

# Физические аспекты риска геологических процессов

## *ЦУНАМИ*

*Лекция № 16*



# ЦУНАМИ

大波 千石 神奈川 浪

# Представления о волнах цунами

Первое научное описание явления дал Хосе де Акости в 1586 году, в Лиме, Перу, когда после мощного землетрясения, цунами высотой 25 метров ворвалось на сушу на расстояние 10 км.



# и реальные волны



Цунами 26 декабря 2004 года



# ЧТО ТАКОЕ ЦУНАМИ

- Цунами - это не одна чудовищная стена воды, которая накрывает корабли и прибрежные города. Это ряд морских волн, способных пересечь весь океан со скоростями до 900 километров в час.
- В море волны цунами не превышают по высоте 60 см - их даже трудно определить с корабля или самолета. Но их длина иногда больше 250 км, значительно больше глубины бассейна, в котором они распространяются.
- Не существует типичного цунами. Все цунами различны. Однако все цунами характеризуются огромной энергией, существенно большей, даже в сравнении с самыми мощными ветровыми волнами, от которых отличаются длиной и поверхностным характером колебания частиц воды.
- Цунами "чувствует дно"
  - даже в самом глубоком океане эта едва заметная последовательность волн представляет движение всего вертикального столба воды;
  - когда цунами достигает мелководья на своем пути, скорость волн уменьшается, но высота их растет.

# Наиболее крупные цунами

- **XX век**
- **5.11.1952 г. Северо-Курильск (СССР).**
- Вызвано мощным землетрясением (магнитуда от 8,3 до 9), произошедшим в 130 км Камчатки. Три волны высотой до 15—18 м уничтожили г. Северо-Курильск и нанесли ущерб ряду населённых пунктов. Погибло более 2000 чел.
- **9.03.1957 Аляска, США.**
- Вызвано землетрясением с магнитудой 9,1, произошедшим на Андреяновских островах, Две волны, с высотой волн 15 и 8 м. В результате землетрясения проснулся вулкан Всевидова, не извергавшийся около 200 лет. В катастрофе погибло более 300 чел.
- **9.07.1958 залив Литуйя, (юго-запад Аляски, США).**
- Землетрясение, произошедшее севернее залива (на разломе Фэруэтер), инициировало мощный оползень (около 300 млн куб.м.земли, камней и льда), вызвавший волну высотой 524 м и скоростью 160 км/ч.
- **22 мая 1960 Чили**
- Землетрясение магнитудой 8,3 вызвало волны высотой более 10 м. Погибло более 3000 чел., общий ущерб оценивается в 500 млн.\$
- **28.03.1964 Аляска, (США).**
- Крупнейшее на Аляске землетрясение (магнитудой 9,2), произошедшее в проливе Принца Уильяма, вызвало цунами из нескольких волн, с наибольшей высотой — 67 метров. В результате катастрофы погибло от 120 до 150 человек.
- **17.07.1998 Папуа-Новая Гвинея**
- Землетрясение с магнитудой 7,1, произошедшее на с-з побережье острова Новая Гвинея, вызвало мощный подводный оползень, породивший цунами, в результате которого погибло более 2 000 чел.
- **XXI век**
- **06.09.2004 побережье Японии**
- В 110 км от побережья полуострова Кии произошли два сильных землетрясения (магнитудой до 6.8 и 7,3 соответственно), вызвавших цунами, с высотой волн до 1 м. Пострадало несколько десятков человек.
- **26.12.2004 Юго-Восточная Азия.**
- В 00:58 произошло мощнейшее землетрясение— второе по мощности из всех зарегистрированных (магнитудой 9,3), вызвавшее мощнейшее из всех известных цунами. От цунами пострадали страны Азии (Индонезия— 180 тыс. чел., Шри-Ланка— 31-39 тыс. чел., Таиланд— более 5 тыс. чел. и др.) и африканская Сомали. Общее количество погибших превысило 300 тыс. чел.
- **09.01.2005 г. острова Идзу и Миякэ (восток Японии)**
- Землетрясение магнитудой 6,8 вызвало цунами с высотой волны 30-50 см. Однако, благодаря своевременному предупреждению, население из опасных районов было эвакуировано.
- **2.04.2007 Соломоновы острова**
- Вызвано землетрясением магнитудой 8, произошедшим в южной части Тихого океана. Волны в несколько метров высотой достигли Новой Гвинеи. Жертвами цунами стали 52 чел.



# Признаки появления цунами

- Внезапный быстрый отход воды от берега на значительное расстояние и осушение дна.
- Чем дальше отступило море, тем выше могут быть волны цунами. Люди, не знающие об опасности, могут остаться из любопытства или для сбора рыбы и ракушек. В случае телецунами(глобальных цунами) волна обычно подходит без отступления воды.
- Землетрясение. Эпицентр землетрясения находится, как правило, в океане. На берегу землетрясение обычно гораздо слабее, а часто его нет вообще. В цунамиопасных регионах есть правило, что если ощущается землетрясение, то лучше уйти дальше от берега и при этом забраться на холм.
- Необычный дрейф льда и других плавающих предметов, образование трещин в припае.
- Громадные взбросы у кромок неподвижного льда и рифов, образование толчеи, течений.



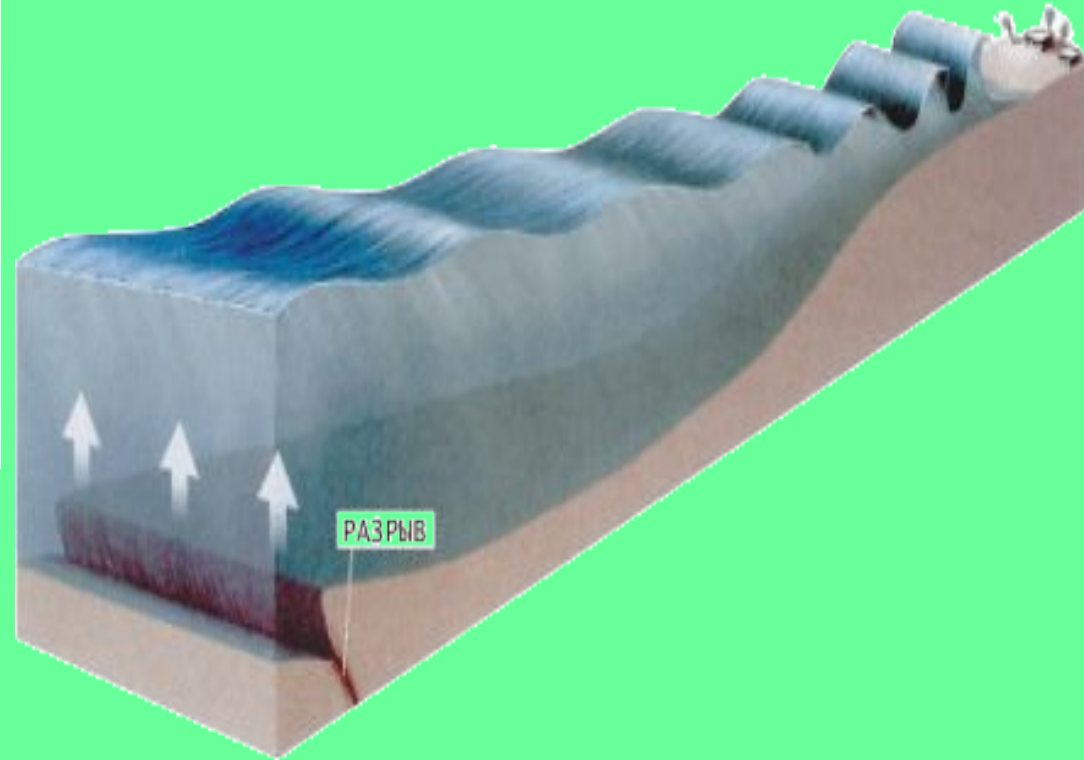
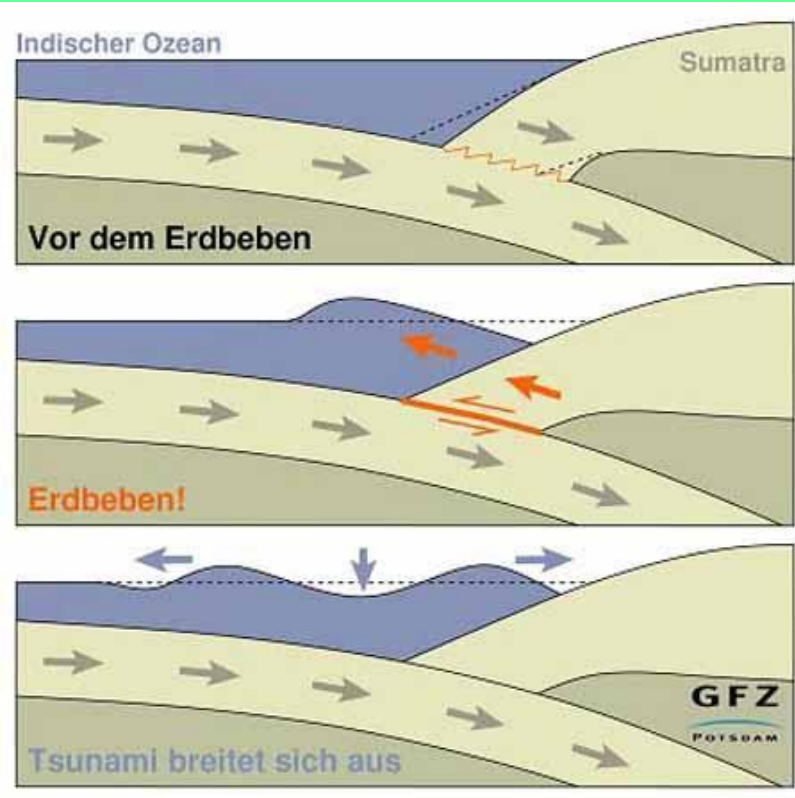
# ЧЕМ ВЫЗЫВАЕТСЯ ЦУНАМИ

- Подводное землетрясение (свыше 90 % всех цунами).
- Вулканические извержения.
- Оползни (довольно редко).
- Человеческая деятельность.
- Падение метеорита может вызвать цунами.

# 1. Цунами, вызываемое землетрясениями

- Самое разрушительное цунами в истории человечества, унесшее жизни почти трети миллиона человек, произошло в следствии Суматринского землетрясения 26 декабря 2004 года
- Самое разрушительные цунами прошлого столетия было отмечено на побережье Чили в результате землетрясения 22 мая 1960 года, все поселения между широтой 36S и 44S были полностью или частично разрушены в результате цунами и землетрясения.

# 1. Землетрясения



Цунами образуются при землетрясении любой силы, но большой силы достигают те, которые возникают из-за сильных землетрясений (более 7 баллов). Наиболее значительные цунами образуются в зонах субдукции при субвертикальном движении океанического дна

# ГЕНЕРАЦИЯ ЦУНАМИ

- Наиболее часто и наиболее сильные цунами образуются во время резкого вертикального движения горных пород вдоль разлома при сильном землетрясении (свыше 7 баллов), как показано на схеме.



Образование цунами при вертикальном движении океанического дна

平常時

斷層

地震中

洪流方向 →

上升 ↑

震央

地震中

退潮方向 ←

下沉 ↓

震央

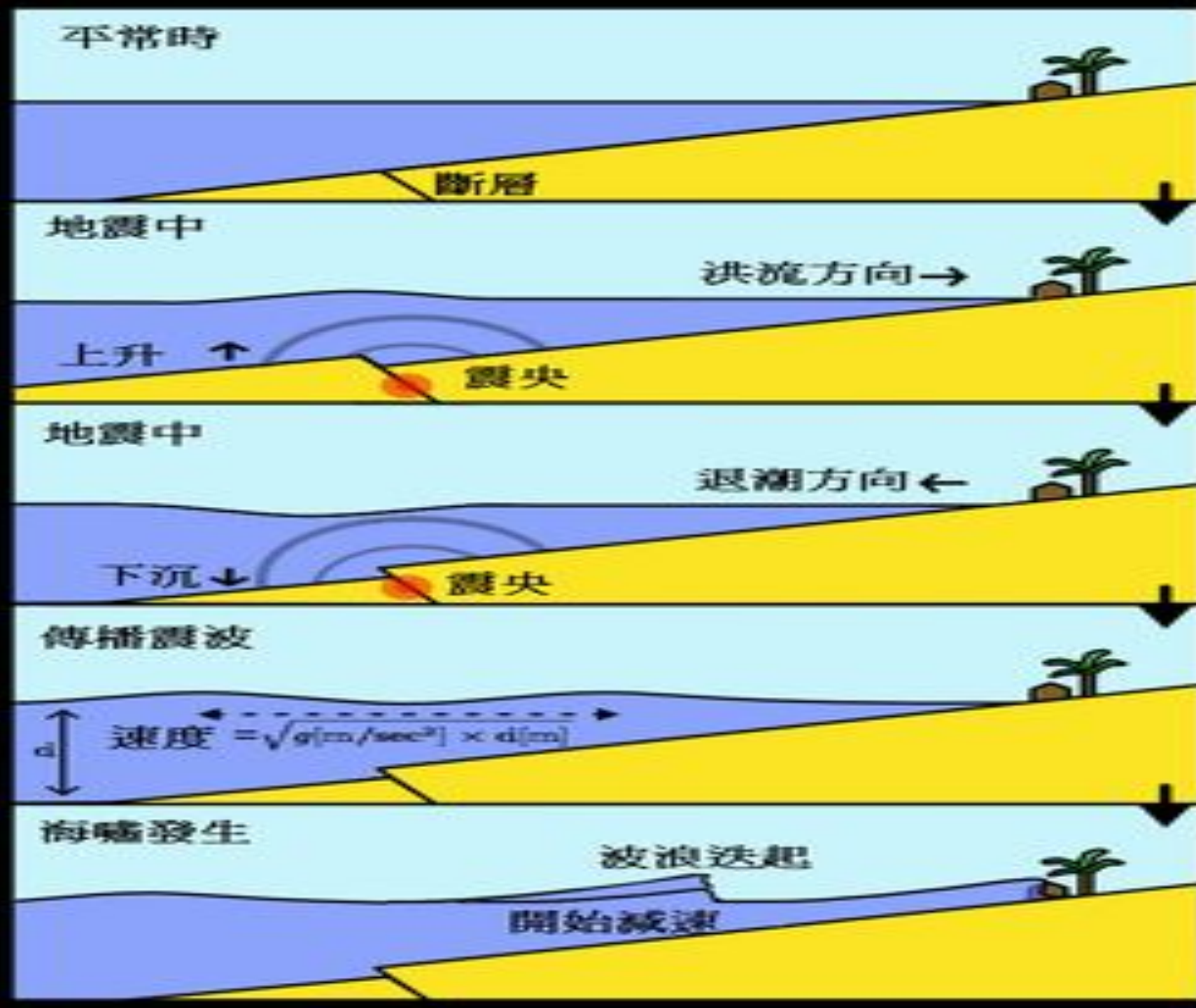
傳播震波

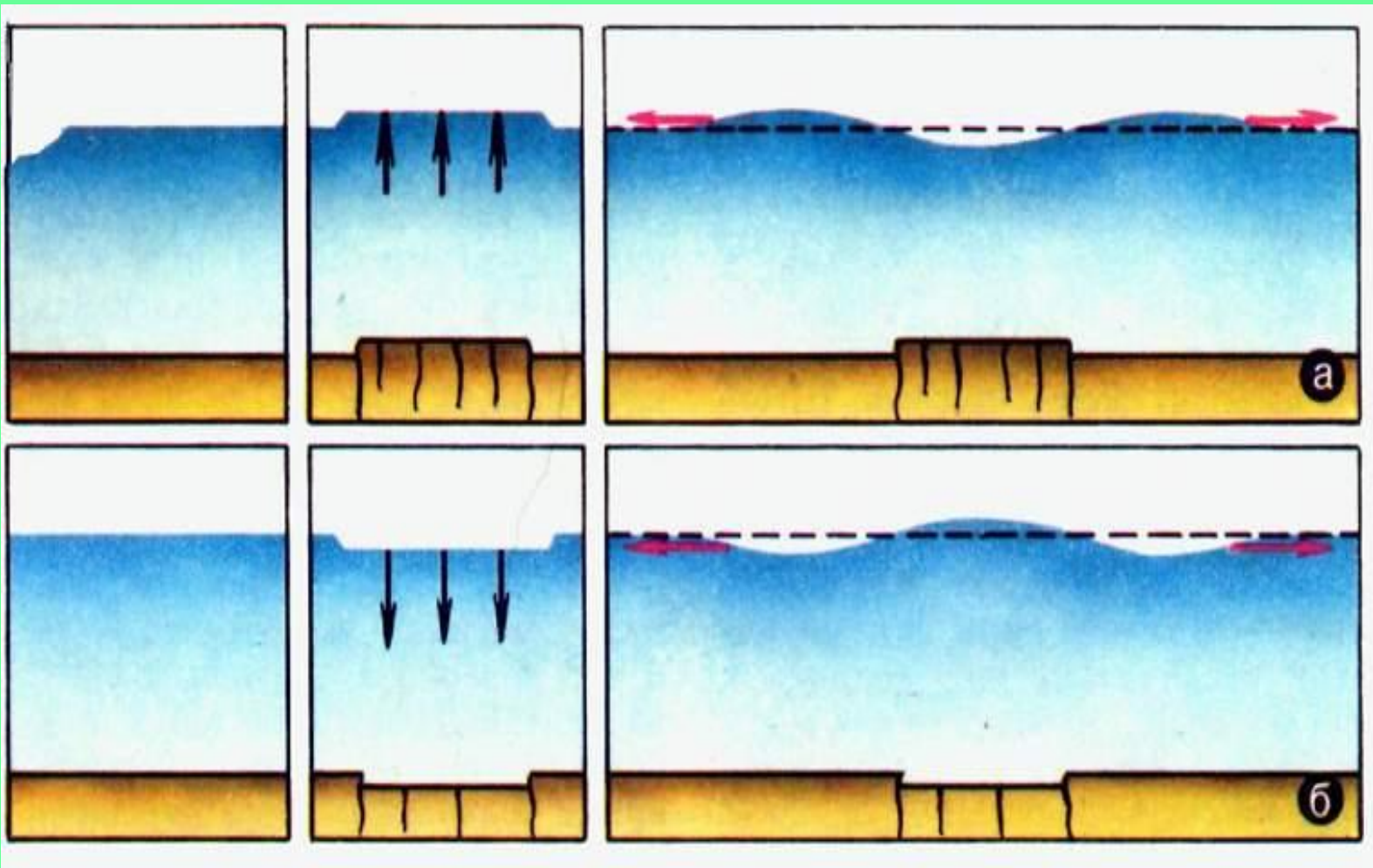
速度 =  $\sqrt{g[m/sec^2] \times d[m]}$

海嘯發生

波浪迭起

開始減速





### Первый этап

а) участок дна сместился вверх, б) участок дна сместился вниз. В первом случае цунами распространяется *приливной волной вперед*, а во втором случае — *отливной волной вперед*. Именно во втором случае наблюдается кратковременное отступление моря от берега непосредственно перед появлением гребня волны цунами.

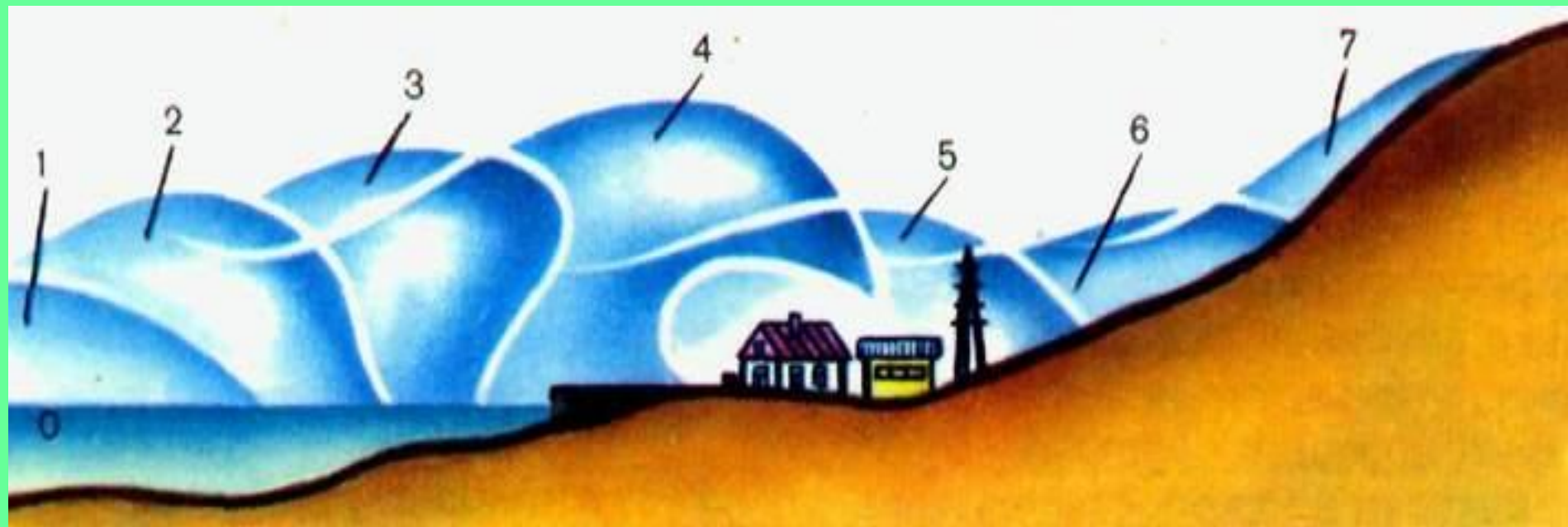
# Этапы жизни волны:

**Первый этап** — зарождение волны.

**Второй этап** — движение волны по океану.

**Третий** — взаимодействие волны с прибрежной зоной.

**Четвертый** — обрушивание гребня волны на береговую полосу, перемещение водных масс над сушей.



**Изменение профиля волны цунами на последнем этапе.**

**0 - уровень спокойного моря, 1- 7 последовательные профили волны, обрушивающиеся на берег и выбрасывающей на него огромные массы воды.**



# **Поражающие факторы цунами:**

- 1. Ударная волна  
(гидравлический удар;**
- 2. Размывани и абразия;**
- 3. Затопление;**
- 4. Аккумулятивные наносы;**

# Интенсивность цунами

- Для оценки силы цунами японскими учеными предложена специальная шкала магнитуд цунами, которые определяются подобно магнитудам землетрясений. В то же время определена эмпирическая зависимость магнитуды цунами от магнитуды вызывающего их землетрясения и высоты головной волны.
- Установлено, что с увеличением глубины очага землетрясений величина цунами убывает. При этом предел магнитуды землетрясения, вызывающей катастрофическое цунами, можно определить по формуле
- $M = 7,7 + 0,008 h$ ,  
где  $h$  — глубина очага землетрясения, км.  
Наиболее сильные цунами вызываются мелкофокусные землетрясения с глубиной очага около 30 км

# Магнитуда цунами

**Магнитуда и высота головной волны цунами  
(по Болту Б. А. и др., 1978)**

Магнитуда землетрясения	Магнитуда цунами	Максимальная высота головной волны цунами, м
6.0	Незначительная	—
6.5	- 1	0.5—0.75
7.0	0	1.0—1.5
7.5	1	2.0—3.0
8.0	2	4.0—6.0
8.5	3	8.0—12.0

**Интенсивность цунами** - характеристика энергетического воздействия цунами на берег, оцениваемая по условной шестибалльной шкале:

- **1 балл** - очень слабое цунами. Волна отмечается (регистрируется) только мореографами
  - **2 балла** - слабое цунами. Может затопить плоское побережье. Его замечают лишь специалисты.
  - **3 балла** - среднее цунами. Отмечается всеми. Плоское побережье затоплено, легкие суда могут быть выброшены на берег. Портовые сооружения подвергаются слабым разрушениям.
  - **4 балла** - сильное цунами. Побережье затоплено. Прибрежные постройки повреждены. Крупные парусные и небольшие моторные суда выброшены на сушу, а затем снова смыты в море. Берега засорены песком, илом, обломками камней, деревьев, мусора, жертвы.
  - **5 баллов** - очень сильное цунами. Приморские территории затоплены. Волноломы и молы сильно повреждены. Крупные суда выброшены на берег. Ущерб велик и во внутренних частях побережья. Здания и сооружения имеют разрушения разной степени сложности в зависимости от удаленности от берега. Все кругом усеяно обломками. В устьях рек высокие штормовые нагоны. Сильный шум воды. Имеются человеческие жертвы.
  - **6 баллов** - катастрофическое цунами. Полное опустошение побережья и приморских территорий. Суша затоплена на значительное расстояние вглубь от берега моря.
- Интенсивность цунами зависит от длины, высоты и фазовой скорости движения волны набега. Энергия цунами обычно составляет от 1 до 10% от энергии вызвавшего его землетрясения.

# ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОБЕРЕЖЬЕ

- Высота волны также зависит от самого строения побережья. Например в клинообразных бухтах, где создается эффект воронки, высота волн увеличивается. С другой стороны, мелководье или песчаный бар на дне недалеко от берега может уменьшить высоту волны. Этим объясняется различная высота волн цунами в разных местах на одном и том же побережье.
- При приближении волн цунами к берегу высота уровня воды может увеличиться до 30 метров и более в отдельных исключительных случаях. Увеличение уровня до 10 метров случается довольно часто. Это вертикальное увеличение высоты уровня воды называется высотой наката цунами.
- Высота цунами будет изменяться в различных точках побережья. Изменения в высоте цунами и топографических характеристиках береговой линии вызывает изменение характеристик наката цунами в разных точках береговой линии

# Накат цунами на берег

- Примером большой разницы в особенностях наката цунами могут являться цунами на Гавайском архипелаге, 1929 год: на острове Кауаи, на западном склоне залива наблюдалось постепенное повышение уровня воды, в то время как всего в одной миле к востоку волны неистово налетели на берег, уничтожив рощи деревьев и разрушив много домов.
- Следует отметить, что изменяются и характеристики отдельных волн, когда они приходят на одно и то же побережье. Ученые приводят примеры из истории Гавайских островов, когда первые волны были такими плавными, что человек мог спокойно идти по грудь в воде навстречу приходящим волнам. Позднее волны стали такими сильными, что они разрушили много домов и выбросили обломки к лесу на расстояние 150 метров от берега.

# Последствия цунами

- Разрушения, вызываемые цунами, происходят в основном из-за удара волн, в результате затопления, размыва фундаментов зданий, мостов и дорог.
- Разрушения увеличиваются из-за плавающих обломков, лодок, машин, которые с силой ударяют в здания.
- Сильные течения, которые иногда наблюдаются во время цунами, вызывают дополнительные разрушения из-за того, что обрывают боны, срывают с якорей лодки и баржи.
- Дополнительные разрушения могут произвести пожары из-за разлива нефтепродуктов в результате цунами; могут также иметь место загрязнения в результате нарушений системы канализации и смыва химических веществ.

# Чилийское землетрясение

- Одно из самых разрушительное цунами XXвека было в результате Чилийского землетрясения 22 мая 1960 года. Все поселения между широтой 36S и 44S были полностью или частично разрушены в результате цунами и землетрясения.
- В Чили землетрясение и последовавшее за ним цунами привели к гибели 2000 человек, 3000 были ранены, два миллиона остались без крова, а причиненный ущерб составил 550 млн. долларов США.
- В результате этого же цунами погибли 61 человек на Гавайях, 20 на Филиппинах, 3 в Окинаве и более 100 человек в Японии.
- Оцененный ущерб в долларах США составил 50 млн. в Японии, 24 млн. на Гавайях и 1 млн. на побережье США.
- Высота волн изменялась в пределах от 13 метров на островах Питкэрн, 12 метров в городе Хило на о. Гавайи и 7 метров в нескольких точках Японии до небольших значений в других местах.



# Чилийское землетрясение

*Зона, подвергшаяся воздействию цунами 22 мая 1960 года*

*Возникшая волна цунами пересекла Тихий океан, достигнув берегов Японии, Австралии Курильских островов.*

*Скорость перемещения волны приблизительно составила 700 км/ч.*

*550 млн. \$*

*2 млн. людей остались без крова.*

*2000 погибло, 3000 ранены.*





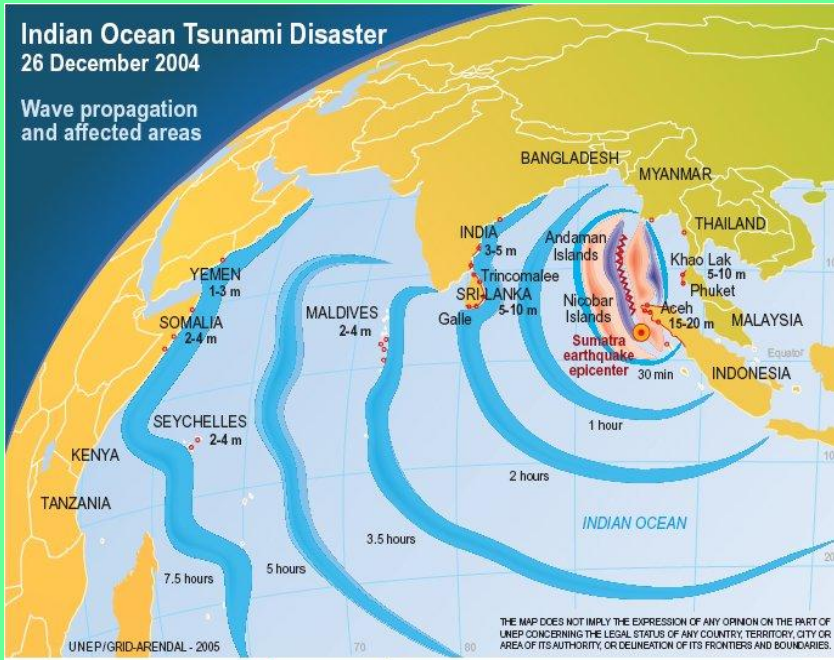
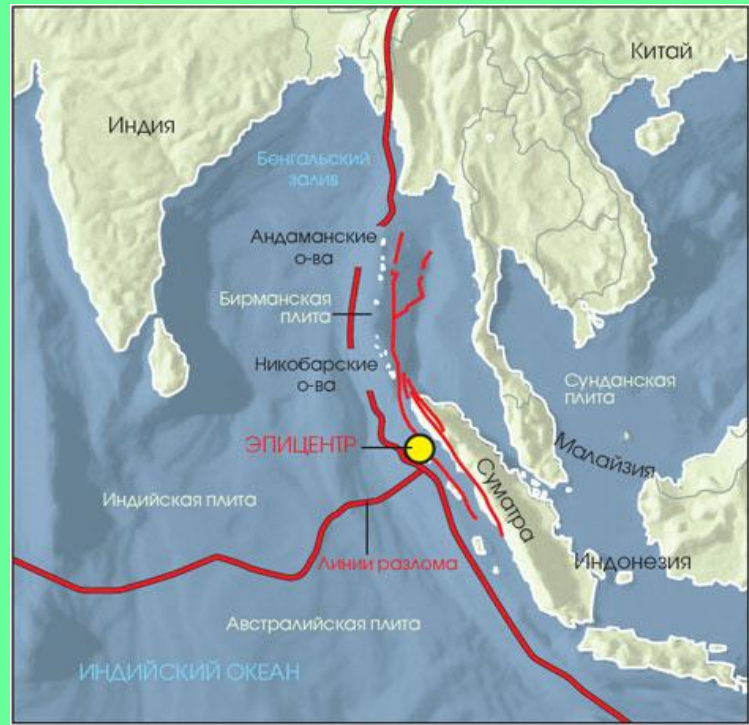
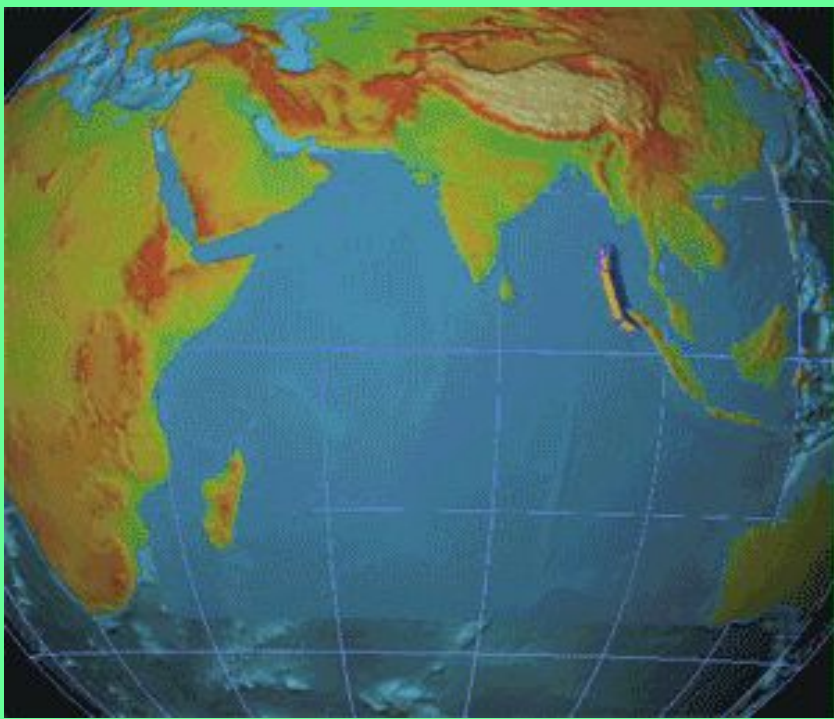
Последствия цунами в Чили 1960 года





# Суматринское землетрясение 2004 года







Суматринское землетрясение 8, 9 баллов, 26 декабря 2004 г.  
В результате цунами погибло больше 300 тыс. чел.



Последствия цунами. Тайланд



# Память о жертвах цунами 2006 г.



# Цунами

- Волны цунами образуются при извержениях подводных вулканов (5 % цунами) и при подводных землетрясениях (85 %). В отличие от ветровых волн они охватывают всю толщу воды. В открытом океане скорость распространения волн цунами достигает 800 км/ч, высота - примерно полметра. С выходом на прибрежное мелководье высота волн цунами быстро растет и иногда достигает 20-30 м

# Самые катастрофичные цунами XX-XXI в.

## В.

	Магнитуда вызвавшего цунами землетрясения	Масштабы катастрофы
Юго-Восточная Азия, 26.12.2004	max 9,3	погибли - 283 100 чел., 14 100 - пропали без вести
Япония, 11.03.2011	9,0 - 9,1	погибли - 15 869 чел. в 12 префектурах, ок. 3 тыс. чел. - пропали без вести (землетрясение+цунами )
Филиппины, 23.08.1976		погибли – 8000 чел.
Чили, 22.05.1960	9,3, max 9,5	погибли – около 6000 чел.
Папуа-Новая Гвинея, 17.07.1998		погибли – 2200 чел.
Северо-Курильск (СССР), 5.11.1952	8,3, max 9	погибли – 2400 чел.



Япония, 11.03.2011.  
Аэропорт Сендай,  
префектура  
Мияги.  
Высота волны достигала 10  
м.



Япония, 11.03.2011. Аэропорт Сендай, префектура Мияги.



Япония,  
11.03.2011

# 津波注意報が追加されました

鹿児島県東部 鹿児島県西部 沖縄県

岩手・宮城・福島  
大津波警報

中継



Япония,  
11.03.2011



Япония,  
11.03.2011





Япония,  
11.03.2011

# Цунами в Юго-Восточной Азии, 26.12.2004







Тайланд. Последствия цунами  
26.12.2004

## 2. Цунами, вызываемое вулканами

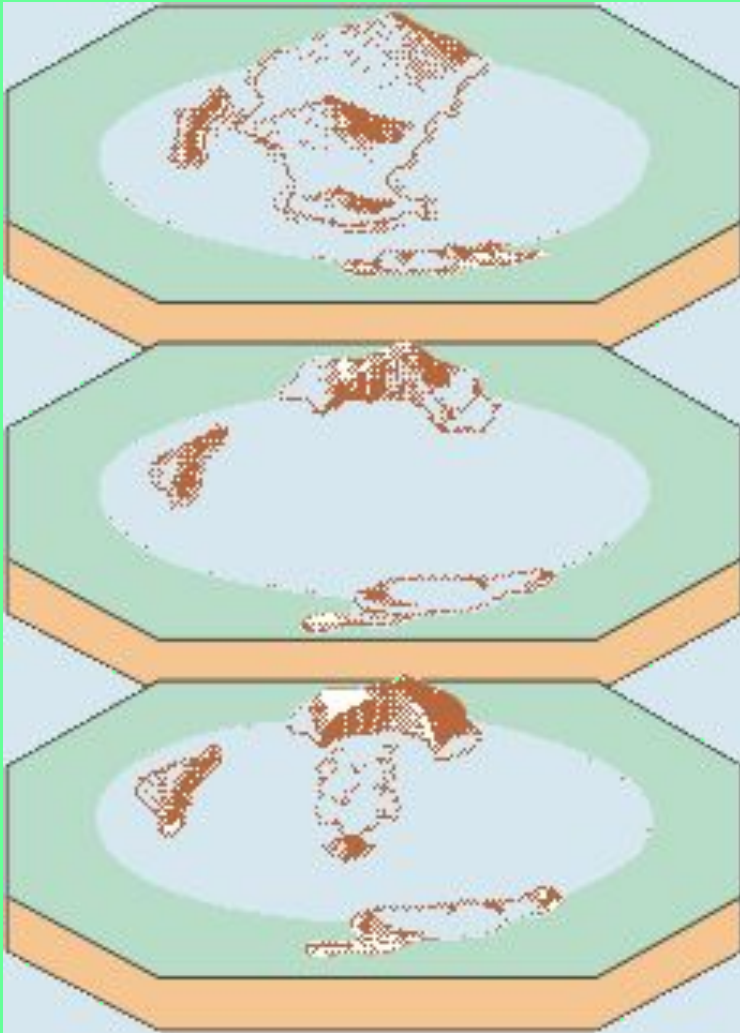
- В 1883 году в результате серии вулканических извержений вулкана Кракатау в Индонезии образовались мощные волны цунами.
- 
- Налетев на острова Ява и Суматра, эти волны смыли более 5000 лодок и просто смели много мелких островов.
- Волны высотой с 12-этажный дом снесли с лица земли около 300 деревень и вызвали гибель более 36 000 людей.
- Оценено, что сейсмические волны обошли два или три раза вокруг Земли.

# Извержение вулканов



Взрыв вулкана  
Кракатау и  
последующие за этим  
цунами  
26 августа 1883г.  
унесли жизни 36 тыс.  
человек

# Извержение вулканов



XV век до н.э. Взрыв  
вулкана Санторин (о.  
Крит. в эгейском море)

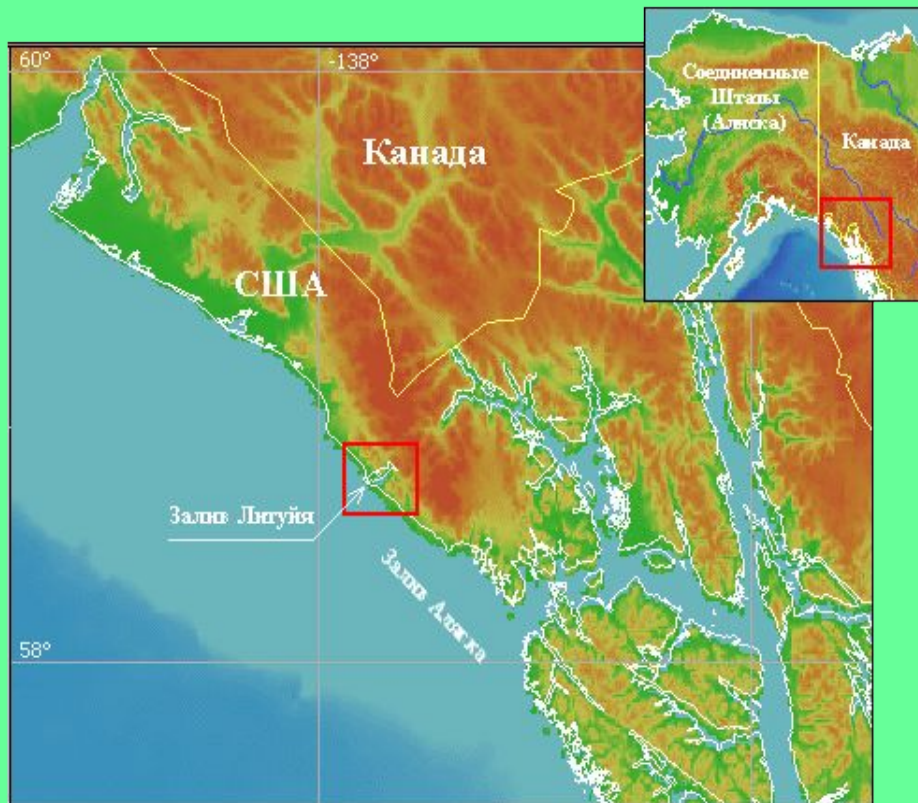
*Эволюция острова  
Санторин в результате  
извержения  
в 14 веке до н.э.*

# 3. Цунами, вызываемое оползнем/обвалом

- В 1958 году в заливе Литуйя на Аляске произошел обвал, и около 81 миллиона тонн льда и твердой породы обрушилось в море. Обвал был следствием землетрясения. После обвала образовалось цунами, которое с большой скоростью распространилось по заливу.
- Волны достигали поразительной высоты 35 - 50 метров (это самая большая высота волн из всех зарегистрированных в истории цунами на побережье Аляски).
- Эти волны вырвали с корнем все деревья и кустарники на склонах. На удивление, при этом были убиты только два рыбака.



# Оползни и обвалы



Положение залива  
Литуйя.

Аляска. 09.07. 1958 г.

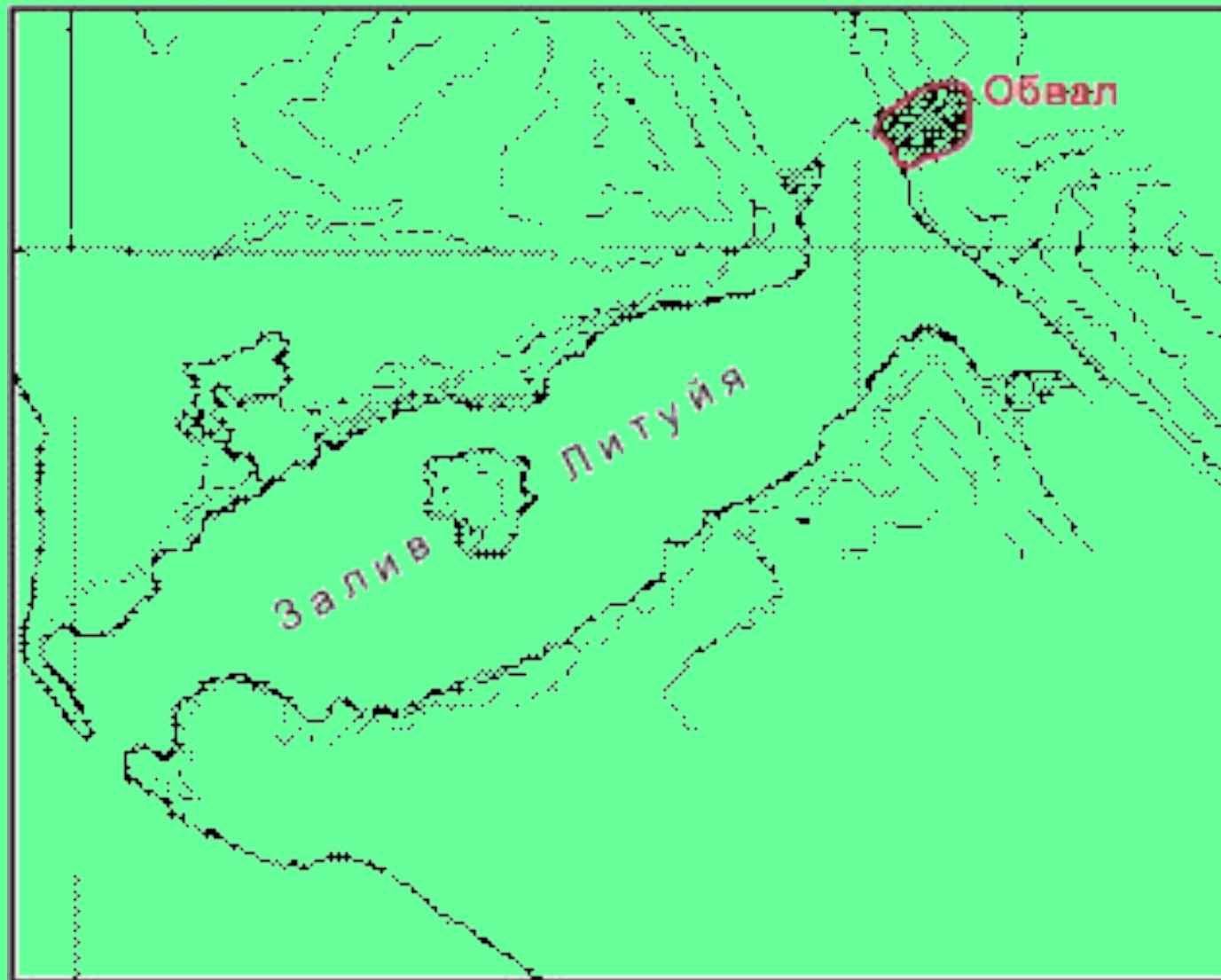
Оползень горы  
Фэйруэзер в 80 млн. куб.  
м.

Высота волны 524 м.

Остров Мадейра. 1930 г.  
землетрясение вызвало  
обрушение обломка  
скалы с высоты 200м.  
На берег обрушилась  
волна высотой 15 м.

137°40'W

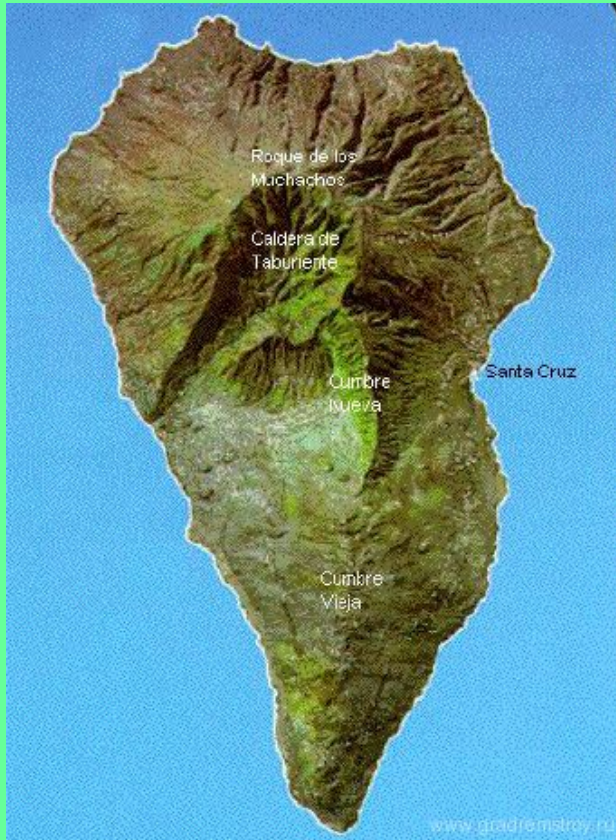
137°30'



58°40'N

*Залив Литуйя*

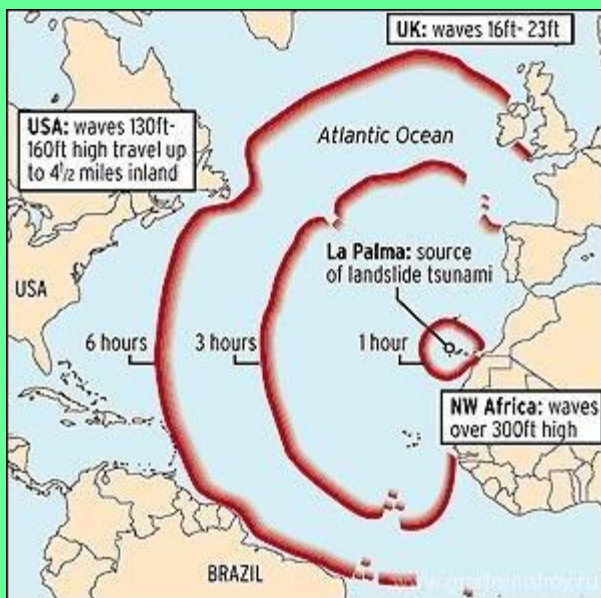
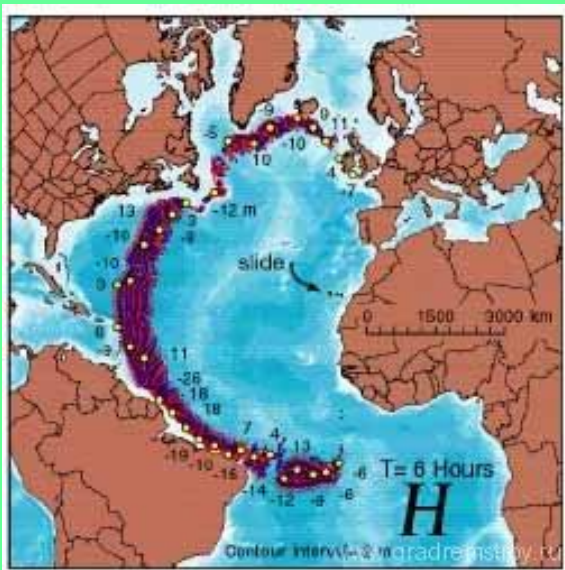
# Цунами угрожает Майами, Вашингтону, Нью-Йорку и Бостону.



- Американский сейсмолог Стивен Уорд из Института геофизики и планетологии при Калифорнийском университете в Santa-Cрус и его английский коллега Саймон Дэй пришли к выводу, что цунами может быть вызвано разрушением и действующего вулкана **Кумбре Вьеха (the Cumbre Vieja mountain)** на канарском острове **Сан-Мигель-де-ла-Пальма (San Miguel de La Palma)**.
- Последнее извержение Кумбре Вьеха, которое не вызвало серьезных последствий, произошло в **1949** году. Уорд и Дэй полагают, что новое извержение вулкана способно породить бедствие планетарного масштаба. Выполненные ими расчеты показывают, что в результате сотрясений земной коры может произойти обвал горного склона объемом порядка **500** кубических километров.

# Цунами угрожает Америке

- Когда эта исполинская масса породы рухнет в Атлантический океан, образуется водный купол почти **километровой высоты**. Он станет центром гигантской волны, которая будет распространяться преимущественно в западном направлении и поэтому в основном обрушится на Северную и Южную Америку.
- Кумбре **Вьеха** может рухнуть в воды Атлантики и через тысячу лет, и уже в нынешнем году. В результате этого чудовищного обвала возникнет волна высотой свыше **150** метров, движущаяся со скоростью **800** км в час.



## 4. Антропогенные причины цунами

В 1946 году США произвели в морской лагуне глубиной 60 м подводный атомный взрыв с тротильным эквивалентом 20 тыс. тонн. Возникшая при этом волна на расстоянии 300 м от взрыва поднялась на высоту 28,6 м, а в 6,5 км от эпицентра ещё достигала 1,8 м.

Для более дальнего распространения волны нужно вытеснить или поглотить значительный объём воды, поэтому цунами от подводных оползней и взрывов всегда несут локальный характер.

В настоящее время любые подводные испытания атомного оружия запрещены серией международных договоров.

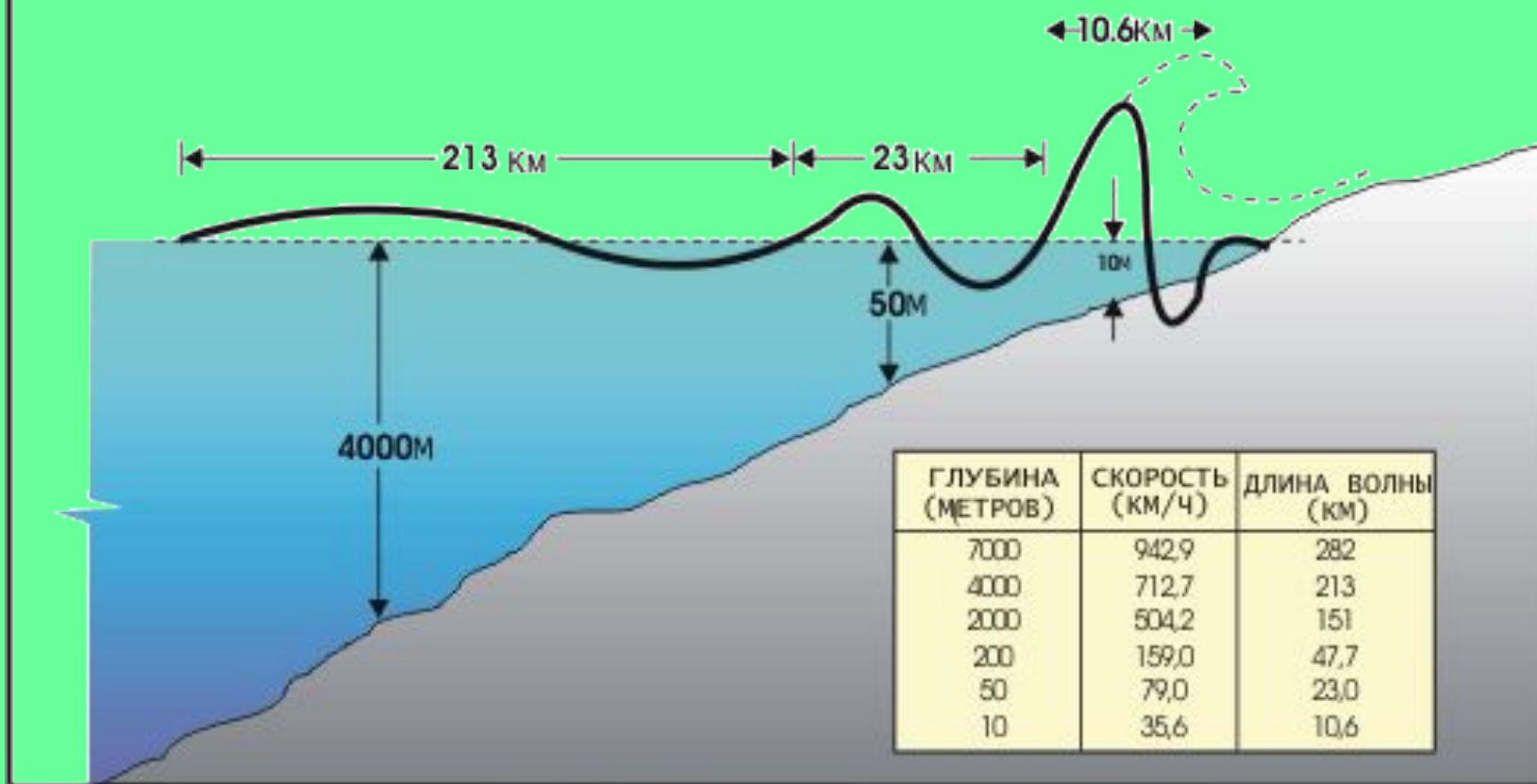


**5. Падение  
метеорита  
может  
также  
вызвать  
цунами**

# Генерация цунами при землетрясениях

- При землетрясении, может произойти резкое повышение или понижение дна океана; если это происходит, поверхность моря над зоной деформации океанического дна также подвержена аналогичной деформации.
- Наиболее значительные цунами возникают при субвертикальном смещении океанического дна, как это бывает в зонах субдукции. Около 80% всех цунами приурочены к Тихому океану.
- Хотя землетрясения, связанные со сдвигами, иногда вызывают цунами, они обычно имеют локальный характер. Крупные землетрясения с горизонтальным смещением блоков земной коры (сдвиги) возле побережья Аляски и Британской Колумбии вызывали цунами, зона действия которых была не более 100 км. При сильнейшем Сан-Францисском землетрясении 1906 г. цунами не было, хотя горизонтальное смещение по разлому Сан-Андреас достигло 6 м.
- Цунами обычно происходят после сильных землетрясений (более 7 баллов) с небольшой глубиной очага залегания под океанами (порядка 30 км).
- Было отмечено несколько случаев образования цунами из-за землетрясений, происходящих на суше, т.е. под действием сейсмических поверхностных волн, проходящих через континентальный шельф. Длиннопериодные поверхностные волны (волны Рэлея) имеют вертикальную составляющую и передают значительную часть энергии землетрясений.

# Трансформация волн цунами



Появлению волн цунами часто предшествует постепенное отступление воды от берега в случае, когда перед первым гребнем волны идет впадина или подошва волны, или происходит повышение уровня воды примерно до половины амплитуды последующего отступления. Это является предупреждением о приближении более сильных волн цунами.



# Параметры волны:

## *1. Высота морской волны*

- расстояние по вертикали между гребнем и подошвой волны

Непосредственно над очагом возникновения цунами высота волны составляет от 0,1 до 5 м.

*конечная высота волны зависит от:*

- рельефа дна океана;
- контура и рельефа берега.

## *2. Длина морской волны*

- расстояние по горизонтали между двумя вершинами или подошвами смежных волн. Длина волны может составлять от 150 до 300 м.

### 3. Фазовая скорость волны

- линейная скорость перемещения какой-либо фазы (элемента) волны, например, гребня. Колеблется в пределах от 50 до 1000 км/ч.

С увеличением глубины океана скорость волны возрастает  
Пересекая Тихий океан, где средняя глубина около 4 км цунами движется со скоростью 650-800 км/ч;

При прохождении глубоководных желобов скорость увеличивается до 1000 км/ч;

При подходе к берегам быстро падает и составляет на глубине 100 м около 100 км/ч.

Скорость подхода волны цунами к берегу:

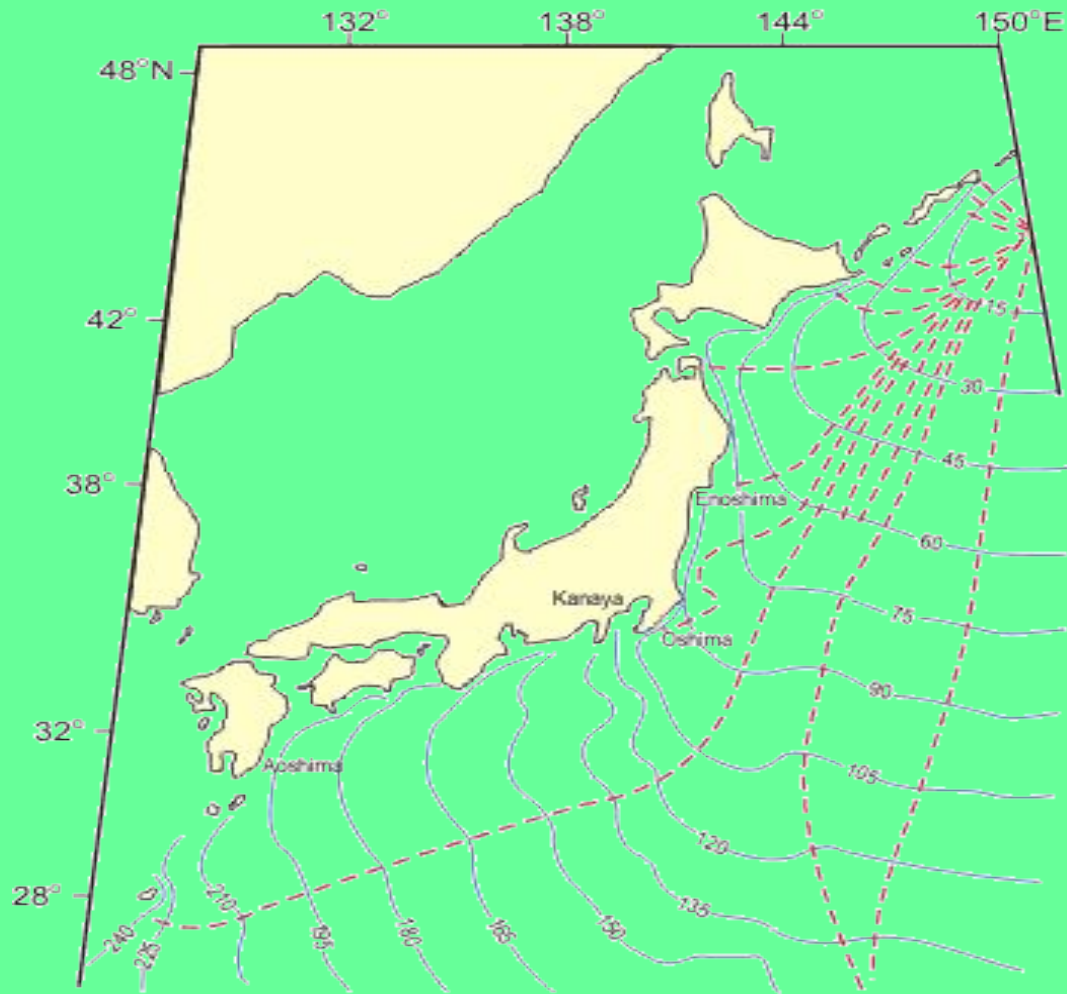
$V = (g \times H) \times 0.5$ , где  $H$  - глубина океана

# Механизмы распространения волн цунами

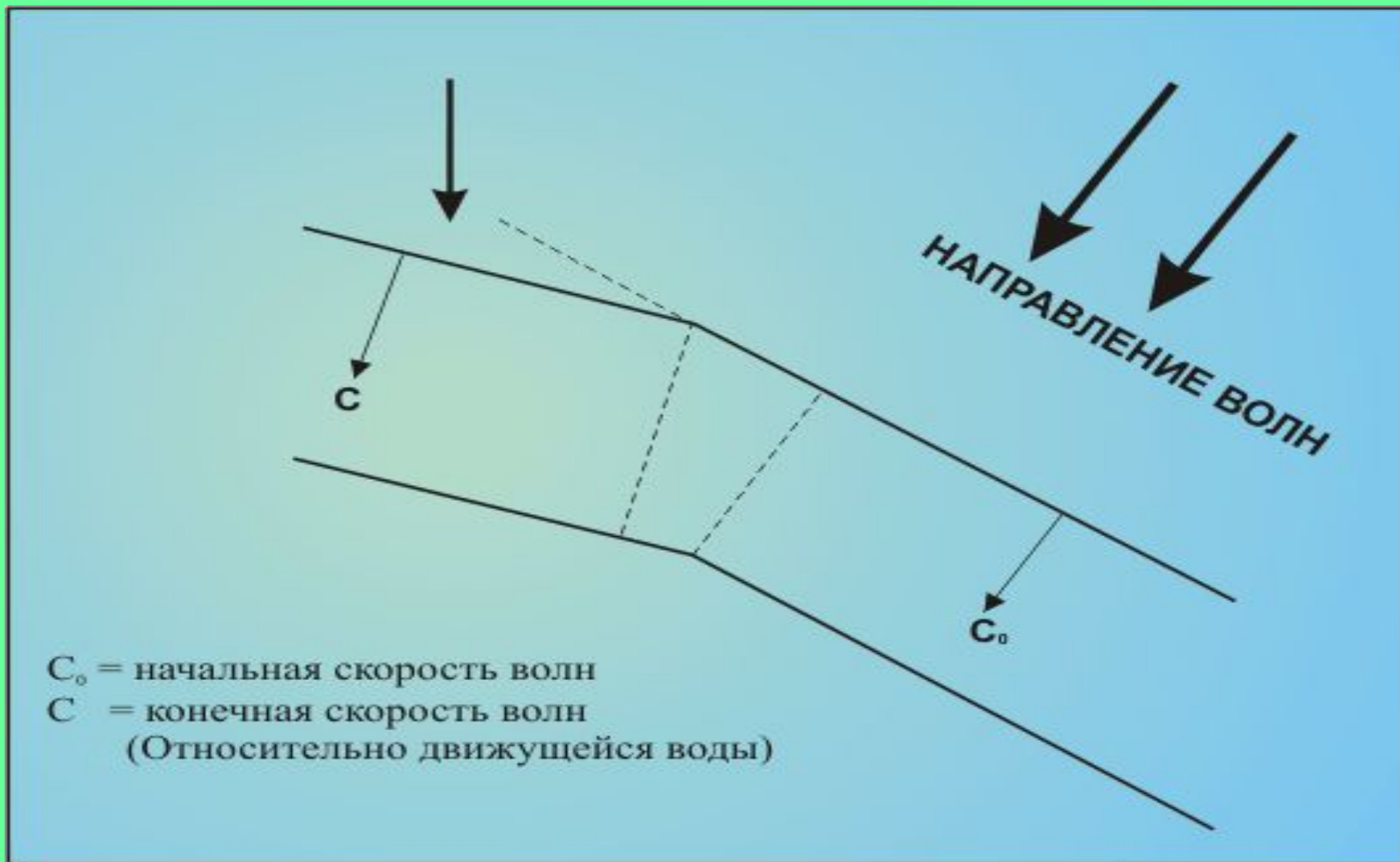
Существует несколько общих концепций о механизме распространения волн - рефракции и дифракции волн. Эти явления имеют важное значение для понимания закономерностей распространения цунами.

## Рефракция волн

- Бегущие волны с могут обладать длиной волны значительно превышающей глубину воды в том месте, где они проходят. Такие волны называются волнами на мелкой воде, или длинными волнами.
- Так как волны обладают значительной длиной, различные части волны могут оказаться над различной глубиной (особенно возле побережий) в данный момент времени.
- В связи с тем, что скорость длинной волны зависит от глубины, различные части волны распространяются с различными скоростями, вызывая искривление волн. Это называется рефракцией.
- Есть и другой механизм рефракции волн на воде, даже при больших глубинах и в отсутствии топографических неровностей. Течения, направленные под углом к волнам, могут изменить их направление распространения и повлиять на длину волны.



**Примеры рефракции волн цунами**



**Рефракция волн под действием течения**

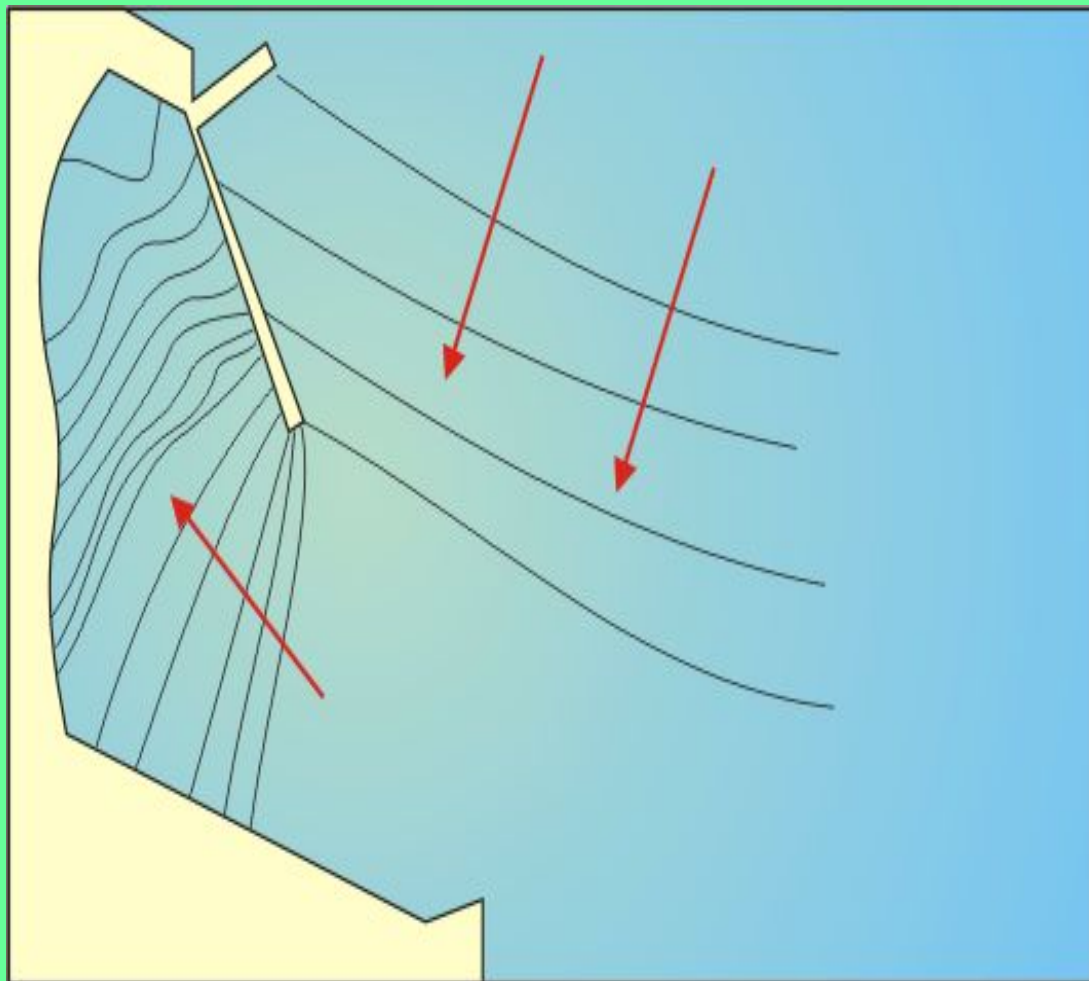
# Рефракция волн

- Когда цунами приближается к побережью, волны видоизменяются под действием различных характеристик прибрежного и берегового рельефа. Подводные гряды и рифы, континентальный шельф, очертания мысов и заливов, крутизна береговой полосы могут изменить период волны и высоту волны, вызвать резонанс волн, отражение энергии волн и/или преобразовать волны в приливной вал (бор), который обрушивается на берег.
- Океанические хребты очень слабо защищают побережье. Хотя небольшое количество энергии цунами может отразиться от подводного хребта, большая часть энергии переносится через хребет к береговой линии. Цунами 1960 года, образовавшееся вдоль побережья Чили, является характерным примером этого. Волны этого цунами имели значительную высоту вдоль всего побережья Японии, включая острова Сикоку и Кюсю, которые располагаются за хребтом Южного Хонсю.

# Дифракция волн

- Дифракция - это хорошо известное явление, особенно в оптике и акустике. Это явление можно грубо считать искривлением волн вокруг объектов.
- Именно дифракция позволяет волнам проходить через препятствия в гавани, так как энергия переносится поперечно по отношению к гребню волны, как показано на схеме ниже.
- Искривление движения имеет значительно меньший масштаб, чем рефракция, которая является простой реакцией на изменения скорости. Когда цунами приближается к побережью, волны видоизменяются под действием различных характеристик прибрежного и берегового рельефа. Подводные гряды и рифы, континентальный шельф, очертания мысов и заливов, крутизна береговой полосы могут изменить период волны и высоту волны, вызвать резонанс волн, отражение энергии волн и/или преобразовать волны в приливной вал (бор), который обрушивается на берег.
- Океанические хребты очень слабо защищают побережье. Хотя небольшое количество энергии цунами может отразиться от подводного хребта, большая часть энергии переносится через хребет к береговой линии. Цунами 1960 года, образовавшееся вдоль побережья Чили, является характерным примером этого. Волны этого цунами имели значительную высоту вдоль всего побережья Японии, включая острова Сикоку и Кюсю, которые располагаются за хребтом Южного Хонсю.

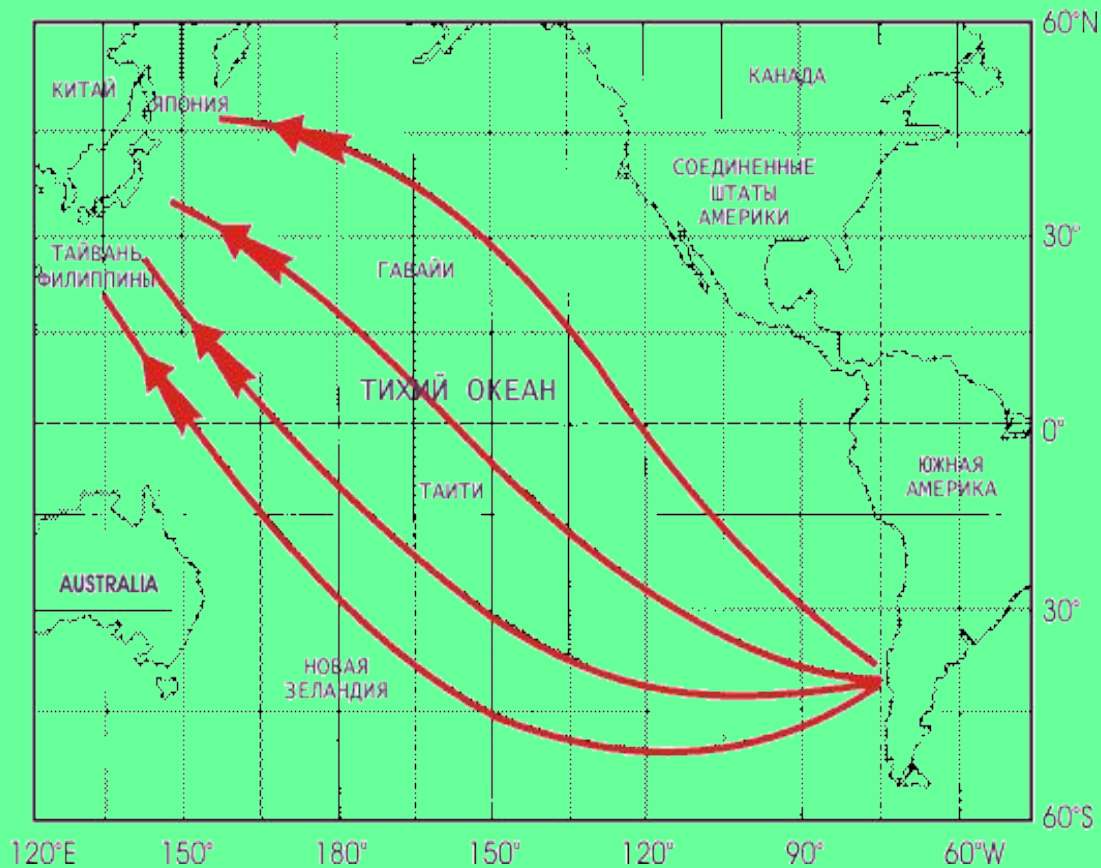




**Дифракция-**  
искривление волн  
вокруг объектов.  
Именно такое  
движение  
позволяет волнам  
проходить через  
препятствия в  
гавани. Энергия  
переносится  
поперечно по  
отношению к  
гребню волны

# Цунами удаленного происхождения

- Когда цунами распространяются на большие расстояния через океаны, необходимо принимать во внимание сферичность Земли, чтобы определить воздействие цунами на удаленные побережья.
- Волны, которые расходятся в разные стороны от источника образования, могут вновь сойтись в точке на противоположном конце океана. Примером этого явилось цунами 1960 года с источником на побережье Чили. В результате схождения (конвергенции) непреломленных лучей волн на побережье Японии произошли сильные разрушения и погибло более 700 людей.
- Кроме указанного эффекта направления (лучи) цунами также отклоняются от своего естественного пути вдоль максимальных окружностей из-за рефракции лучей под воздействием разницы в глубине мест, стремясь к более глубоким местам. Влияние такой рефракции на волны цунами удаленного происхождения приводит к тому, что не всегда цунами сходятся в одном месте на противоположном конце океана.



**Конвергенция-  
схождение волн в  
одной точке**

**Конвергенция волн цунами при землетрясении  
1960 года в Чили**

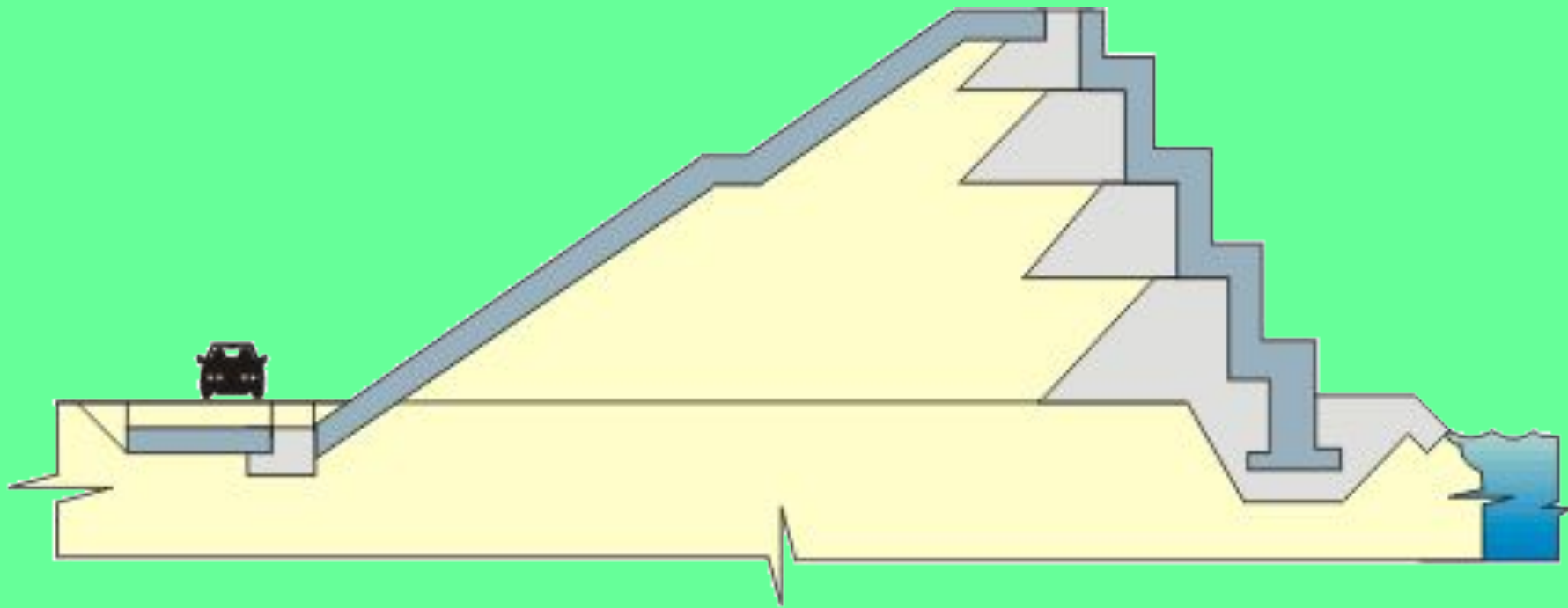


Положения фронта чилийского цунами 22 мая 1960 г., полученные с использованием ЭВМ. Видно, что через 14 ч волна пришла на Гавайские острова и к Новой Зеландии, через 19 ч она достигла берегов Австралии, а через 22 ч берегов Японии.

# ЗАЩИТА ОТ ЦУНАМИ

- Невозможно полностью защитить какой-либо берег от разрушительной силы цунами. Во многих странах пытались строить молы и волноломы, дамбы и другие сооружения с целью ослабить силу воздействия цунами и уменьшить высоту волн.
- В Японии инженеры построили широкие набережные для защиты портов и волноломы перед входами в гавани, чтобы сузить эти входы и отвести или уменьшить энергию мощных волн.
- Но ни один тип защитных сооружений не смог предоставить стопроцентную защиту низко расположенных побережий. Фактически барьеры иногда могут только усилить разрушения, если волны цунами пробьют брешь в них, с силой бросая на дома и другие сооружения куски бетона, как снаряды.
- В некоторых случаях деревья могут предоставить защиту от волн цунами. Рощи деревьев сами по себе или в дополнение к береговым защитным сооружениям могут гасить энергию цунами и уменьшить высоту волн цунами.

# ЗАЩИТА ПОБЕРЕЖИЙ

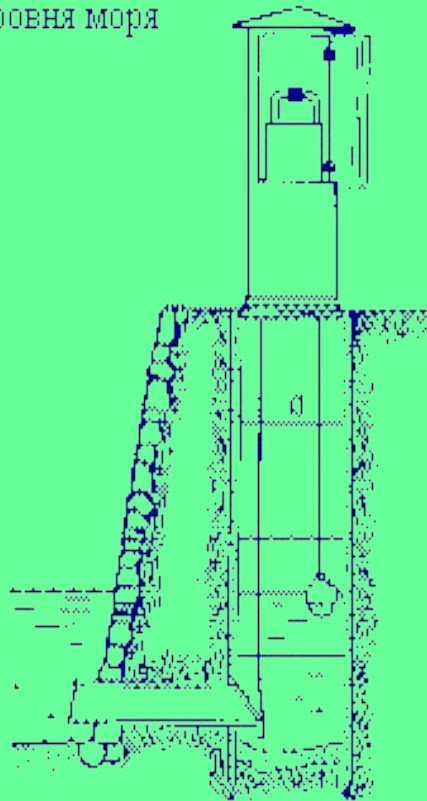


Волнолом для защиты низко расположенных побережий

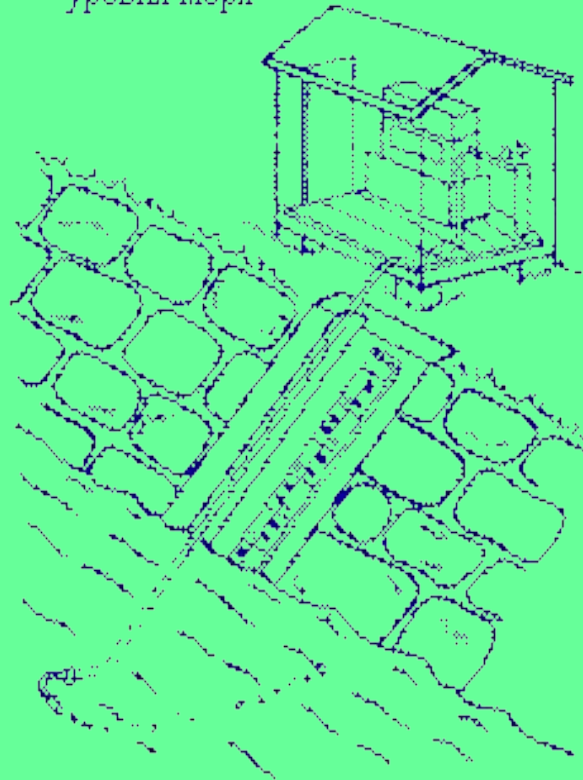
# Система предупреждения о цунами

- Основной целью Системы предупреждения о цунами в Тихоокеанском регионе является обнаружение и привязка зон сильных землетрясений в регионе, определение их связи с образованием цунами в прошлом, предоставление своевременной информации и предупреждение населения с целью уменьшения опасности, особенно с точки зрения угрозы человеческой жизни.
- Для достижения этой цели Система предупреждения о цунами непрерывно следит за сейсмической обстановкой и уровнем поверхности океана в Тихоокеанском регионе.
- Система предупреждения о цунами - это международная программа, требующая участия многих служб, которые занимаются вопросами сейсмичности, приливных явлений, связи и распространения информации в различных странах Тихоокеанского региона.
- Административно 25 стран-участниц, включая Россию, объединены в рамках Международной океанографической комиссии как члены Международной координационной группы по Системе предупреждения о цунами в Тихоокеанском регионе (ICG/ITSU).
- Центр предупреждения о цунами в Тихоокеанском регионе (PTWC = ТЦПЦ) собирает и производит оценку данных, предоставляемых странами-участницами, и издает соответствующие информационные бюллетени для всех участников о сильных землетрясениях и возможной или подтвержденной вероятности образования цунами.

Поплавковый самописец  
уровня моря



Пневматический самописец  
уровня моря



Самописцы уровня моря (мареографы)





Сейсмические станции и станции наблюдения за приливами Системы предупреждения о цунами в Тихоокеанском регионе

# Режим функционирования

- Функционирование Системы начинается с момента определения любой сейсмической станцией землетрясения такой силы, что срабатывает устройство сигнала тревоги
- 
- Сотрудники станции немедленно интерпретируют полученные сейсмограммы и посылают информацию в ТЦПЦ. Центр посылает запросы на предоставление данных от других станций Системы.
- Когда в ТЦПЦ получают достаточно данных для определения координат эпицентра землетрясения и его магнитуды, принимается план дальнейших действий.
- Издаются Бюллетени предупреждения/наблюдения за цунами по всем землетрясениям магнитудой более 7,5 с целью оповещения общественности о возможности образования цунами.
- Оцениваются данные, полученные от станций; если они показывают, что образовалось цунами опасное для населения Тихоокеанского региона, Бюллетень функционирует как предупреждения для региона. Соответствующие организации проводят эвакуацию людей из опасных областей по заранее разработанным схемам.
- Если станции наблюдения показывают образование не представляющего опасности цунами (или отсутствие цунами), ТЦПЦ аннулирует содержание ранее разосланного Бюллетеня

# Локальные цунами

- Когда возникает цунами местного происхождения, оно воздействует на береговую линию сразу же после события (землетрясение, подводное извержение вулкана или обвал). Иногда отмечались случаи прихода цунами на ближайшее побережье через 2 минуты после момента его образования.
- По этой причине система предупреждения о цунами в этом случае бесполезна
- Малая эффективность систем предупреждения о цунами объясняется еще и тем, что при землетрясении могут отказать системы связи и другие инфраструктуры.
- Поэтому очень важно обучение населения приемам гражданской обороны и заблаговременная разработка правильных планов действия на случай цунами.

# Региональные системы предупреждения

- В некоторых областях Тихоокеанского бассейна функционируют национальные и региональные системы предупреждения о цунами
- Региональные системы предупреждения способны выдать сигнал тревоги в самое кратчайшее время и предупредить население на основании лишь данных о землетрясении, не ожидая информации о возможном образовании цунами.
- Для эффективного функционирования эти региональные системы используют информацию от ряда сейсмических станций и станций наблюдения за приливами. В связи с тем, что предупреждения выдаются лишь на основе сейсмологических данных, иногда эти предупреждения не подтверждаются образованием цунами. Но, так как эти предупреждения распространяются на ограниченной области, это приемлемо, так как достигается более высокий уровень защищенности людей.
- Наиболее сложные государственные системы предупреждения созданы во Франции, Японии, России и США.

# ВЫВОДЫ

- Цунами - это серия океанских волн большой длины и периода, вызванных возмущениями, связанными главным образом с землетрясениями, происходящими под дном океана.
- Другими причинами цунами являются извержения вулканов, обвалы и техногенные воздействия, такие как подводные атомные взрывы.
- Скорость распространения волн цунами зависит от глубины воды.
- Распространение волн цунами подвержено эффектам рефракции и дифракции волн.
- Волны цунами преобразуются при приближении к береговой линии. Высота волн цунами различна в каждой точке побережья.
- Сферичность Земли приводит к схождению лучей волн от цунами, образованного в удаленной точке.
- Разрушения, вызываемые цунами, происходят в основном из-за динамического действия волны, затопления и размыва фундаментов зданий, мостов и дорог и др.
- Оперативной задачей Системы предупреждения о цунами в Тихоокеанском регионе является обнаружение и определение местоположения сильных землетрясений и анализ данных о возможности возникновения в их результате цунами.

A close-up photograph of a large, powerful blue wave crashing over a smaller wave. The water is a deep, vibrant blue, and the white foam of the breaking wave is visible at the top. The word "спасибо" is overlaid in the center in a bright yellow, sans-serif font.

спасибо