
Очень медленное .....	0,06 м/год
Крайне медленное .....	менее 0,06 м/год

# Причины возникновения оползней:

## 1. Геологические

- Слабые или чувствительные почвы
- Выветриваемые почвы
- Неоднородные почвы (контрастные почвы)

## 2. Морфологические причины

- Тектонический или вулканический подъем (крутые склоны)
- Отход ледников
- Речная , морская эрозия почв
- Подводная эрозия
- Изменение нагрузки на склон
- Выгорание лесов, засуха
- Таяние льдов и снега
- Чередование заморозков и оттепелей

## 3. Человеческий фактор

- Осваивание склонов и подножий склонов
- Строительство водохранилищ
- Вырубка леса
- Ирригация
- Горная промышленность
- Искусственная вибрация
- Утечка воды

9 июля 1958 год  
Бухта Литуйа, юго-восток Аляски

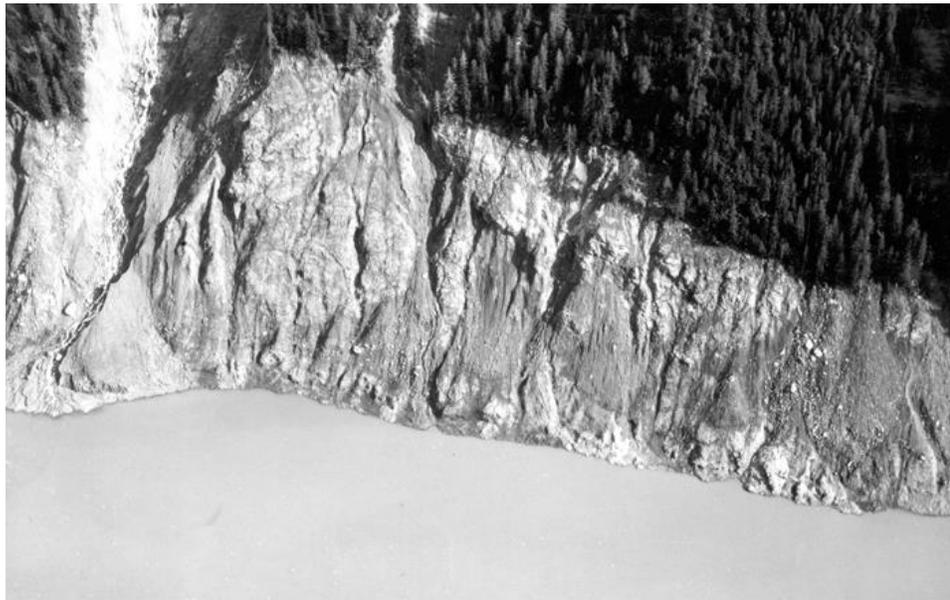


В результате землетрясения магнитудой 8,3 с гор сошёл мощный оползень. В воды залива обрушилось около 30 миллионов кубических метров камней и льда. Это привело к образованию гигантской волны цунами высотой 524м! Это самая высокая волна цунами, известная человечеству. Жертвами стихийного бедствия стали 5 человек.



Северо-восточная стена со следами  
оползня

На холме между заливом Литуйа и  
бухтой Гильберта деревья  
уничтожены до высоты 524 м





# Плотина Вайонт

Оползень, постепенно приходящий в движение, местами до 30 см/сутки, удавалось останавливать путём сброса воды с плотины, уровень вод спадал и движение останавливалось. Горные инженеры, обследовавшие оползень, не учли тот важный факт, что камень в массе горных пород был прослоен глиной, которая действовала как смазка и способствовала движению. Для прогнозирования последствий возможных катастроф, проводилось моделирование процесса обрушения, не предсказавшее опасных последствий. Высота волны, полученная при моделировании, составила 20—25 м.

Непосредственно перед катастрофой, уровень воды в водохранилище был сброшен на 25 метров. Никто не беспокоился о возможной опасности, все были уверены в предсказанных результатах.



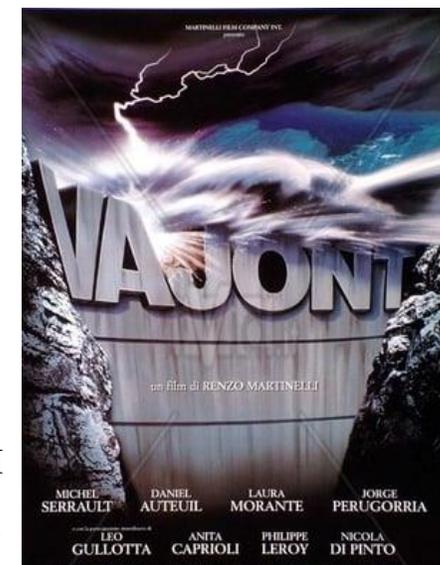


Вид на долину Вайонт после оползня.  
Октябрь 1963г.

Основными причинами, вызвавшими оползень, считаются:

- поднятие горизонта грунтовых вод в долине, вызванное строительством плотины;
- продолжительные дожди летом 1963 года.

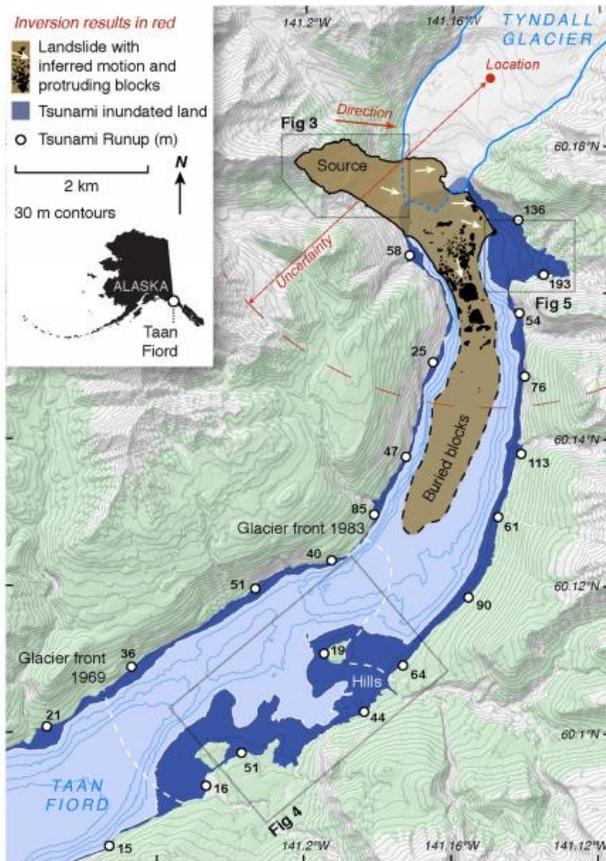
Плотина устояла, хотя и испытала нагрузку, в несколько раз превысившую расчетную. На уровне гребня было смыто лишь около 1 метра бетона.



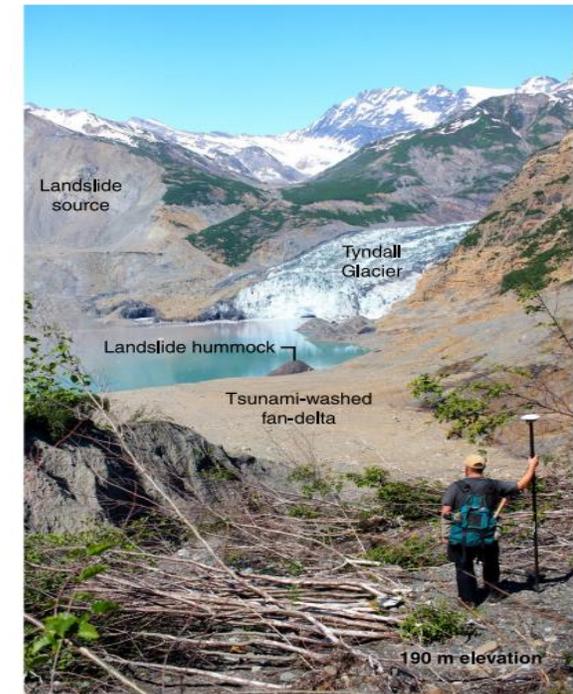
Вайонт – безумие людей  
Фильм, 2001г.

# Фьорд Таан, Аляска

15 октября 2015 года во фьорде Таан, Аляска сошел оползень массой 180млн.т, объемом  $7.6 \times 10^7 \text{ м}^3$  и вызвал волну с величиной заплеска 193м, (первоначальная модельная оценка давала 240м). Побережье, протяженностью более 1.5 км было затоплено волнами более 100м. Общая площадь затопления превышала  $200 \text{ км}^2$ .



По словам исследователей, 40 лет назад фьорд Таан не существовал, он был заполнен льдом. Но в период между 1961 и 1991 годами ледник Тиндаль отступил почти на 17 километров, в результате чего горные породы оказались без поддержки льда и начали разрушаться.



## Оползень и ледяное цунами на Буре: редкий природный феномен или первый тревожный звонок? (В.К. Гусяков, "Наука в Сибири»)



Оползень полностью перекрыл русло реки, заблокировав пополнение водохранилища Бурейской ГЭС (Амурская область и Хабаровский край) с площади, составляющей примерно две трети от ее водосбора. В условиях низкого зимнего водостока, характерного для сибирских и дальневосточных рек, возникла опасность падения уровня до минимального «мертвого» объема, что могло привести к остановке работы ГЭС, являющейся важным элементом энергетической системы Дальнего Востока.

Оползень вызвал водную волну, выплеснувшуюся на берега водохранилища и прошедшую по долине речки Ср. Сандар на расстояние до 4 километров. Непосредственно в районе оползня высота заплеска этой волны достигала 30-40 м.



Динамическое воздействие мощного потока воды, нагруженного обломами льда привело к полному уничтожению растительного и почвенного покрова на всем протяжении зоны заливания (порядка 25-30 км). Специалисты подтвердили факт образования ледяного цунами на участке водохранилища протяженностью до 25 километров.

На удалении 1 800 м от устья волна имела высоту 56 метров над уровнем воды в водохранилище. Максимальная высота заплеска в долине реки Средний Сандар, измеренная на удалении в 2,3 км от ее устья, составила около 60 м.

Воздействие возникшей при сходе оползня водной волны на берега усилил толстый (около 20 см) ледяной покров, который был полностью взломан и сформировался повторно еще до обнаружения оползня.

Общий объем сошедшей со склона сопки горной породы, составил 34 млн кубометров