

Носов Михаил Александрович

Физика цунами

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

Лекция №3



An aerial photograph capturing the devastating impact of a tsunami in Miyako City, Japan, on March 11, 2011. The image shows a massive wall of dark, churning water surging inland from the sea, completely inundating the coastal area. In the foreground, a paved road and sidewalk are partially submerged. A blue street sign for 'MIYAKO' is visible, along with a white van partially submerged in the water. In the background, residential buildings and a boat are visible, some partially underwater. The overall scene is one of chaos and destruction.

**Как и чем
зарегистрировать
цунами?**

Miyako City, Japan, 11 March 2011

Волна цунами в открытом океане

Что измерять?

амплитуда
(размах) волны

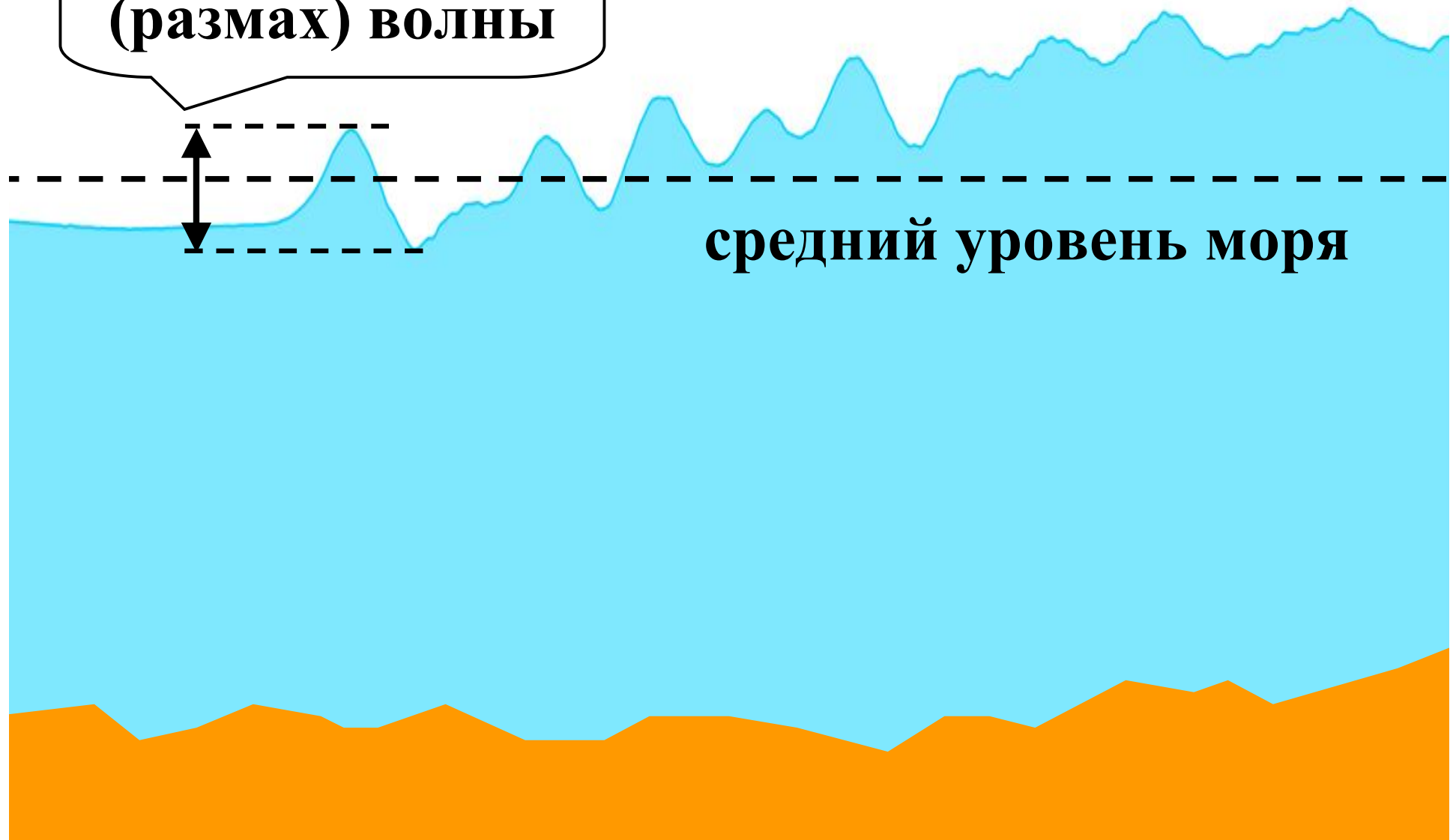
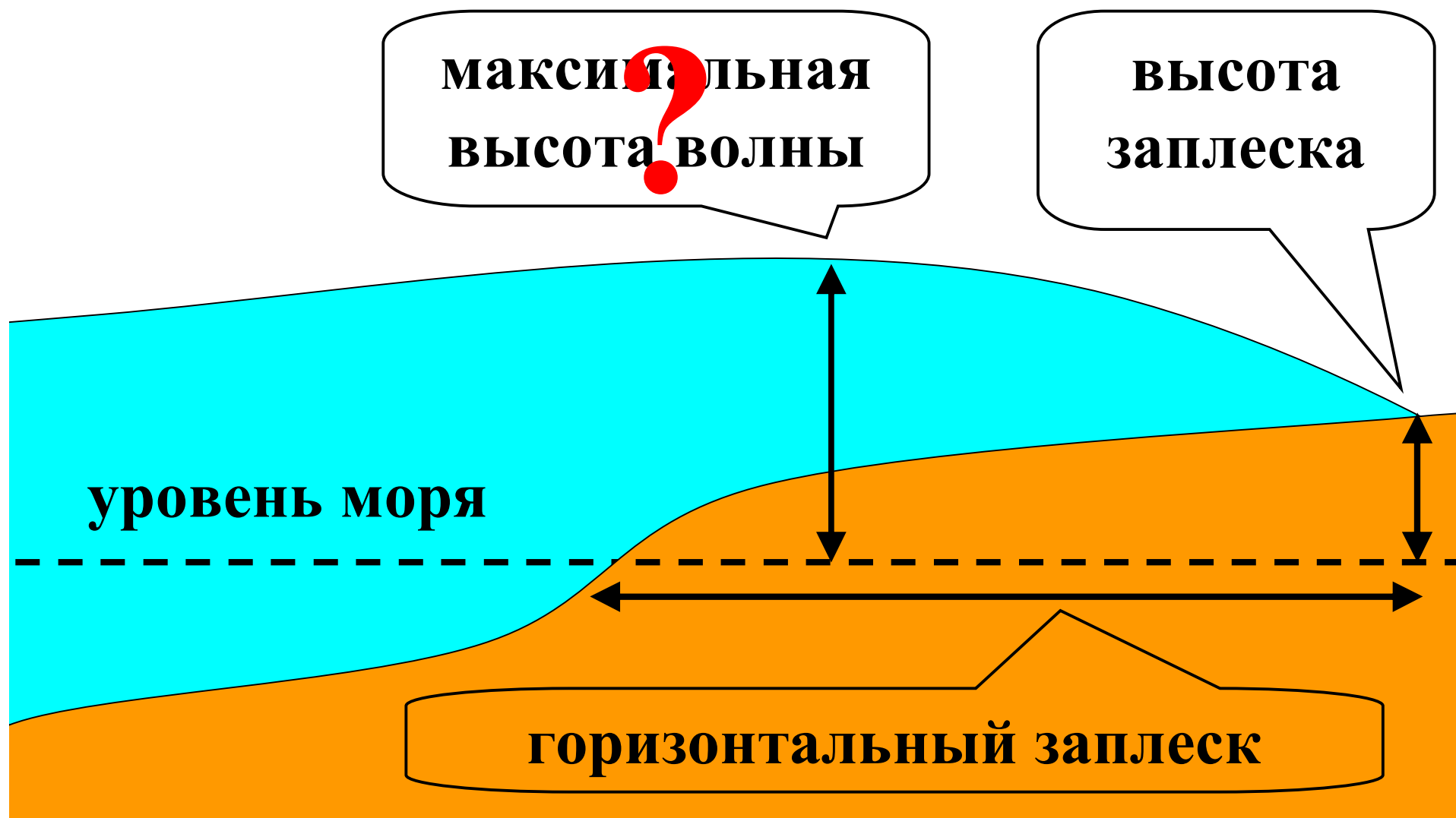
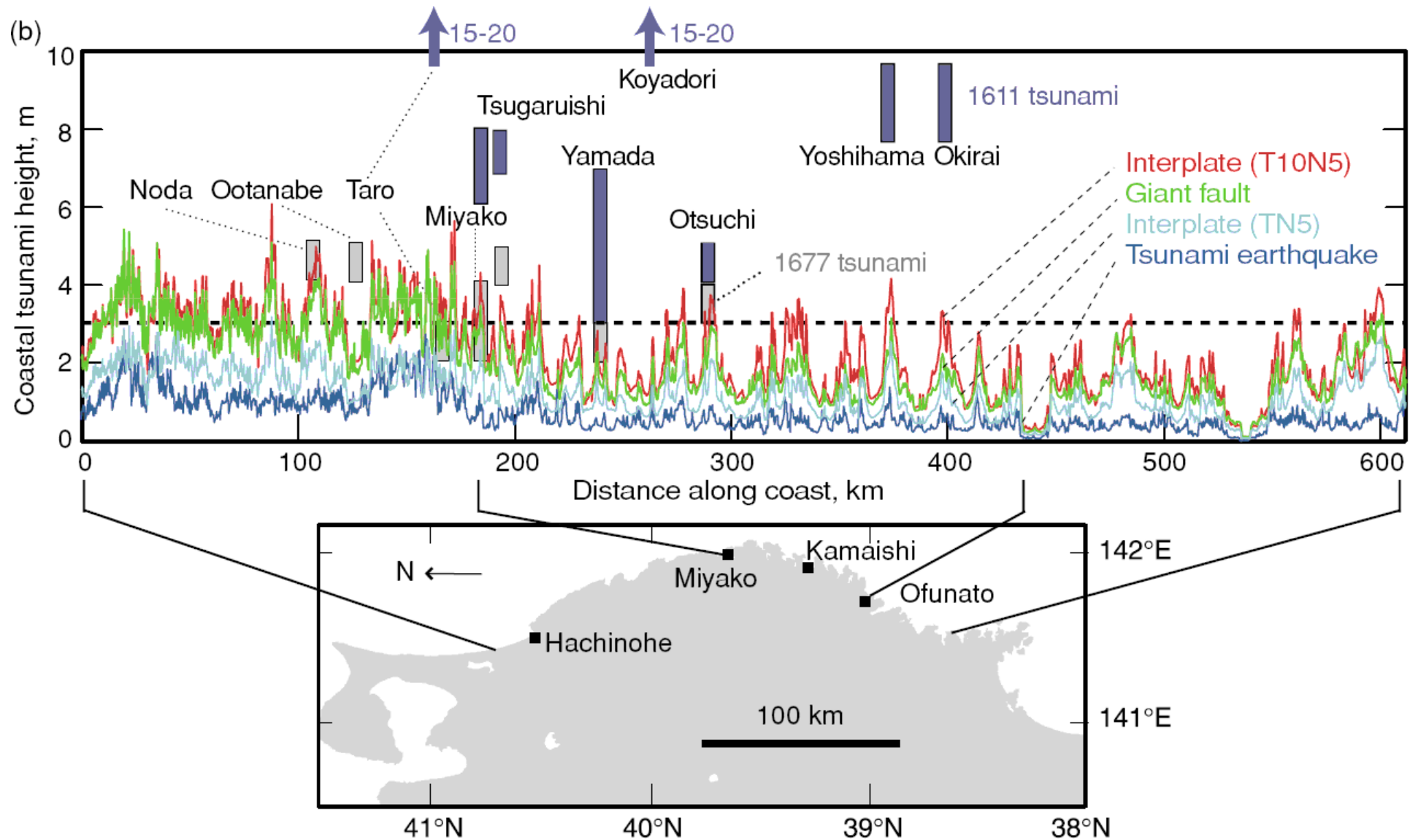


Схема наката цунами на берег

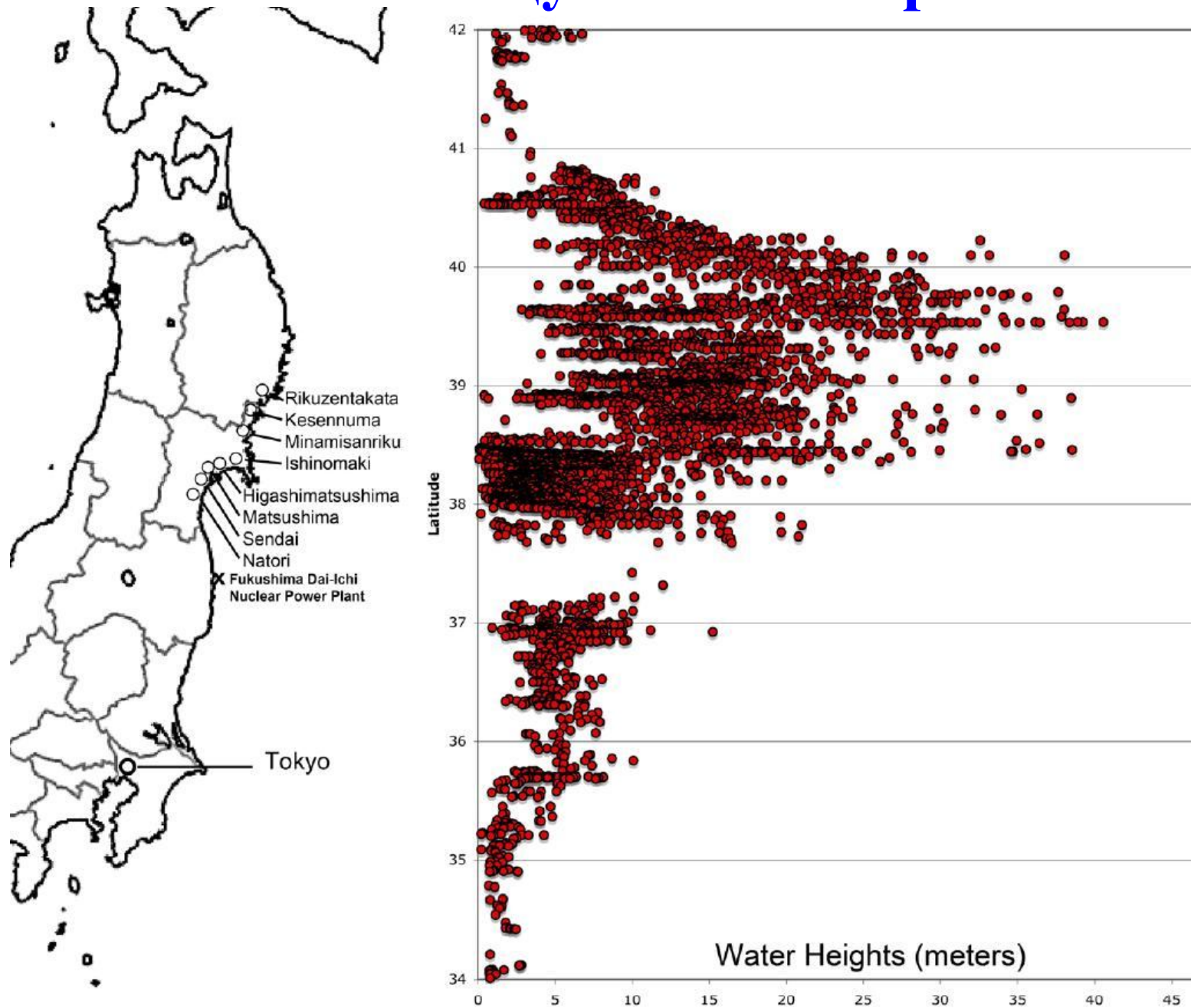
Что измерять?





[Satake et al., 2008]

Высоты заплеска цунами 11 марта 2011 г.



Способы регистрации волн цунами

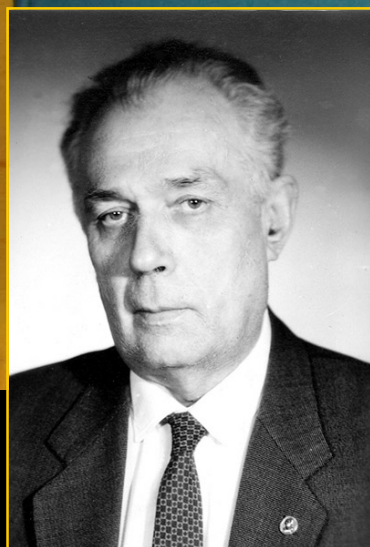
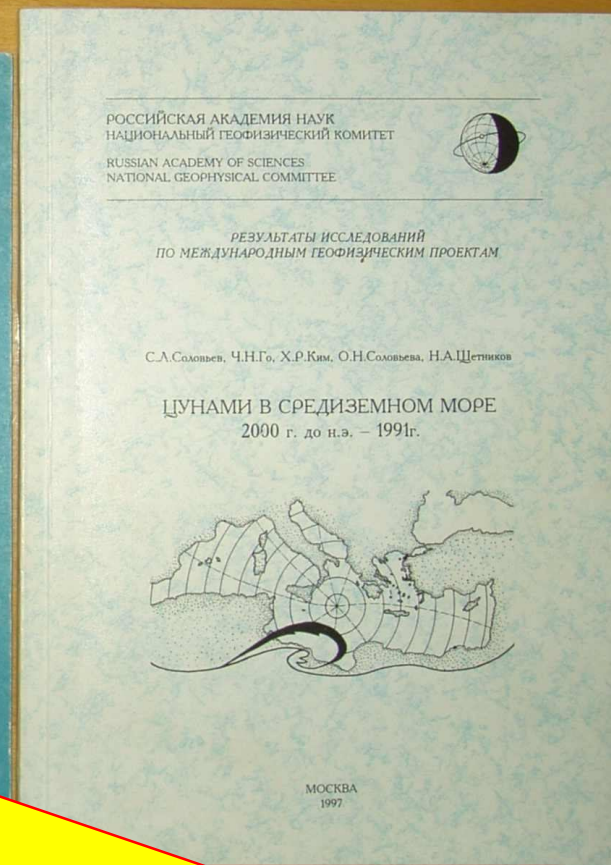
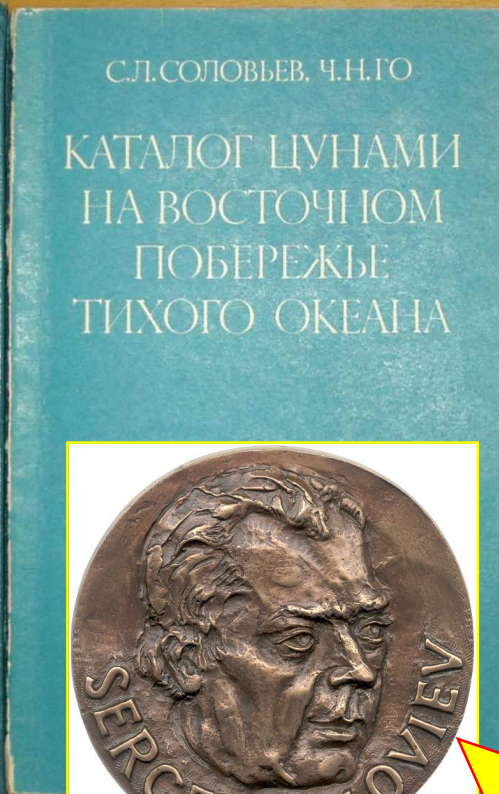
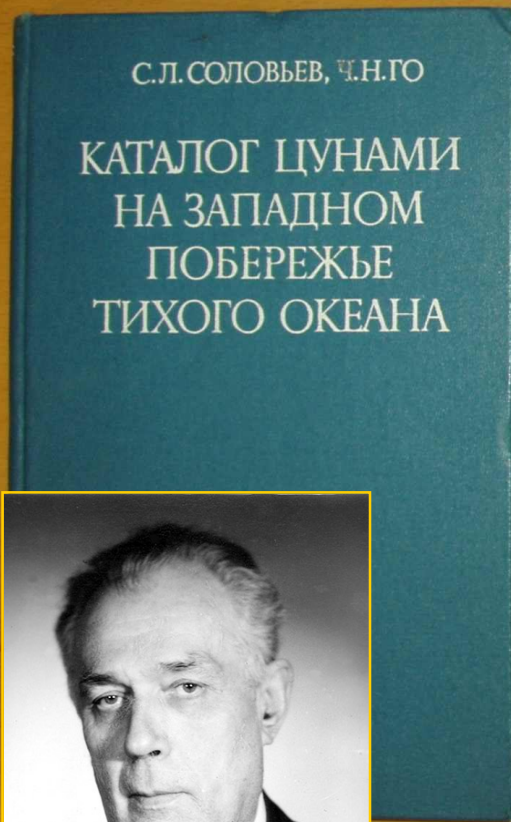
**наблюдения
очевидцев**

Цунами 1737 г. на Камчатке

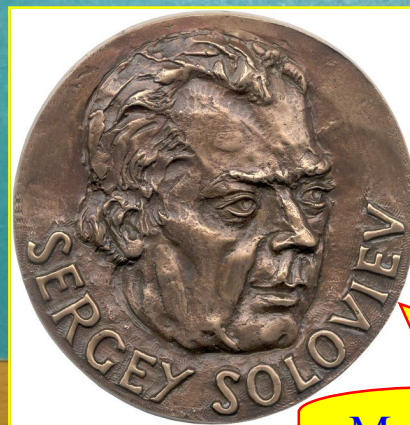
«Учинился на море ужасный шум и волнение, и вдруг взлилось на берега воды в вышину сажени на три, которая, ни мало не стояв, сбежала в море и удалилась от берегов на знатное расстояние. Потом вторично земля всколебалась, воды прибыло против прежнего, но при отлиии столь далеко она сбежала, что моря видеть невозможно было. В то время усмотрены в проливе на дне морском между первым и вторым Курильским островом каменные горы, которые до того никогда не виданы, хотя трясение и наводнение случалось и прежде. С четверть часа после того последовали валы ужасного и несравненного трясения, а при том взлилось воды на берег в вышину сажен на 30, которая по-прежнему, нимало не стояв, сбежала в море и вскоре встала на берегах своих, колыбаясь через долгое время... В некоторых местах луга холмами, а поля морскими заливами сделались».

С.П. Крашенинников «Описание земли Камчатки»

Каталоги цунами С.Л.Соловьева



С.Л.Соловьев
1930-1994



Медаль, учрежденная Европейским союзом наук о Земле (EGU)

Председатель Международной комиссии по цунами 1971-1979

1908, декабрь, 28, 5 ч 20 мин. Калабрийская дуга.

Катастрофические Мессинские землетрясение и цунами. Очаг находился под дном Мессинского пролива; магнитуда 7.

Цунами всколыхнуло донные осадки; со дна на поверхность пролива поднимались газовые пузыри; на пляж были выброшены незнакомые рыбакам морские животные и рыбы, в том числе, обычно обитающие на большой глубине - до 1600 м.

Рыбак из поселка Контемплациона вблизи Мессины рассказал, что в момент землетрясения он был в море и ловил рыбу: “Вдруг море начало кипеть и подниматься острыми волнами...”

1868, август, 13, 16 ч 45 мин.

Разрушительное землетрясение и катастрофическое цунами с очагом вблизи прибрежных городов Южного Перу. Цунами известно в литературе под названием Арикского.

Во время землетрясения ощущение было такое, как если бы судно сильно тряс какой-нибудь великан. Над городом поднялось густое облако пыли, вскоре распространившееся и до судов (из мемуаров Биллингса, наблюдавшего события с борта американского корабля “Уотери”).

После наступления темноты со стороны океана с громоподобным шумом надвинулась огромная “стена” фосфоресцирующей и пенящейся воды, смешанной с песком.

**фото и
видео
съемка в
т.ч. с ЛА**

**Способы
регистрации
волн цунами**

**наблюдения
очевидцев**





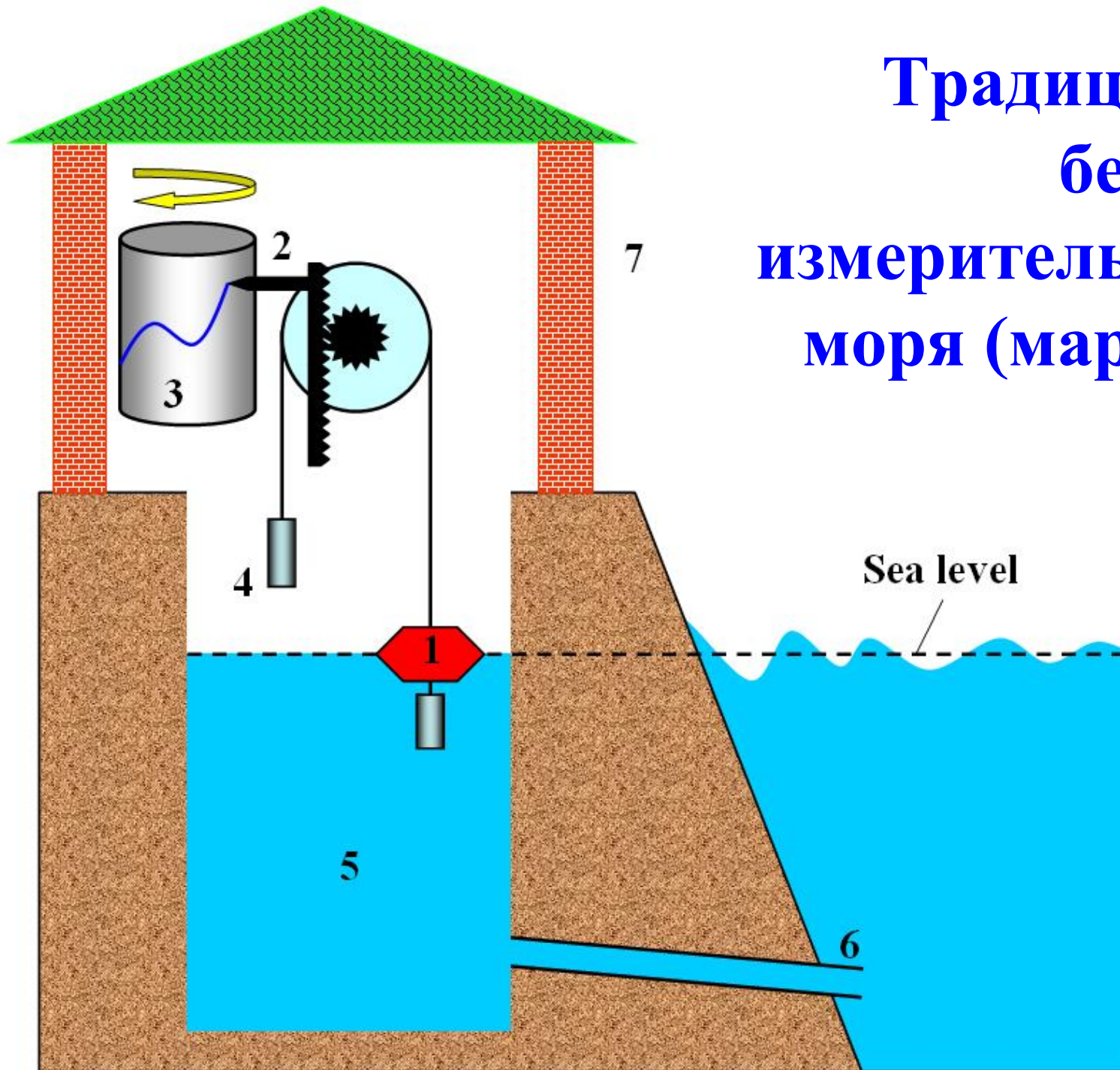
**фото и
видео
съемка в
т.ч. с ЛА**

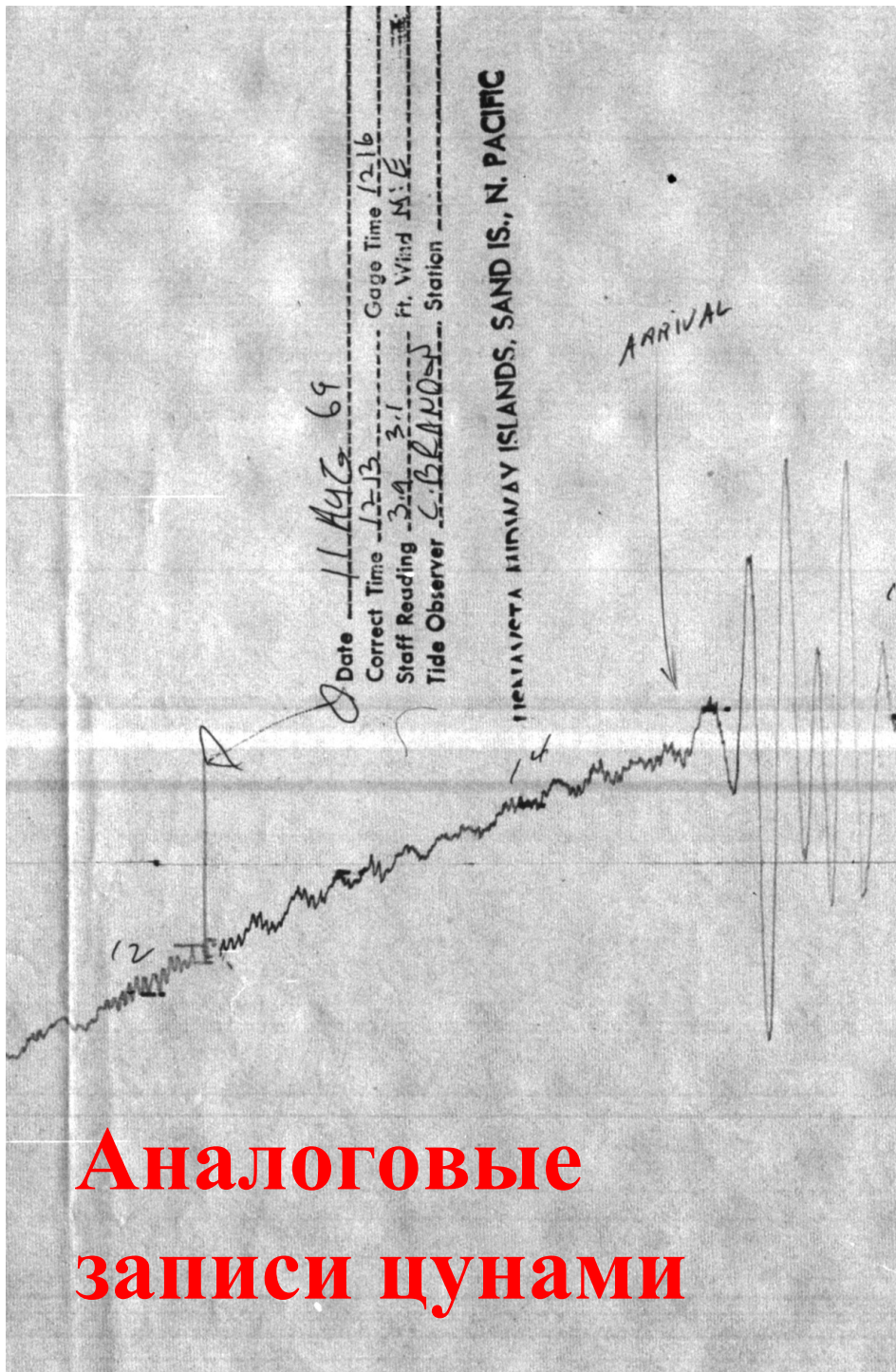
**Способы
регистрации
волн цунами**

**наблюдения
очевидцев**

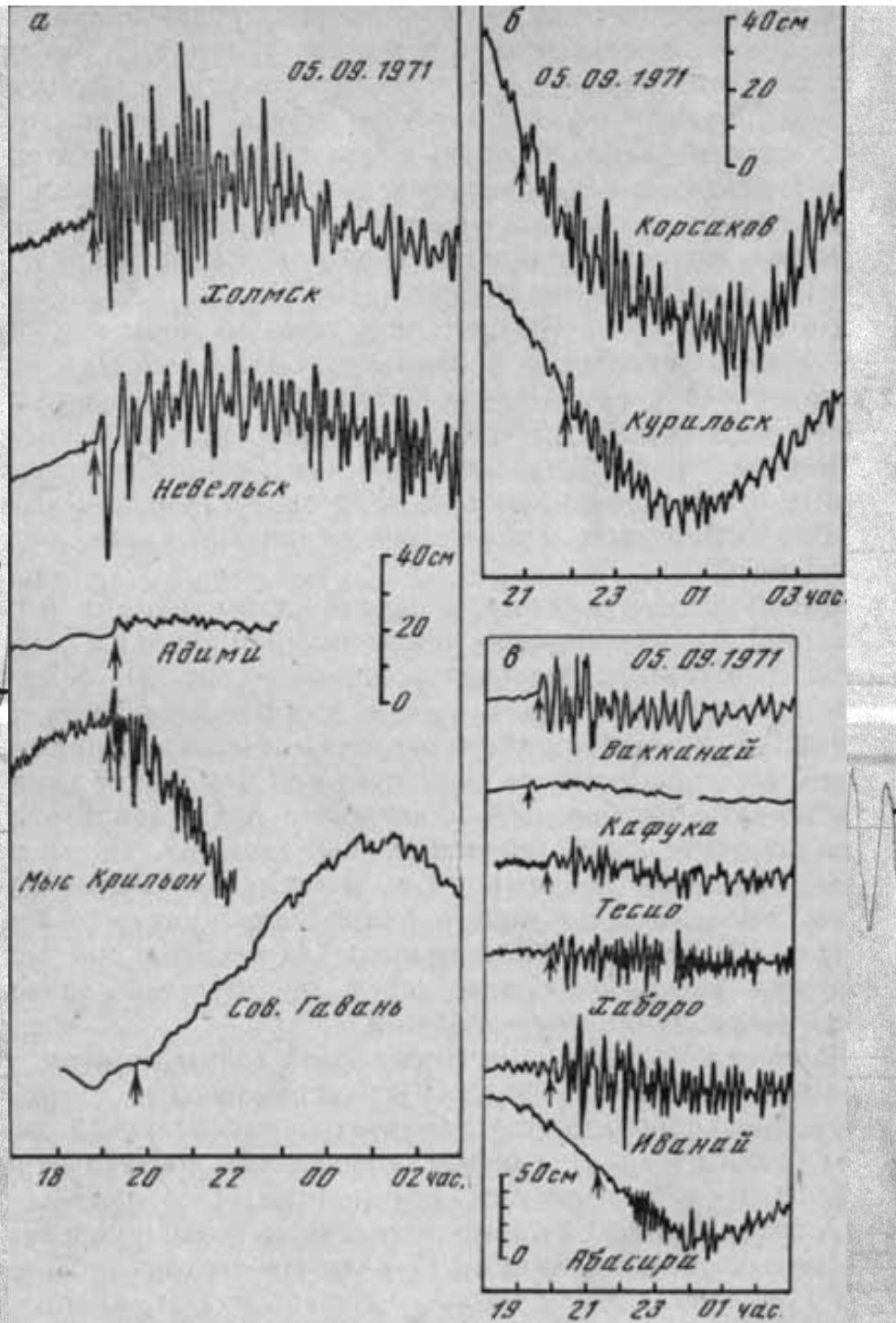
**береговые
станции
уровня моря**

Традиционный береговой измеритель уровня моря (мареограф)





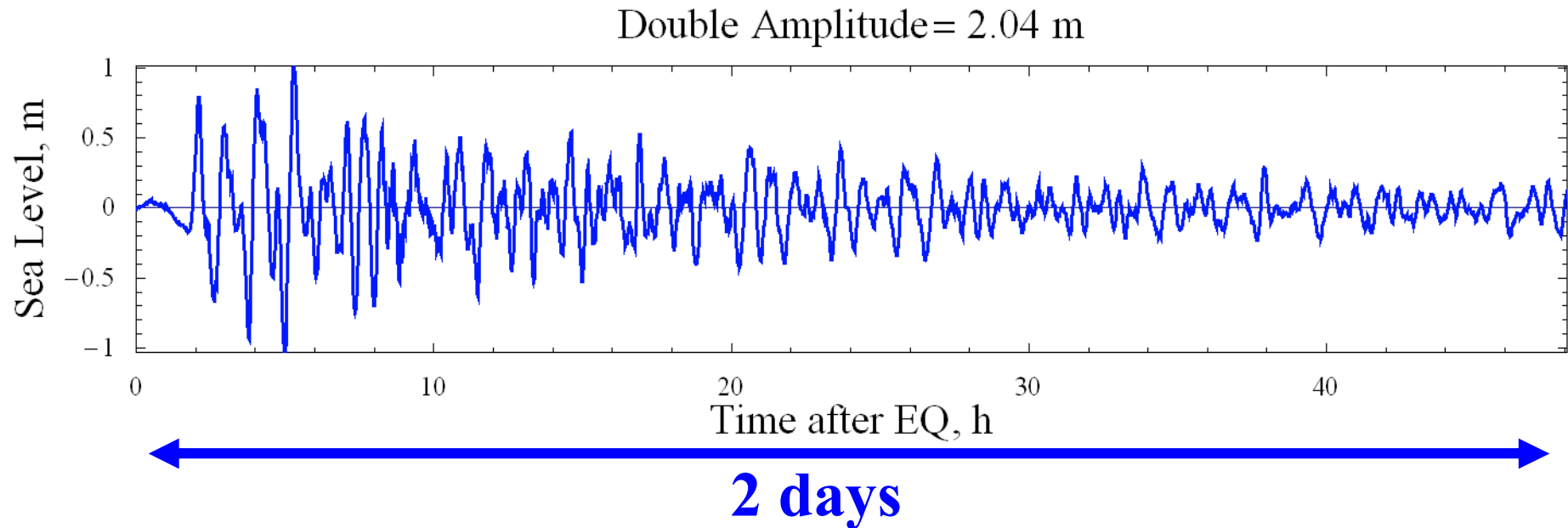
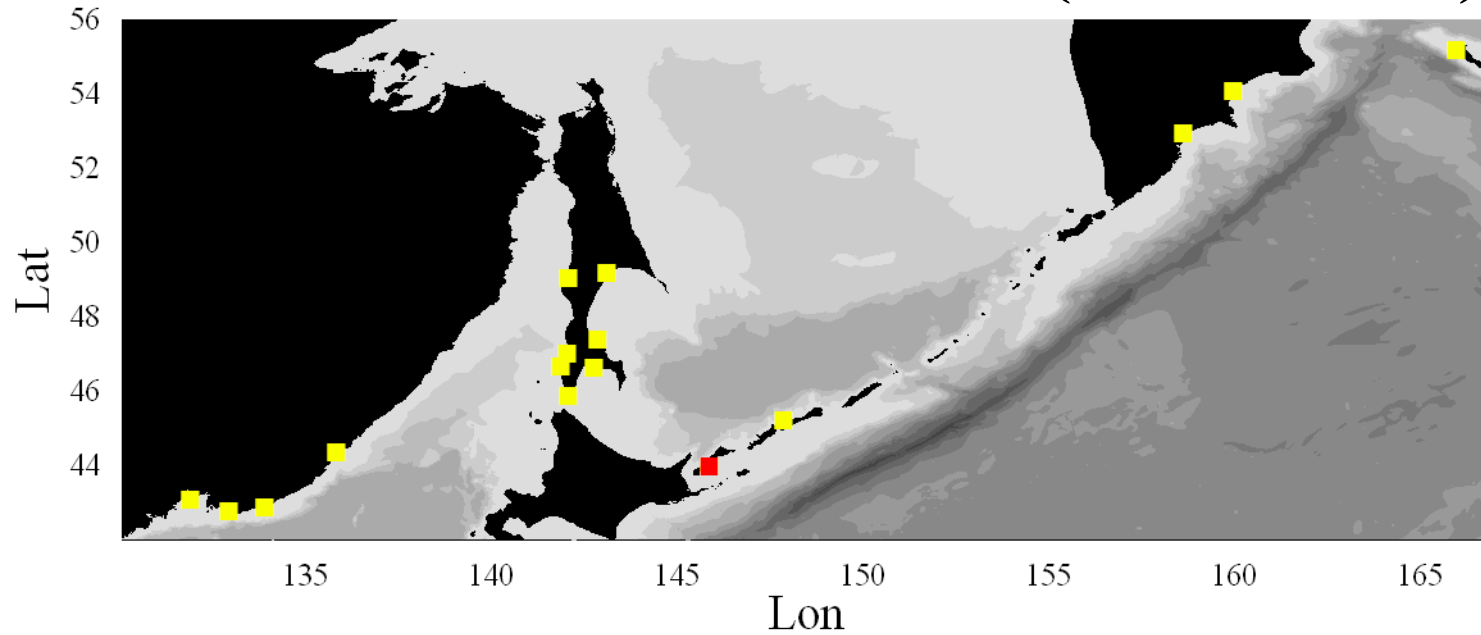
Аналоговые записи цунами



**Современные станции
используют множество
методов измерения
уровня и спутниковую
телеметрию для
передачи данных**



Youzhno-Kurilsk (Kunashir Isl.)



**фото и
видео
съёмка в
т.ч. с ЛА**

Способы регистрации волн цунами

**наблюдения
очевидцев**

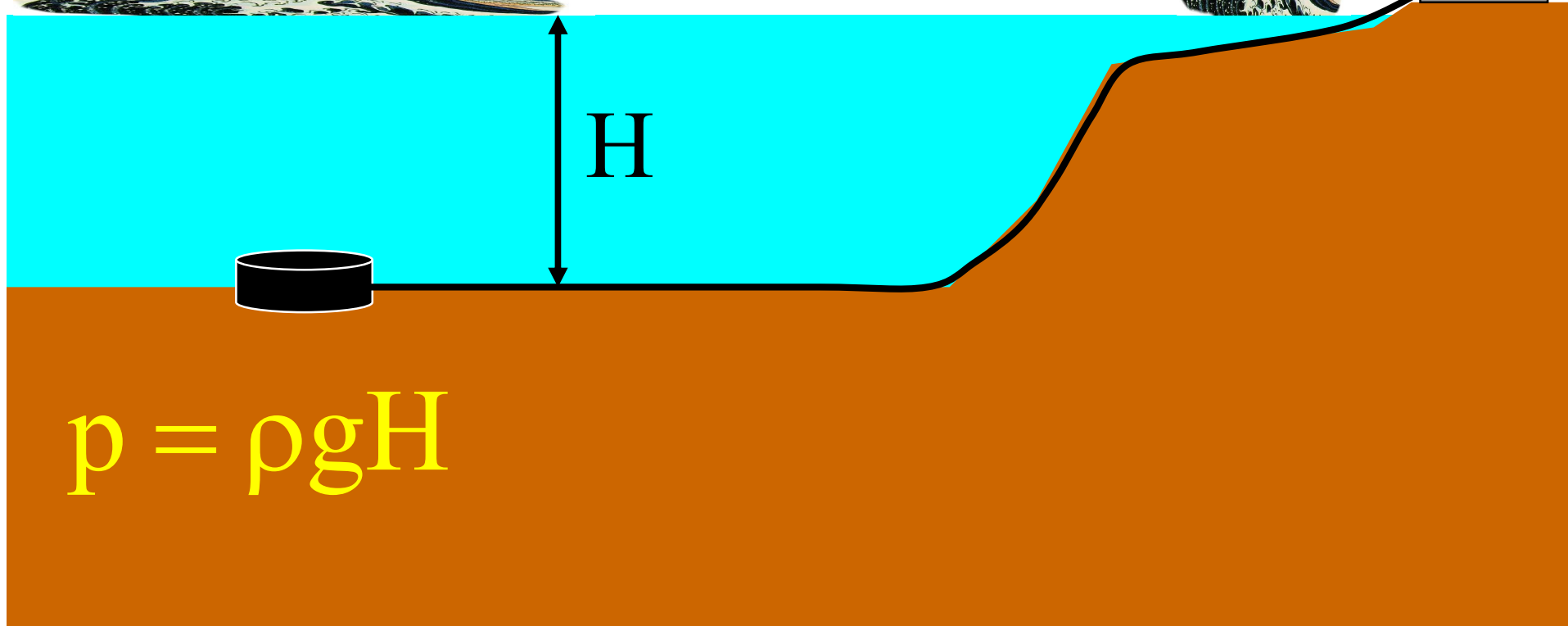
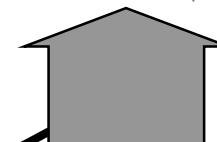
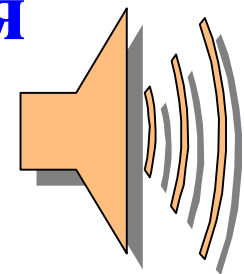
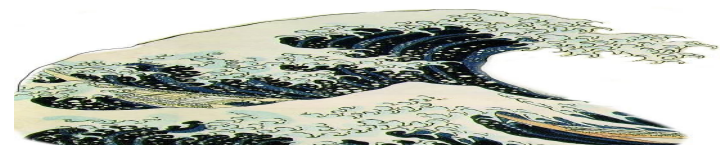
**глубоководные
измерители
давления**

**береговые
станции
уровня моря**

Сергей
Леонидович
Соловьев
(1930-1994)



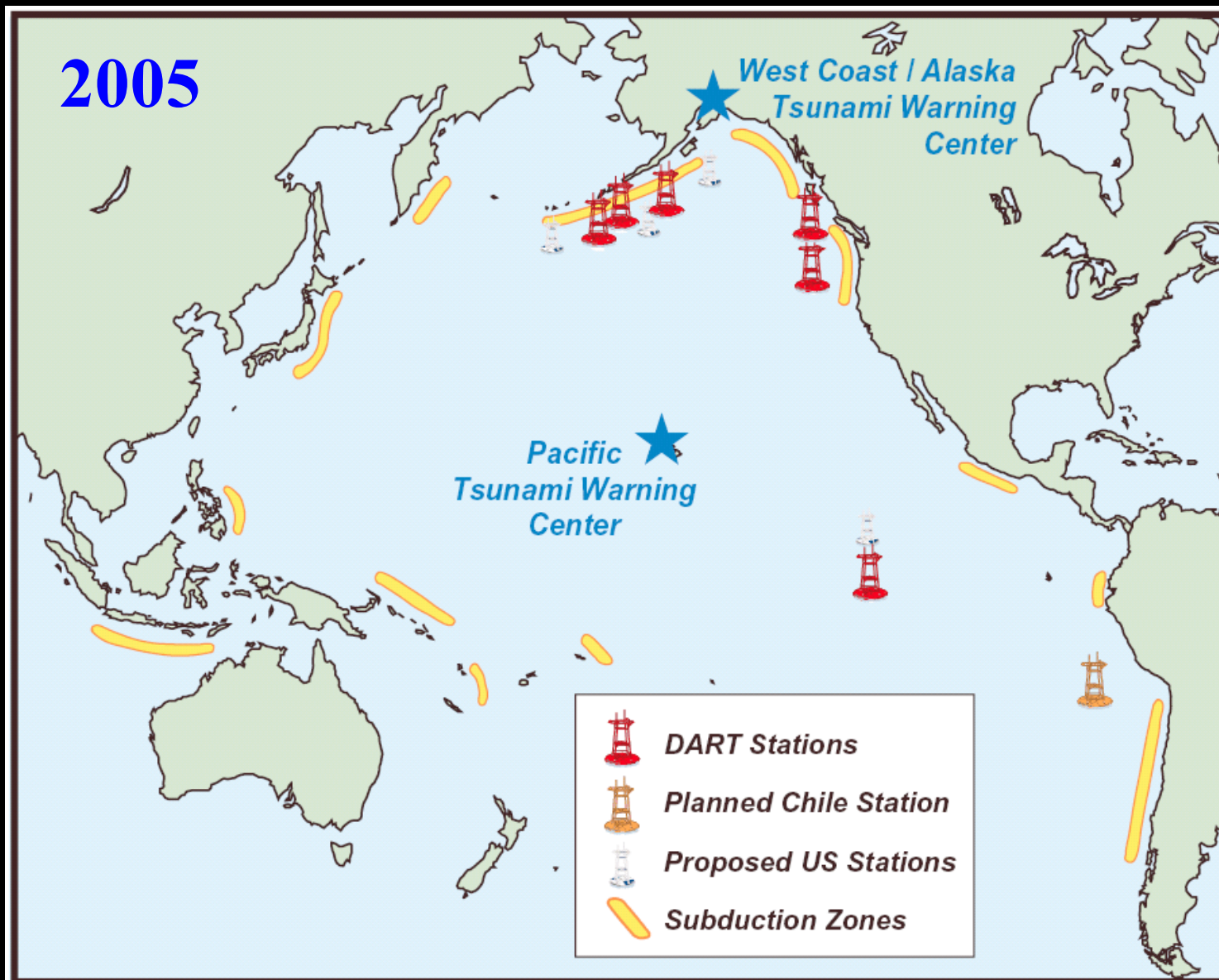
Глубоководные измерители давления



$$p = \rho g H$$

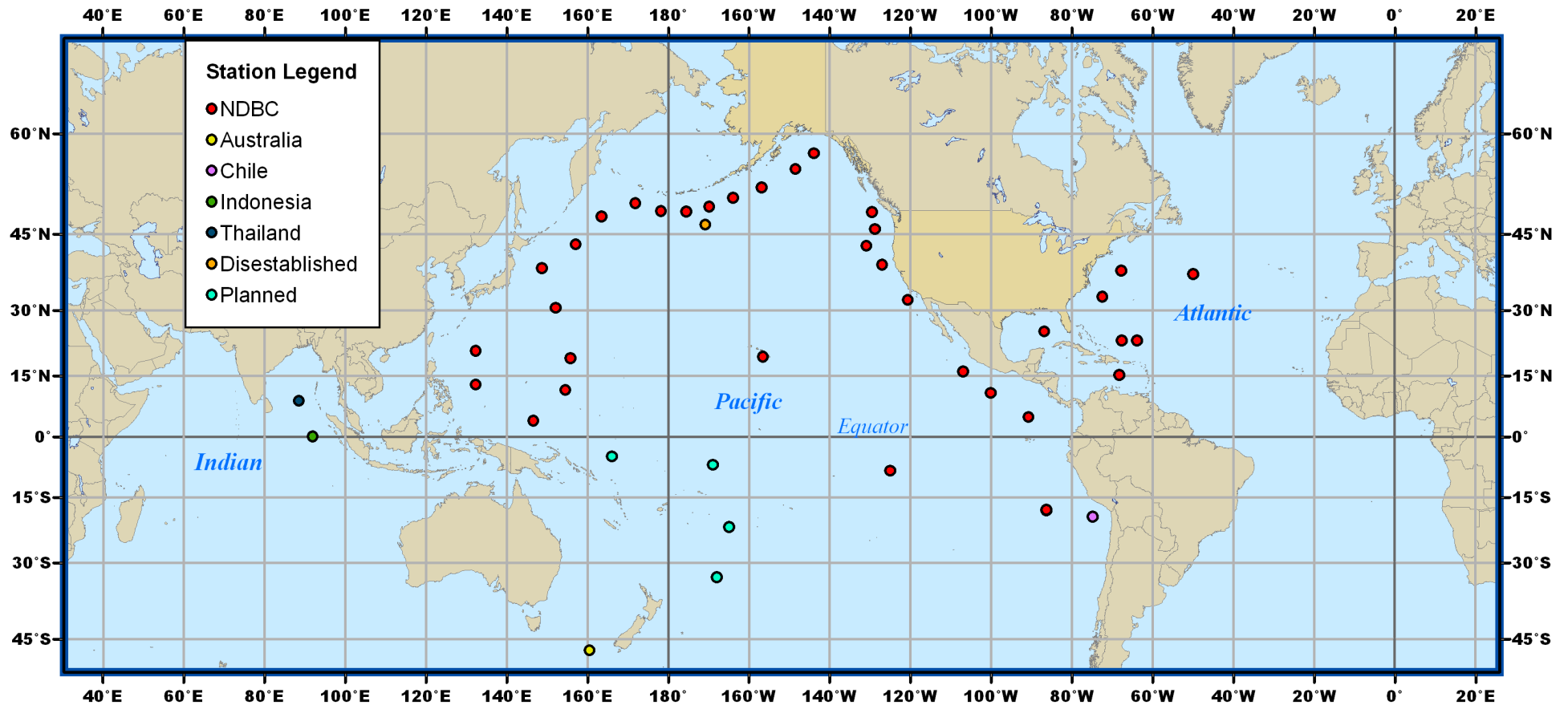
DART 2005

Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis



DART 2008 (>40)

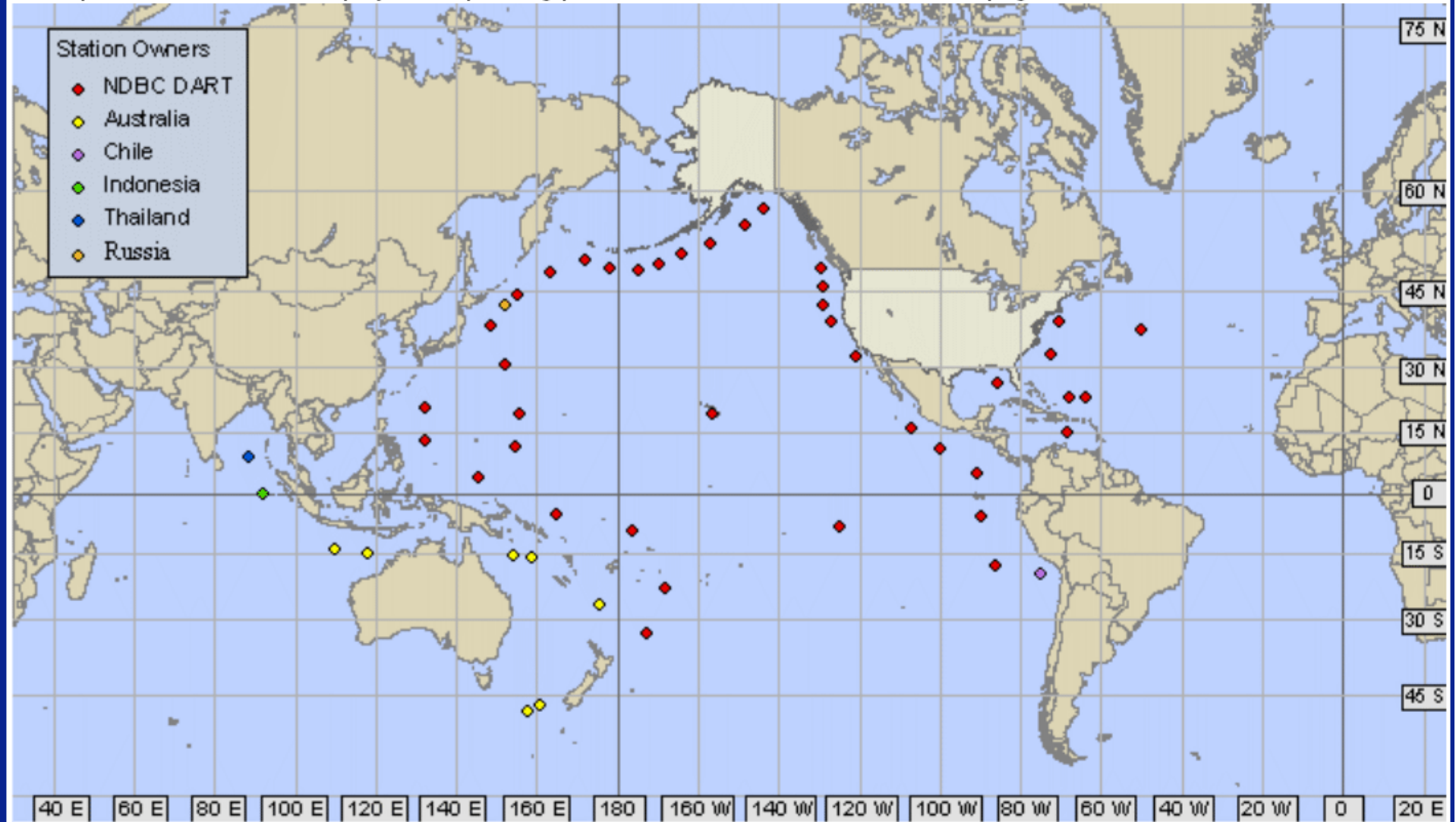
Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis



DART 2011 (>50)

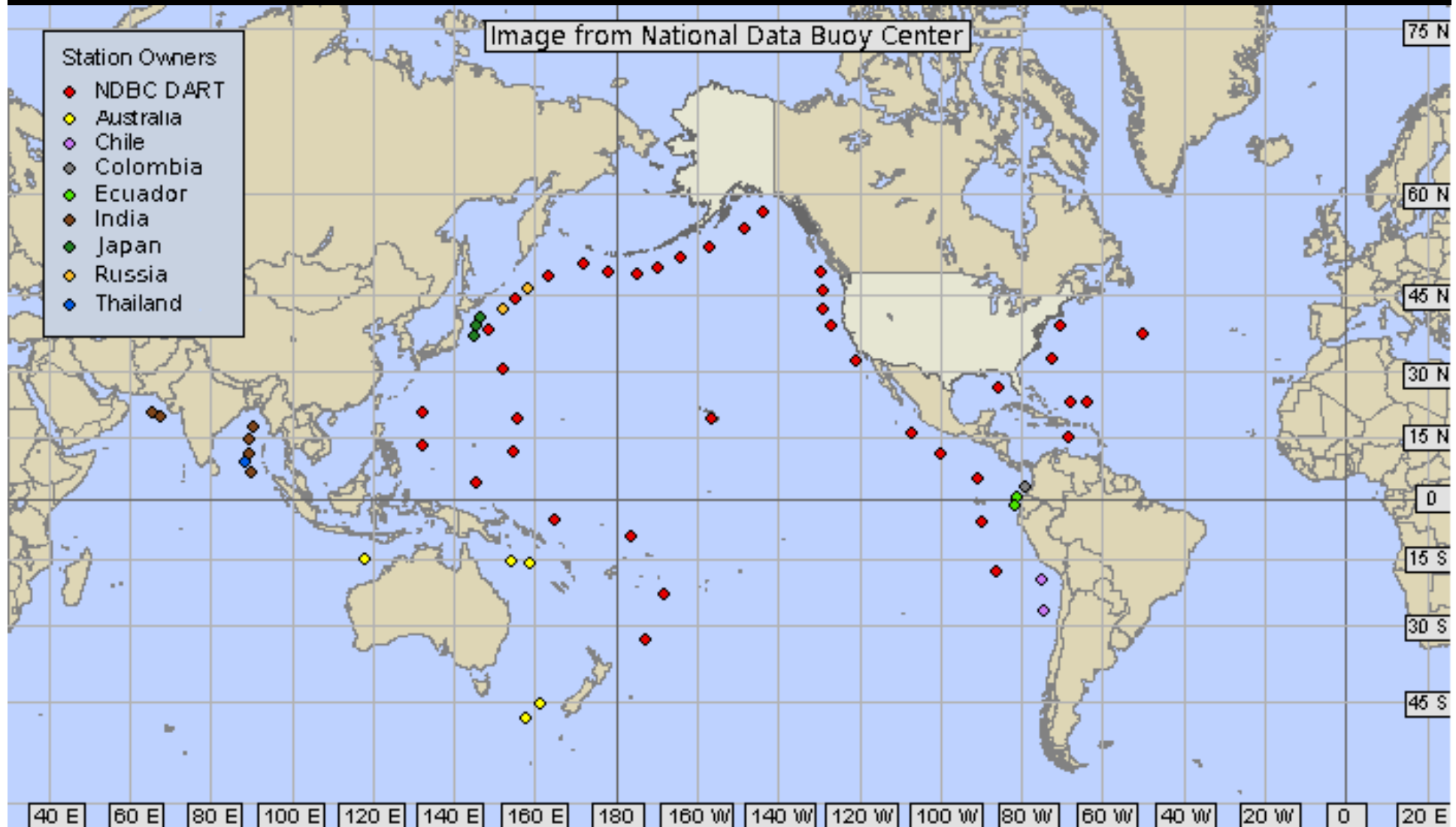
Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis

Place pointer on station to display corresponding plot or click on station to view station page.



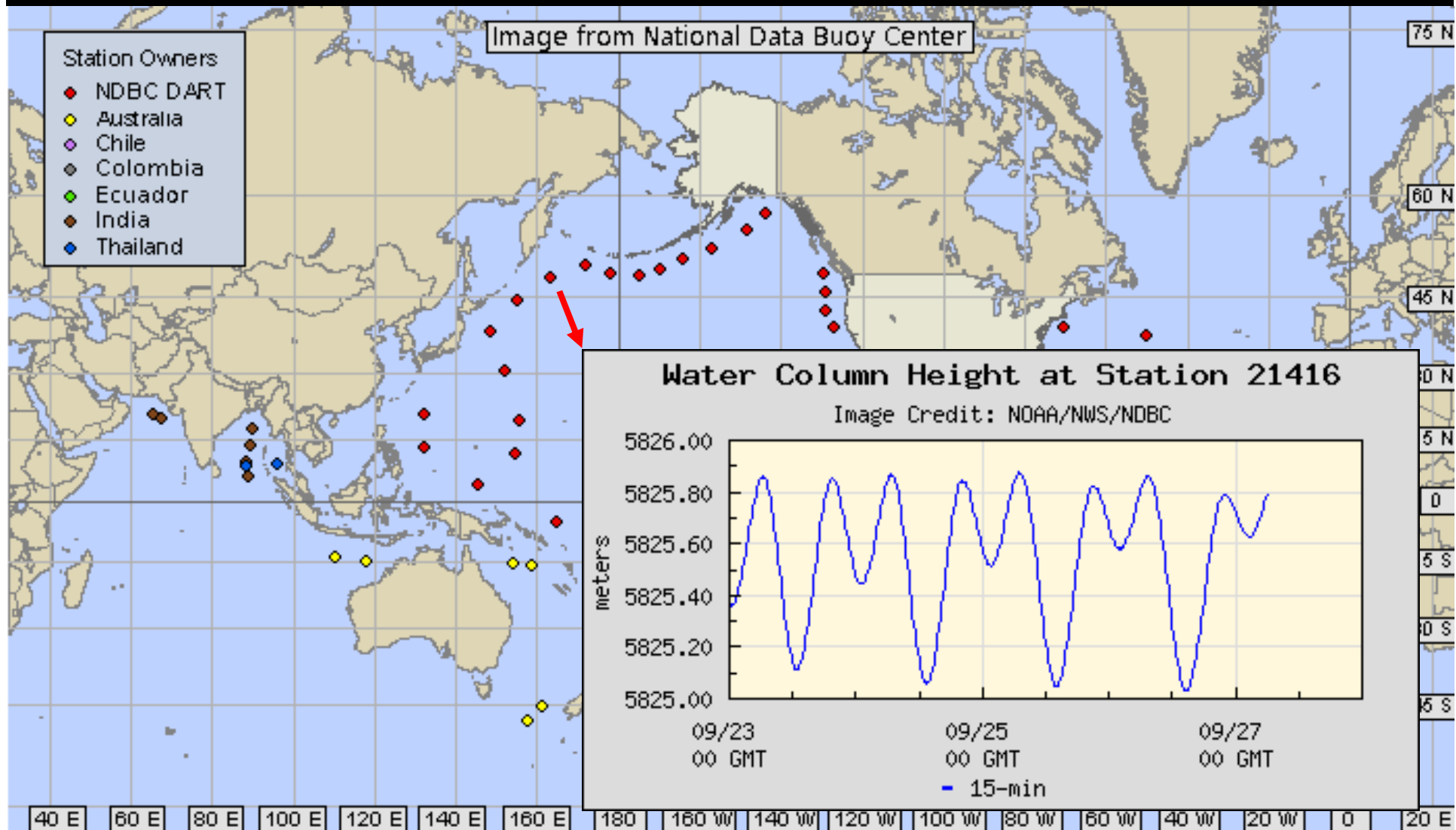
DART 2015 (>60)

Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis

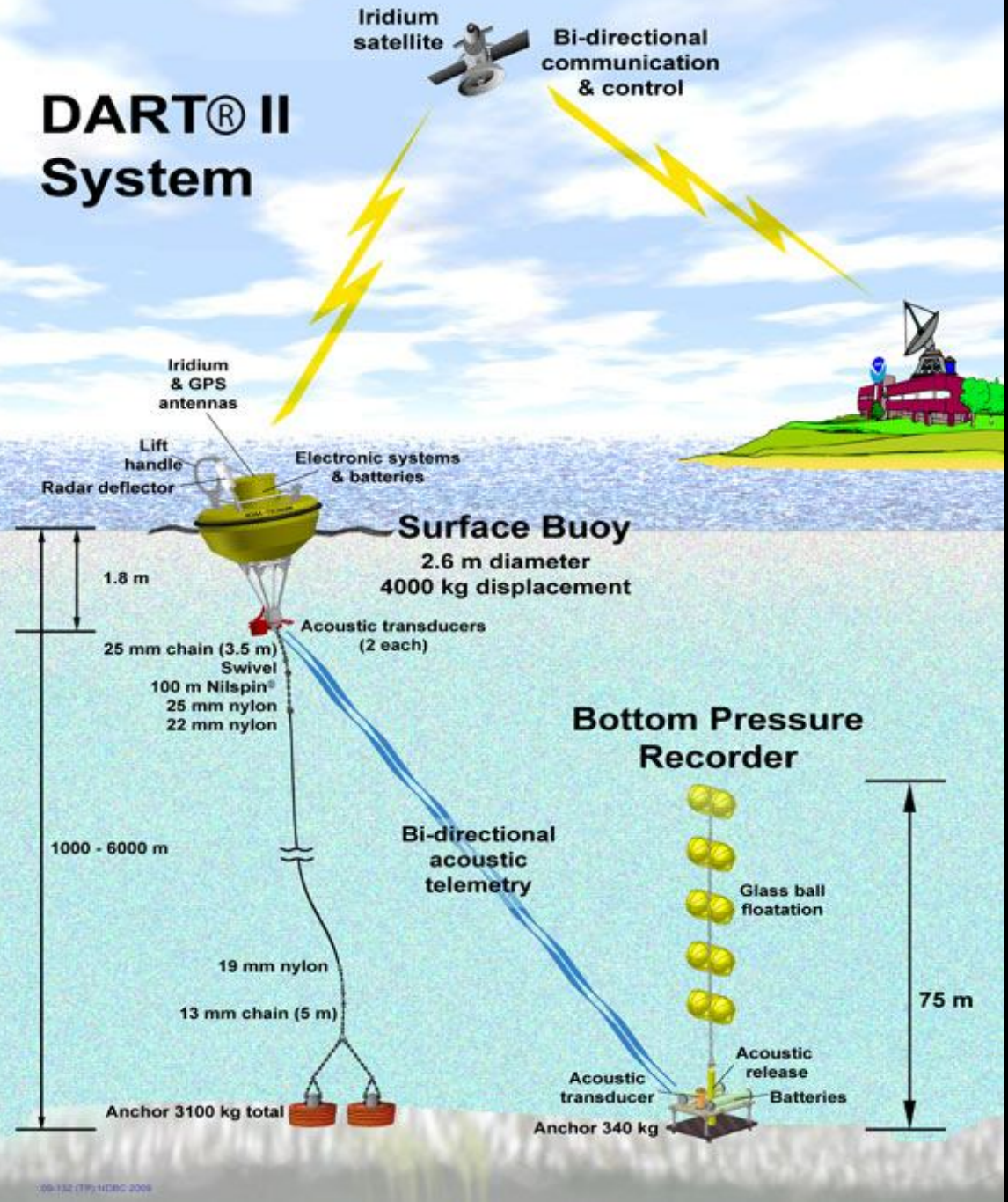


DART 2017 (≈60)

Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis



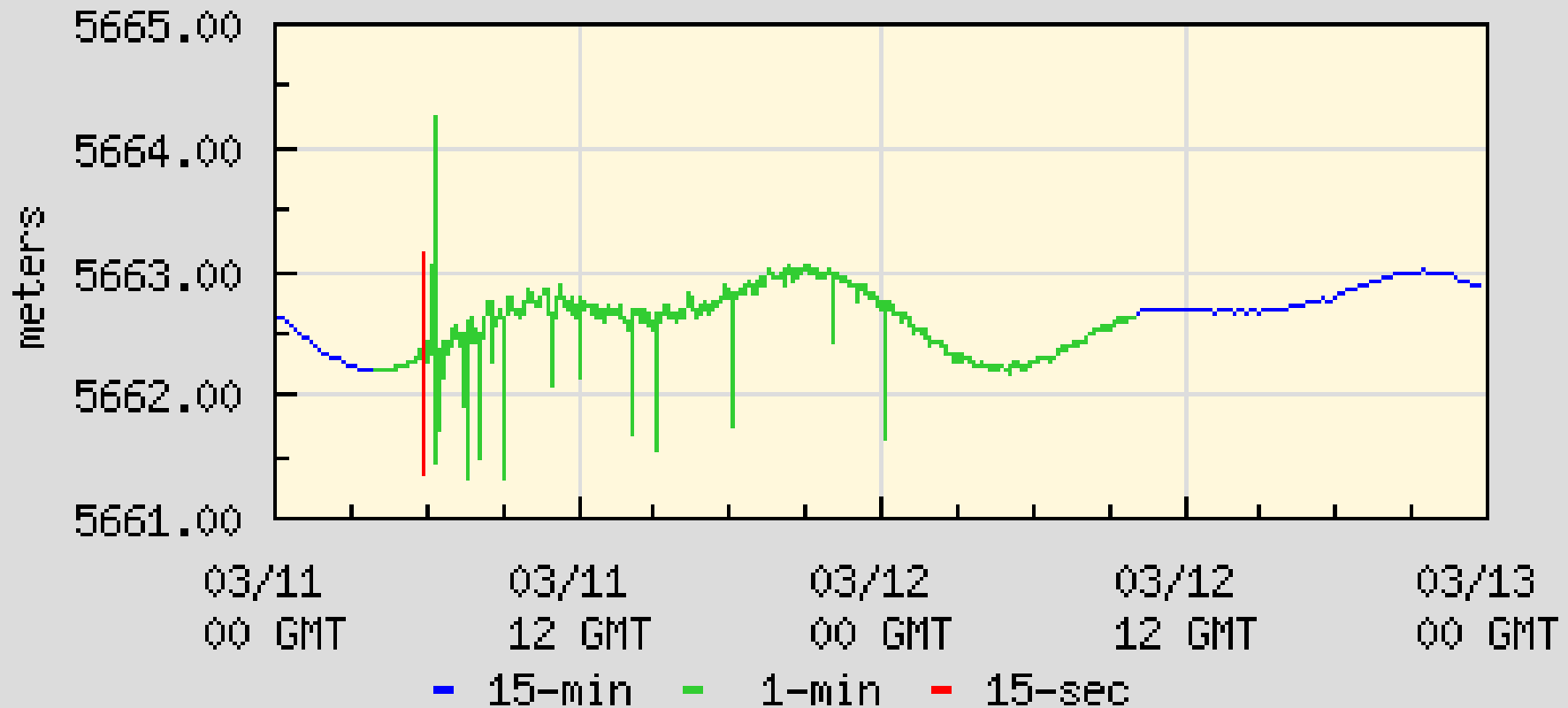
DART® II System



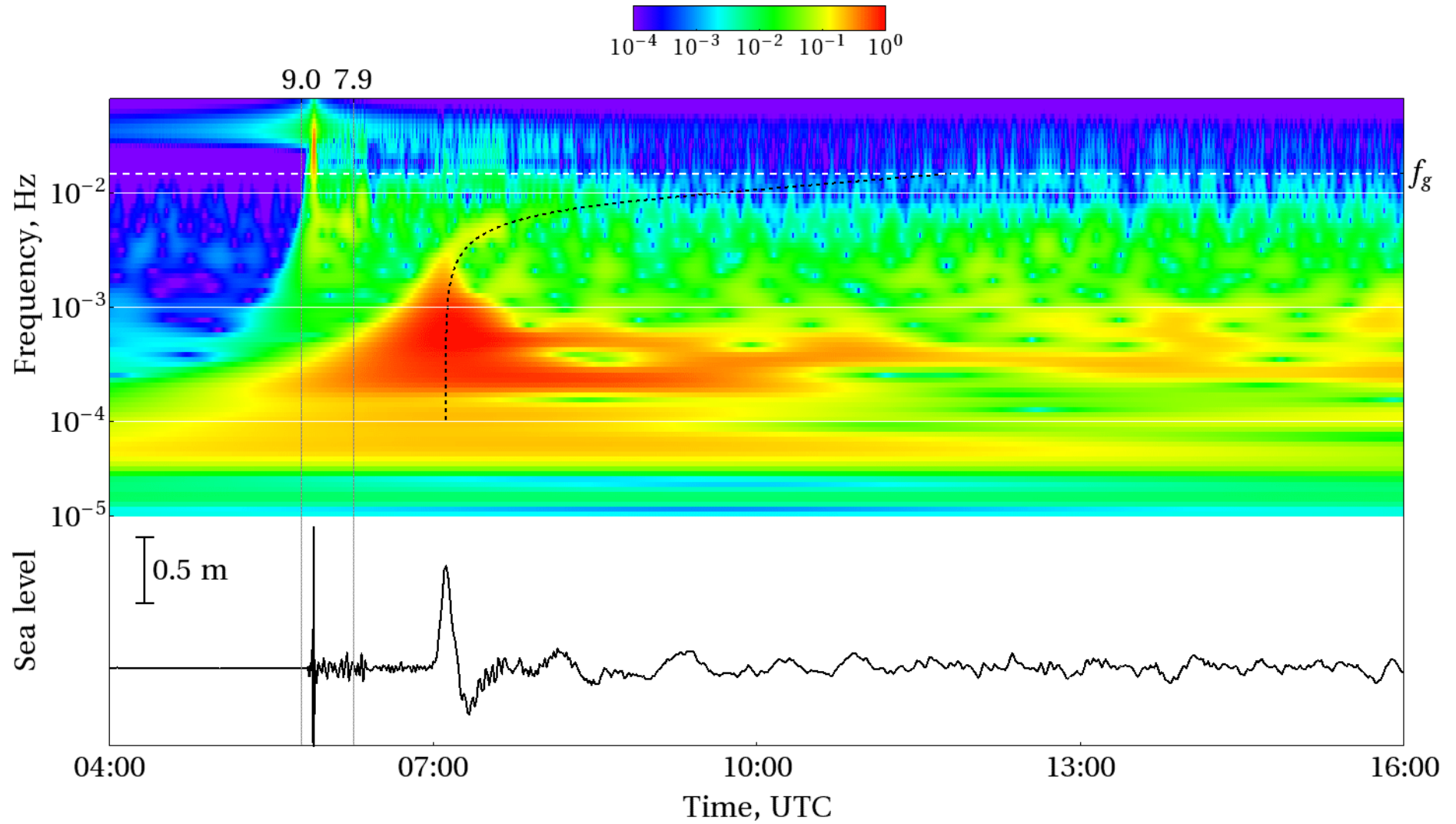


Water Column Height at Station 21418

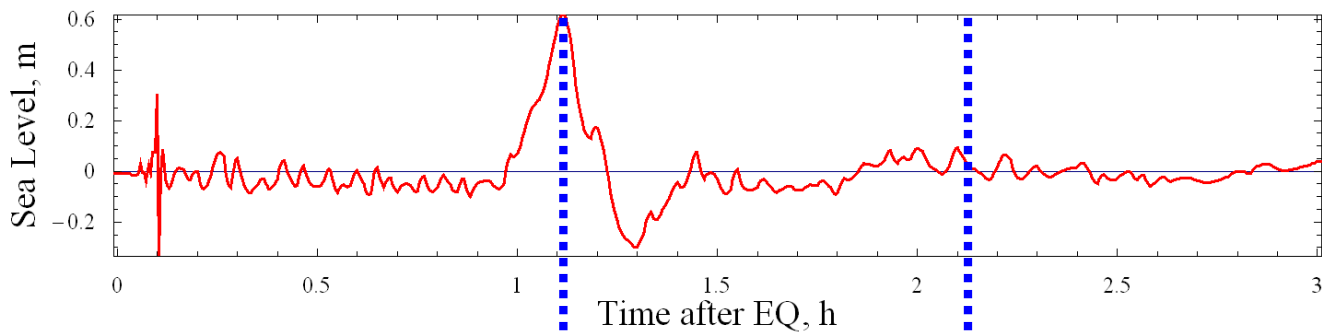
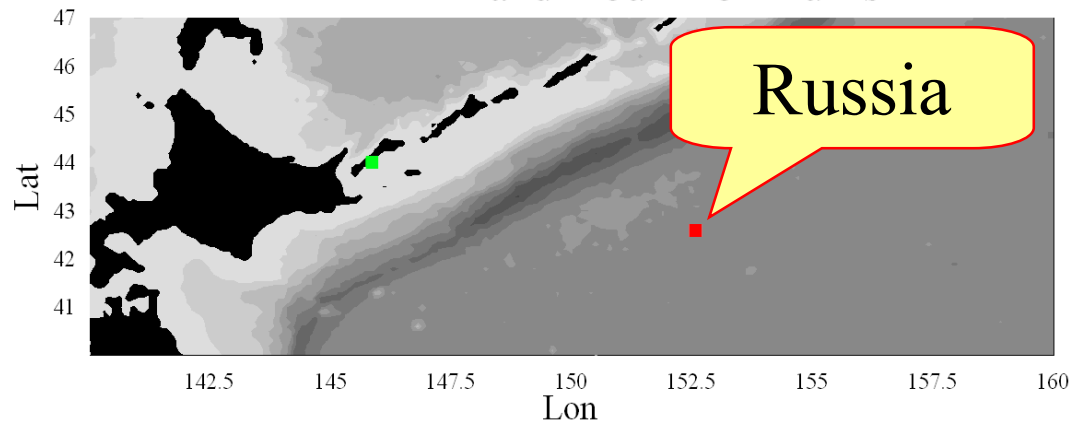
Image Credit: NOAA/NWS/NDBC



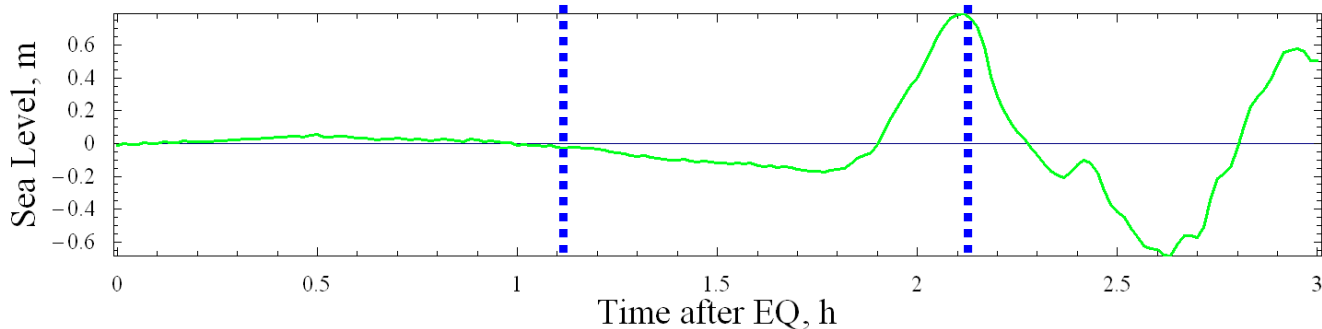
DART21413, 11.03.2011



DART21401 and Youzhno-Kurilsk



60 min



Преимущества регистрации цунами глубоководными датчиками давления

1. глубоководный датчик быстрее обнаружит волну, чем береговой мареограф;
2. при подходе к побережью волна цунами сильно искажается (например, из-за резонанса в бухтах);
3. АЧХ донных датчиков давления является абсолютно плоской в диапазоне волн цунами;
4. частотный диапазон цунами характеризуется низким уровнем фонового шума (~ 0.001 м);
5. береговая станция может быть разрушена волной цунами.



Japan Agency for Marine-Earth
Science and Technology

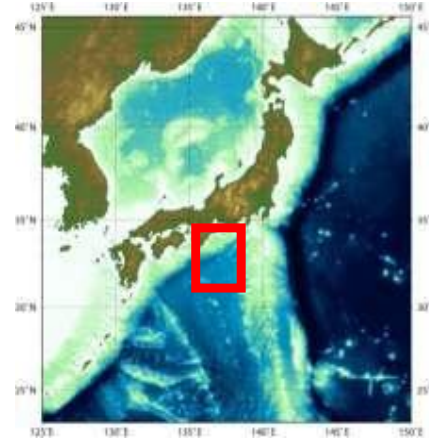
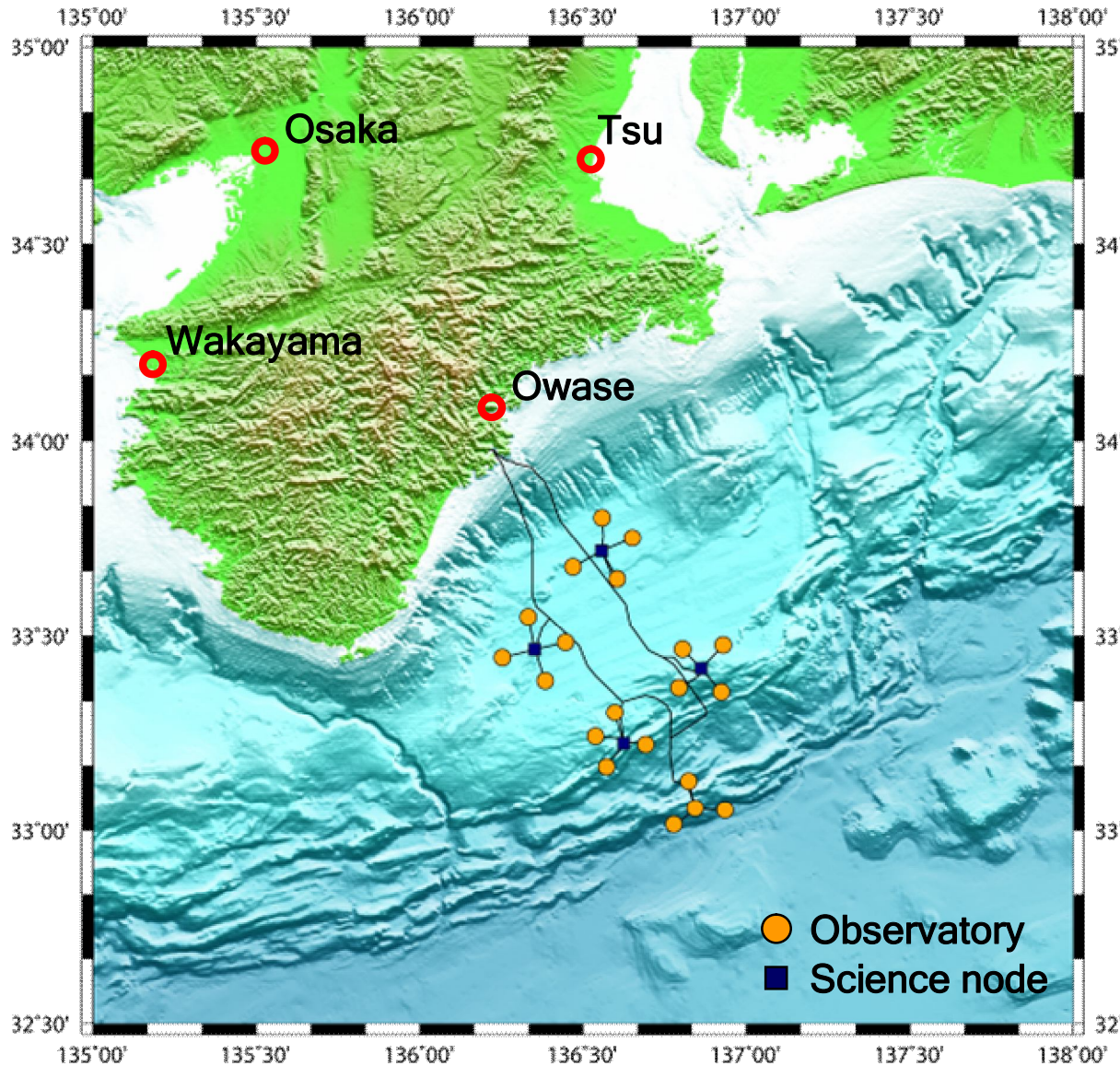
JAMSTEC

Dense Ocean-floor Network System for
Earthquakes and Tsunamis

DONET



The outline of advanced ocean-floor network around the Nankai Trough



Sensors

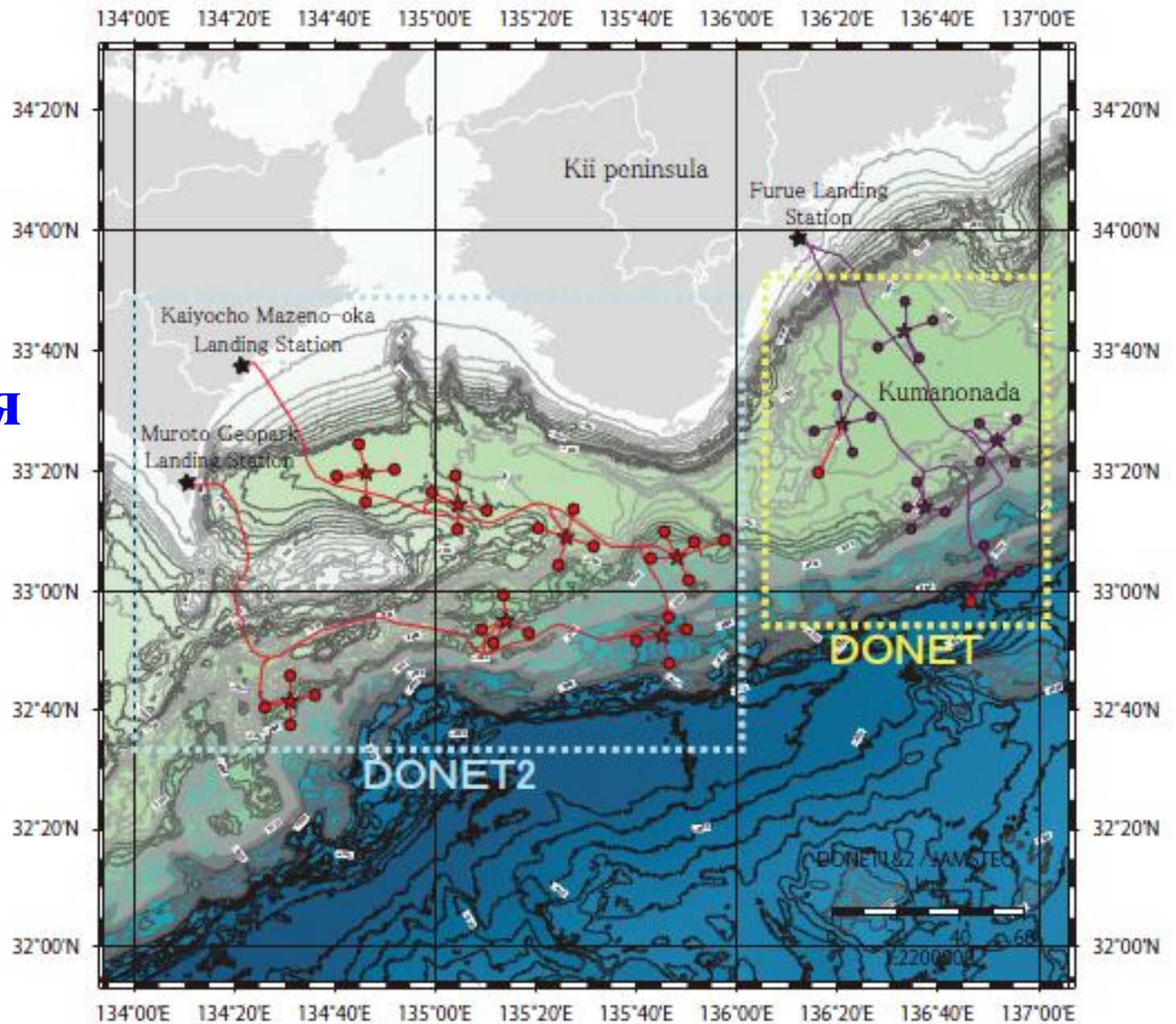
- 20 Seismometers
- 20 Pressure gauges, i.e., Tsunami meters

Project

- FY2006-FY2009
4 years
- Totally 60 mil. euro

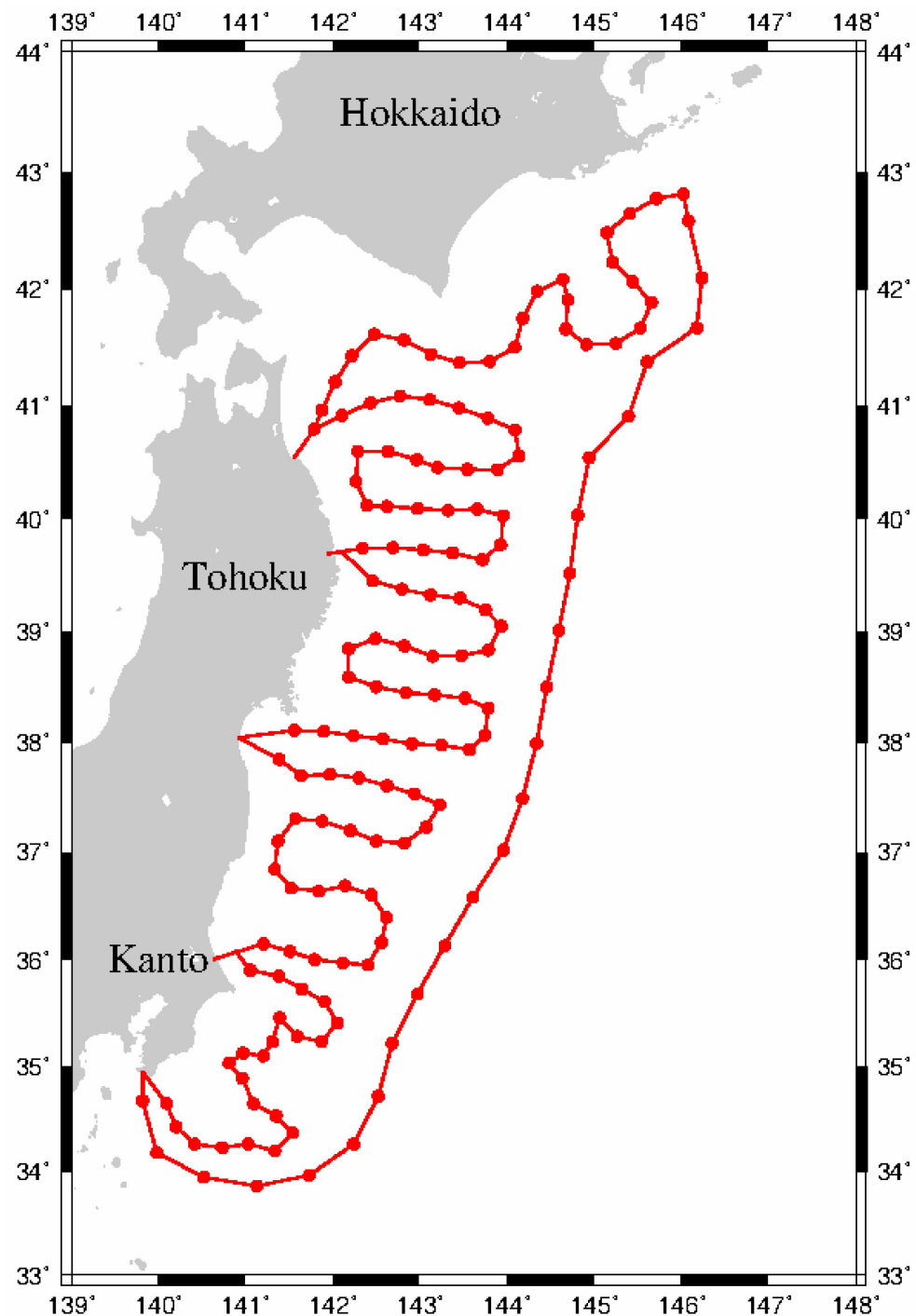
DONET & DONET 2

51 станция

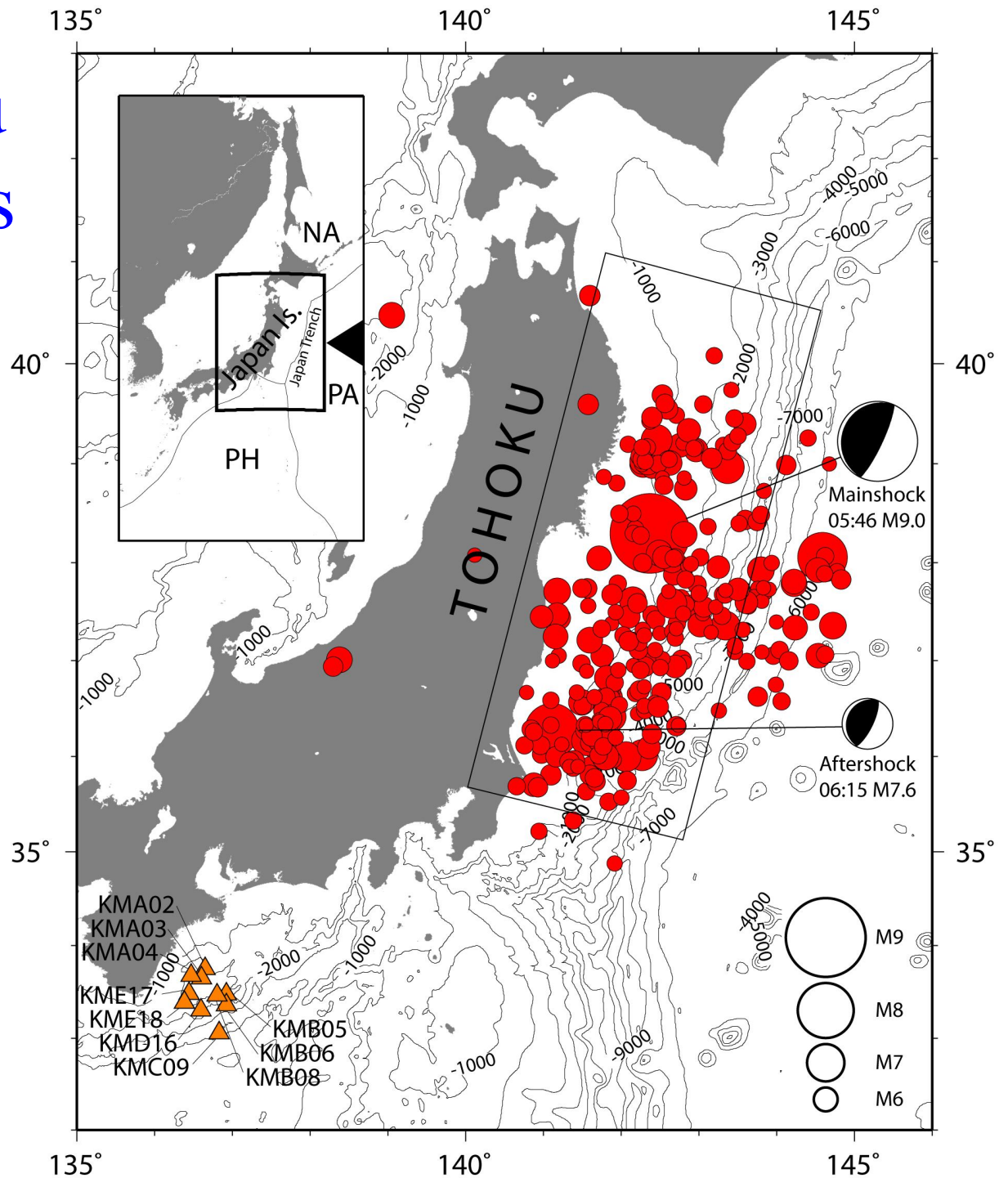


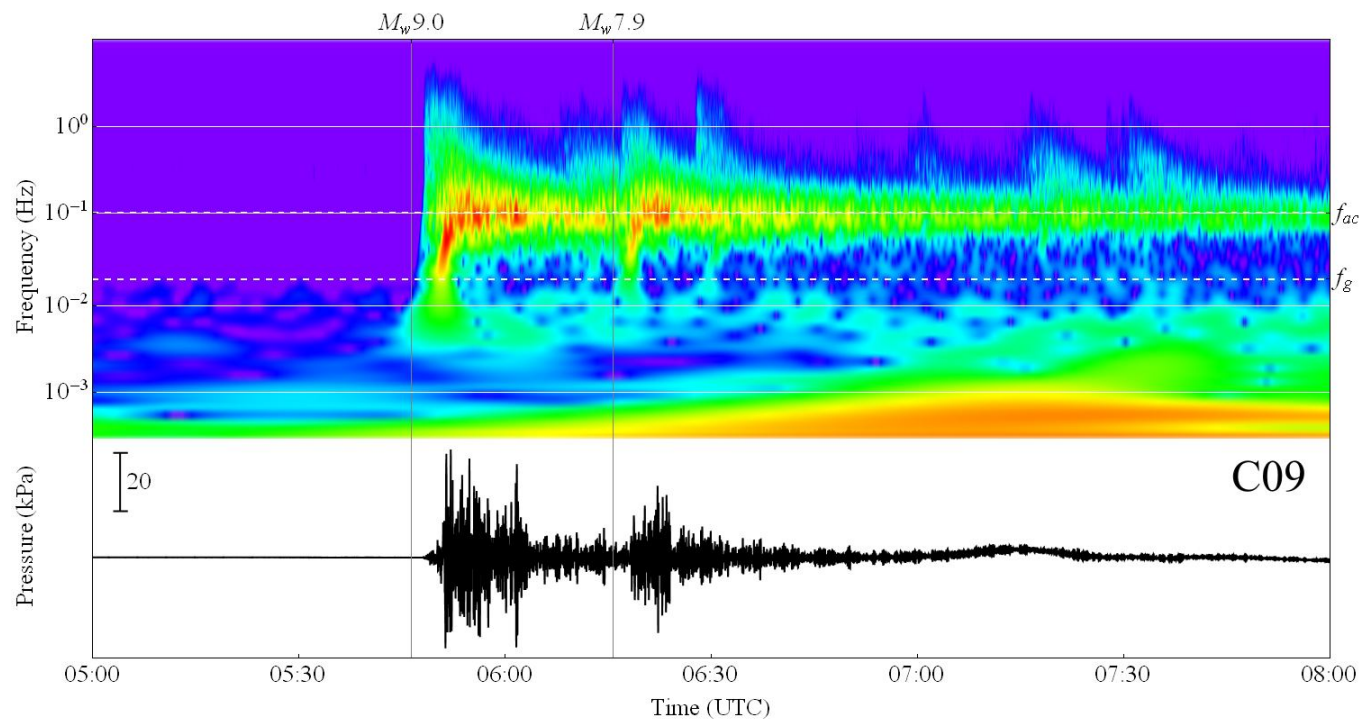
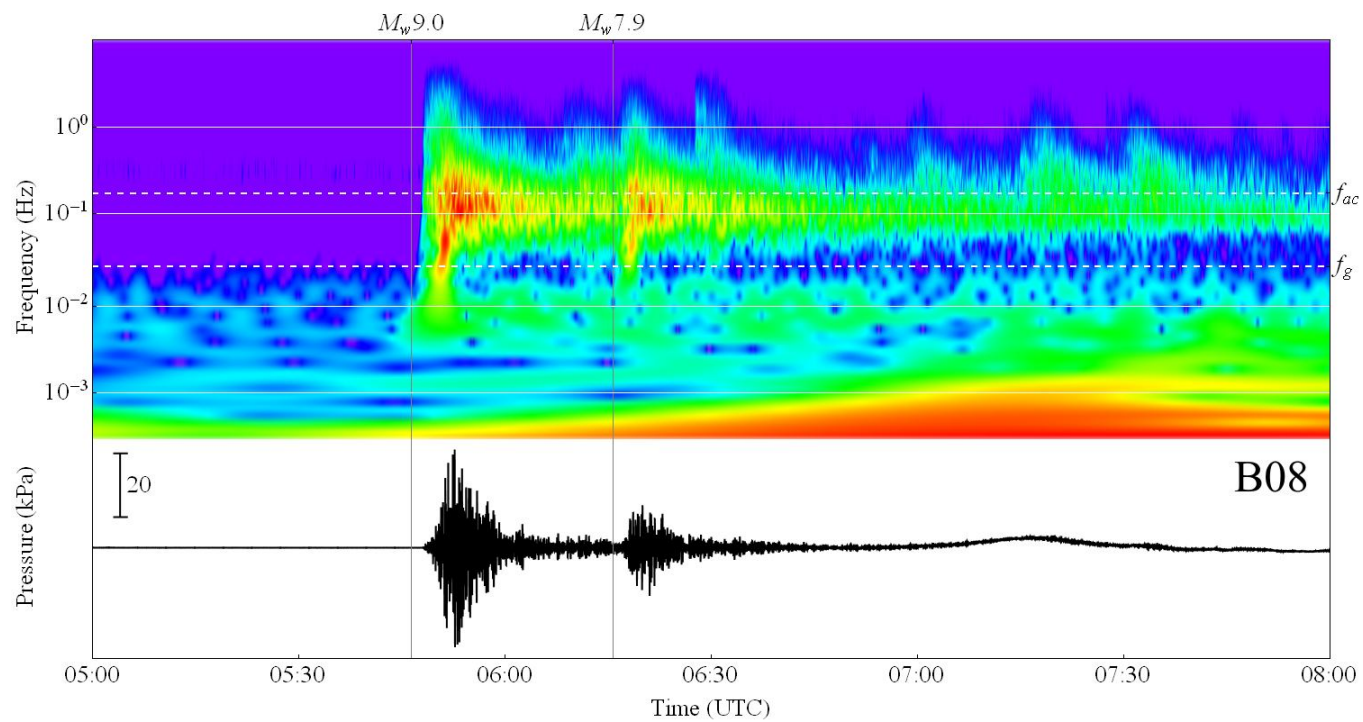
S-net

150 станций!

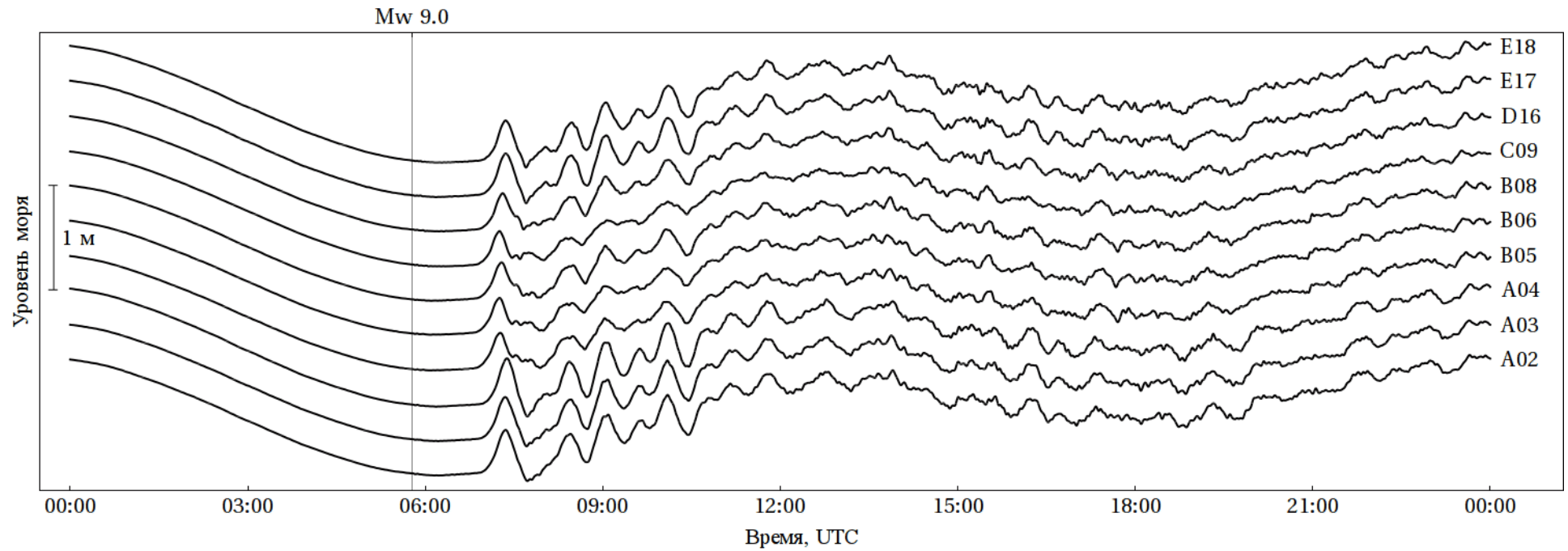


The 2011 Tohoku earthquake and its aftershocks during one day. The DONET observatories in operation during the earthquake





НЧ фильтрация ($T_{\min}=200$ с)



**фото и
видео
съёмка в
т.ч. с ЛА**

Способы регистрации волн цунами

дрифтеры

**наблюдения
очевидцев**

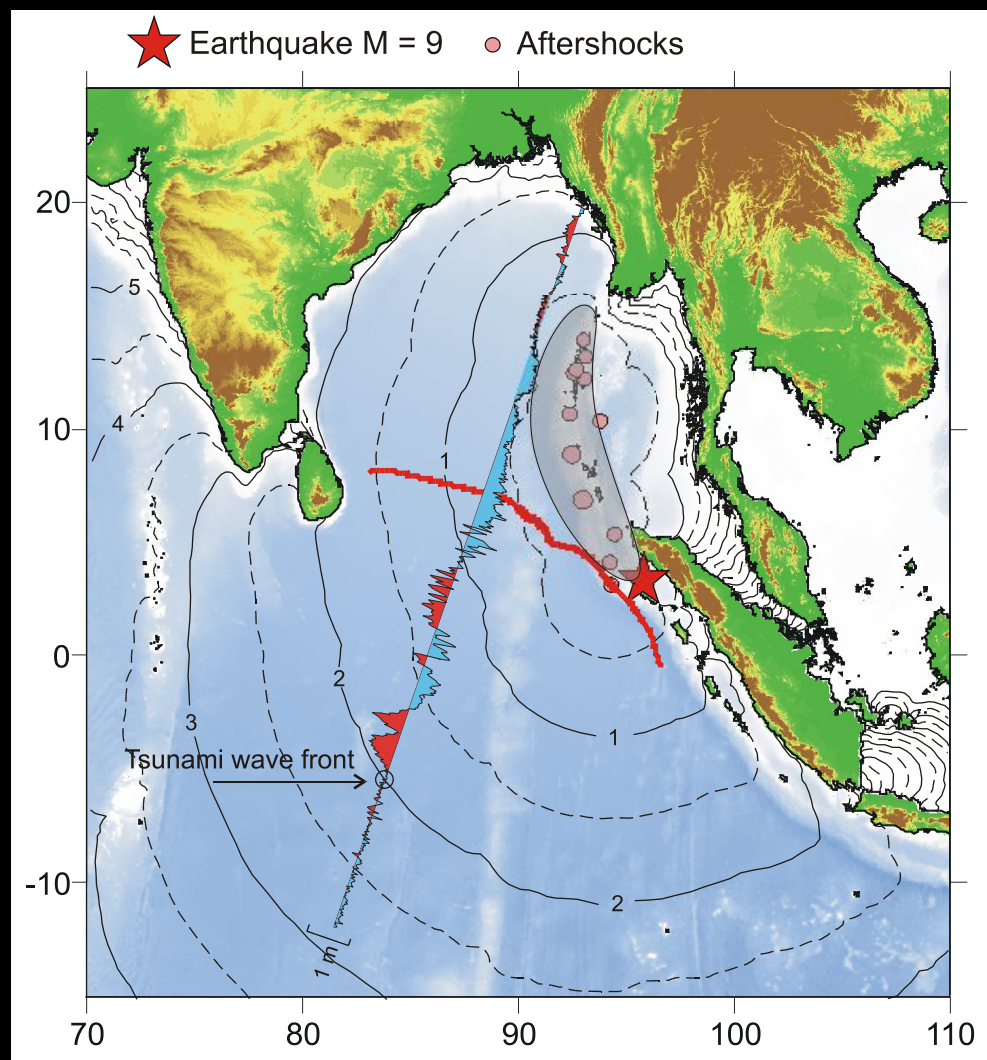
**глубоководные
измерители
давления**

**береговые
станции
уровня моря**

**измерители
течений**

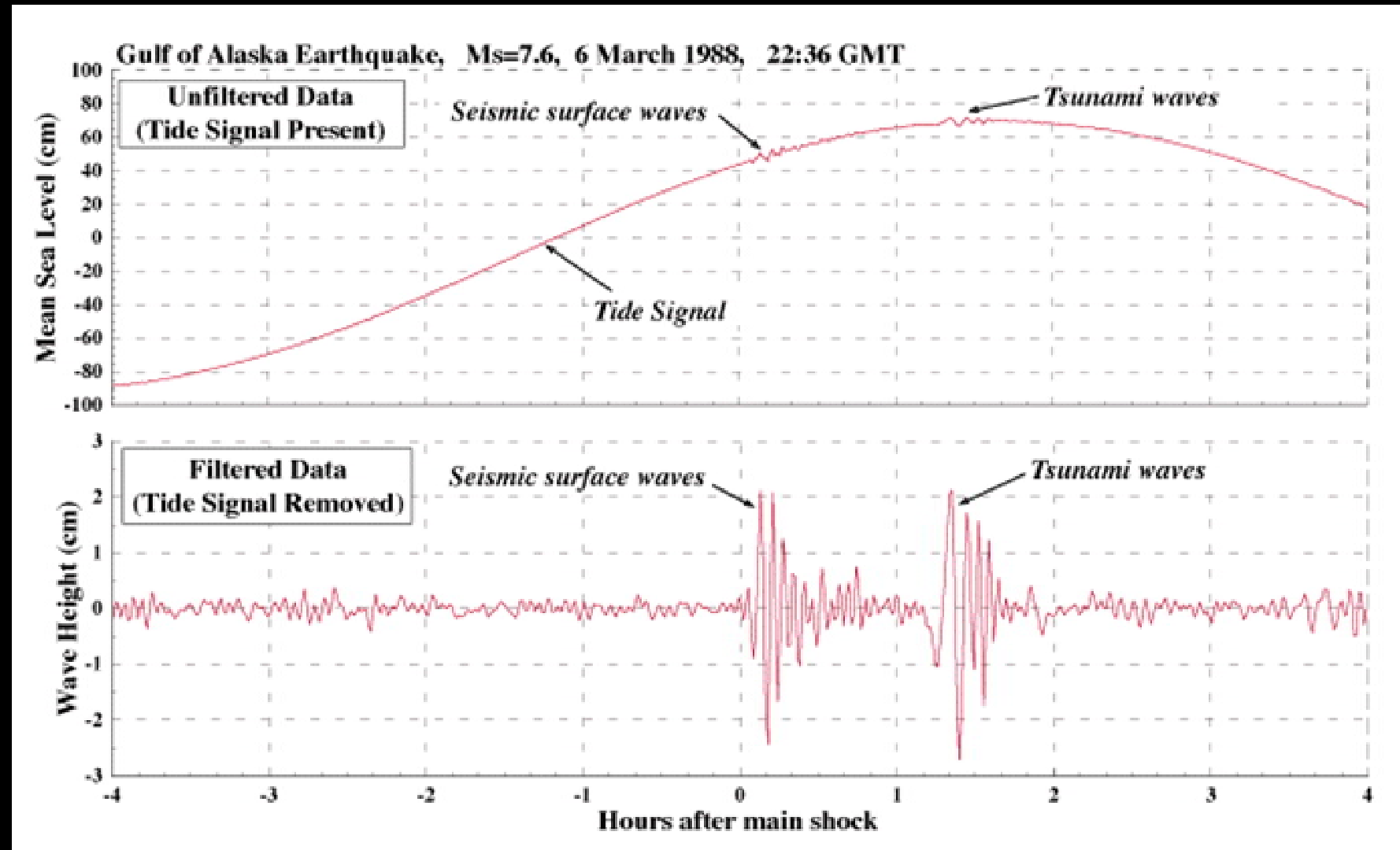
**спутниковый
альтиметр**

Регистрация цунами 26 декабря 2004 г. из космоса (Jason 1, Cycle 109, track 129)

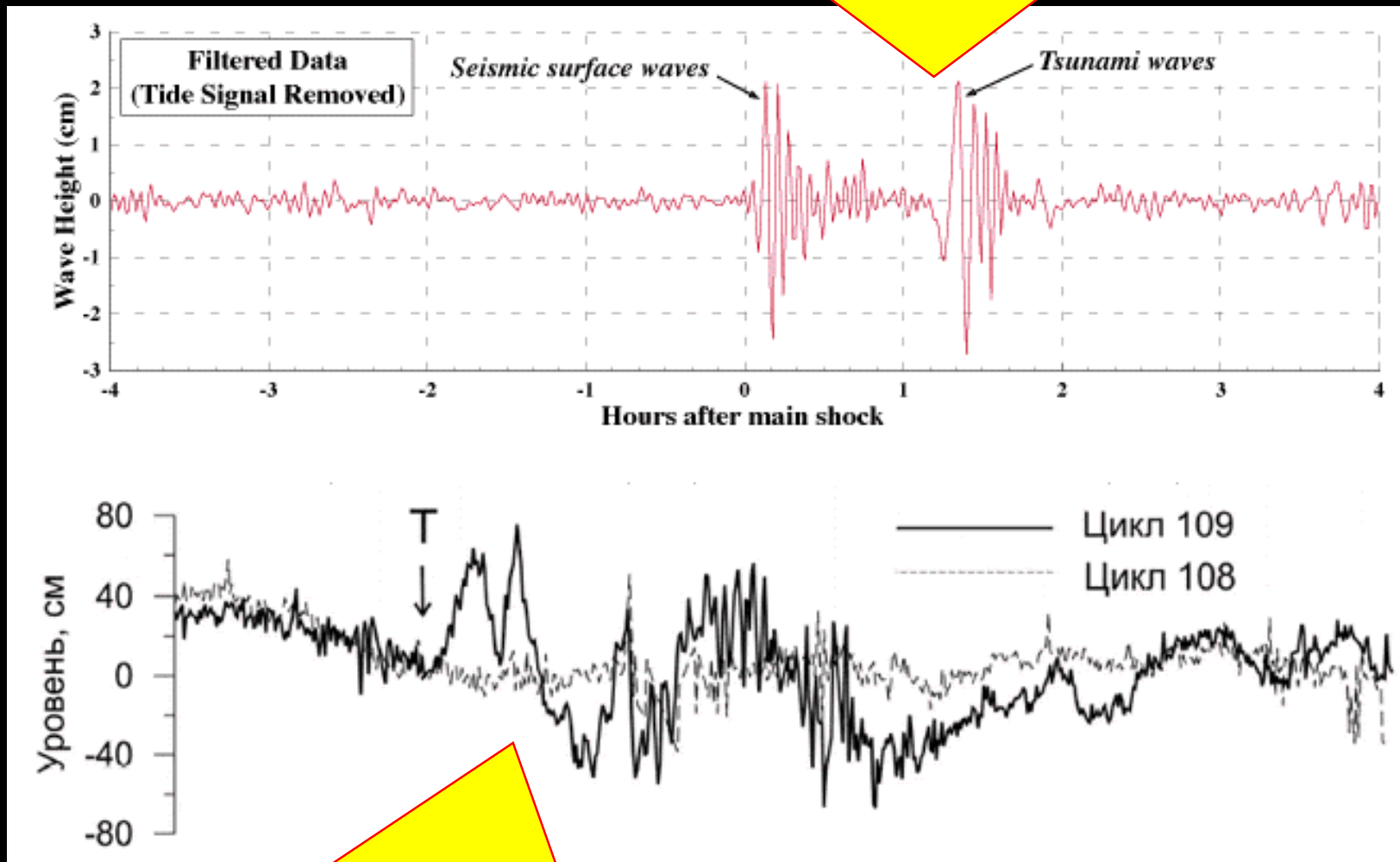


[Kulikov et al., 2005]

Пример регистрации цунами придонными датчиками давления



придонный датчик давления



спутниковый альтиметр

Способы регистрации волн цунами

фото и
видео
съёмка в
т.ч. с ЛА

GPS буи

дрифтеры

наблюдения
очевидцев

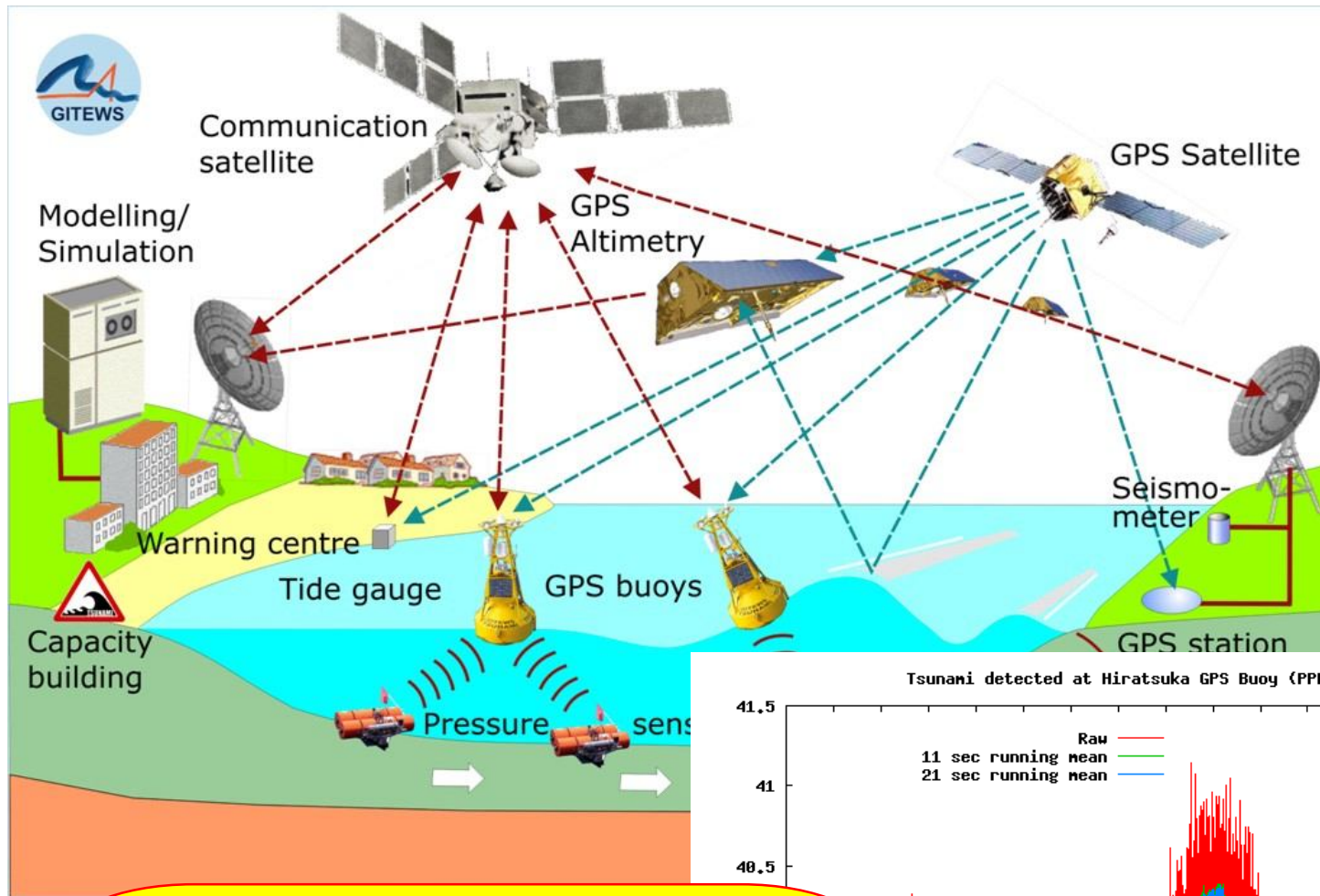
береговые
станции
уровня моря

глубоководные
измерители
давления

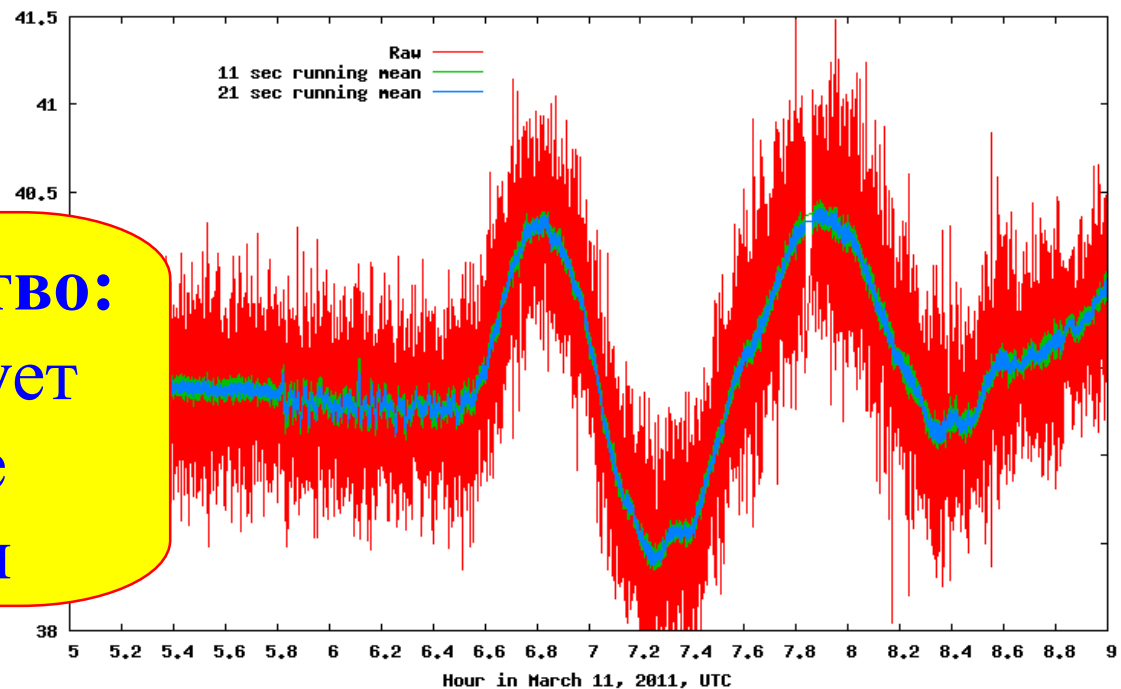
измерители
течений

спутниковый
альтиметр

GPS буй



Tsunami detected at Hiratsuka GPS Buoy (PPP Solution with VERIPOS CLOCK)



**Важное преимущество:
GPS буй регистрирует
именно смещение
поверхности воды**

Способы регистрации волн цунами

фото и
видео
съёмка в
т.ч. с ЛА

GPS буи

дрифтеры

наблюдения
очевидцев

береговые
станции
уровня моря

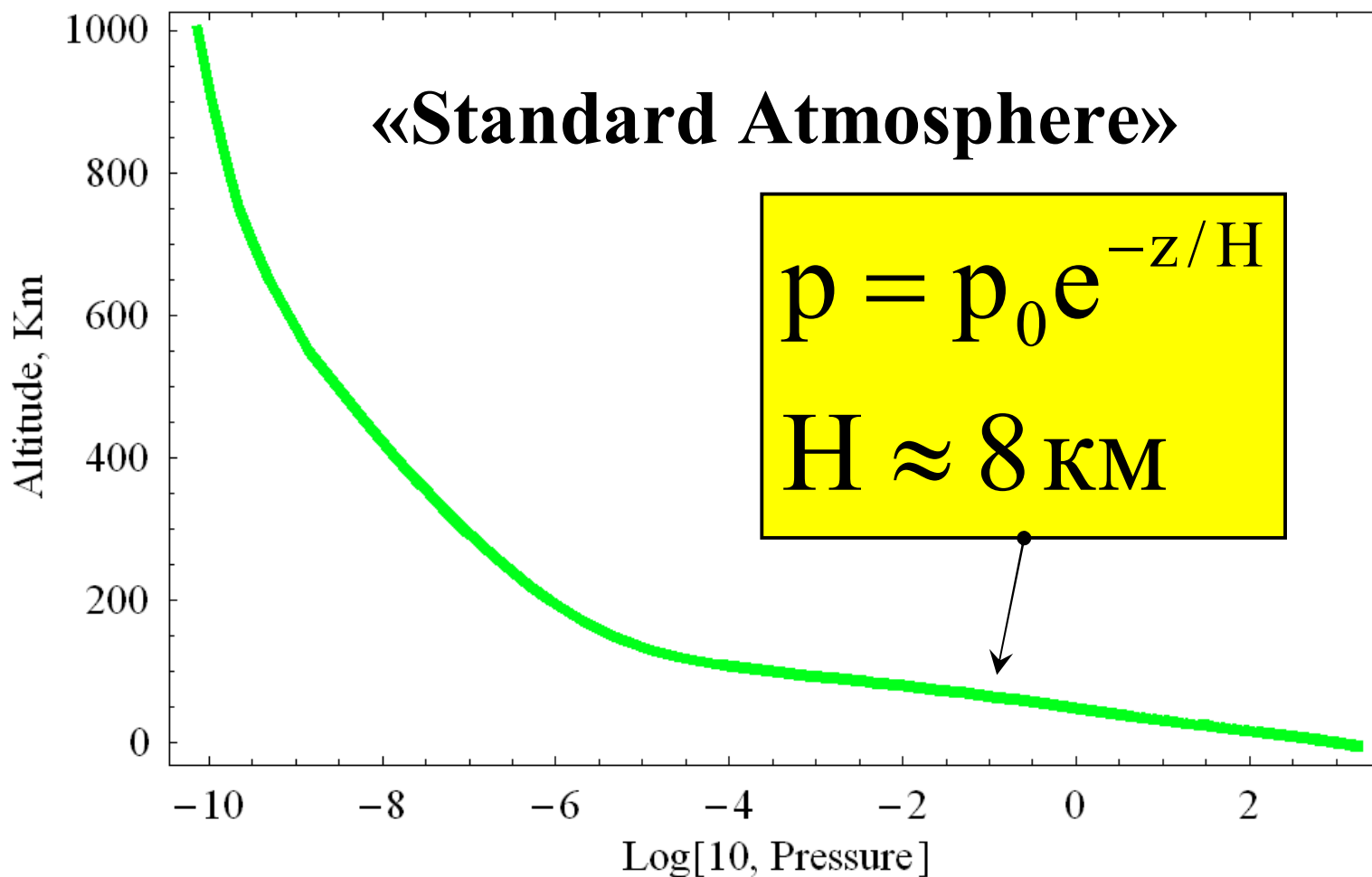
глубоководные
измерители
давления

измерители
течений

спутниковый
альтиметр

по возмущениям
в ионосфере

Проявления цунами в ионосфере



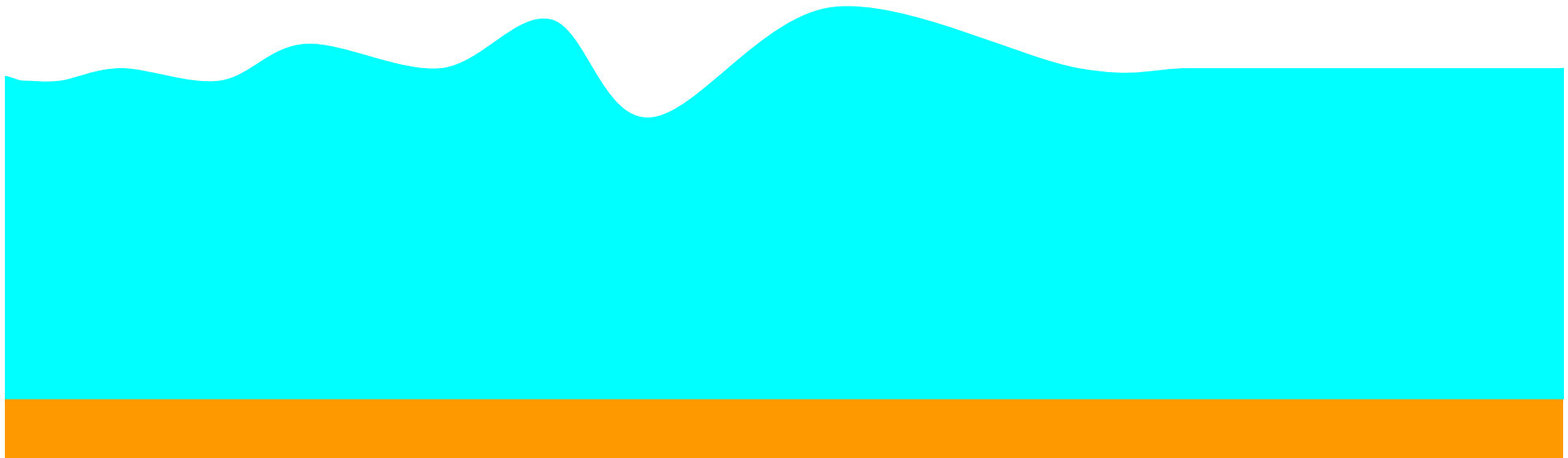
атмосферное давление быстро падает с высотой

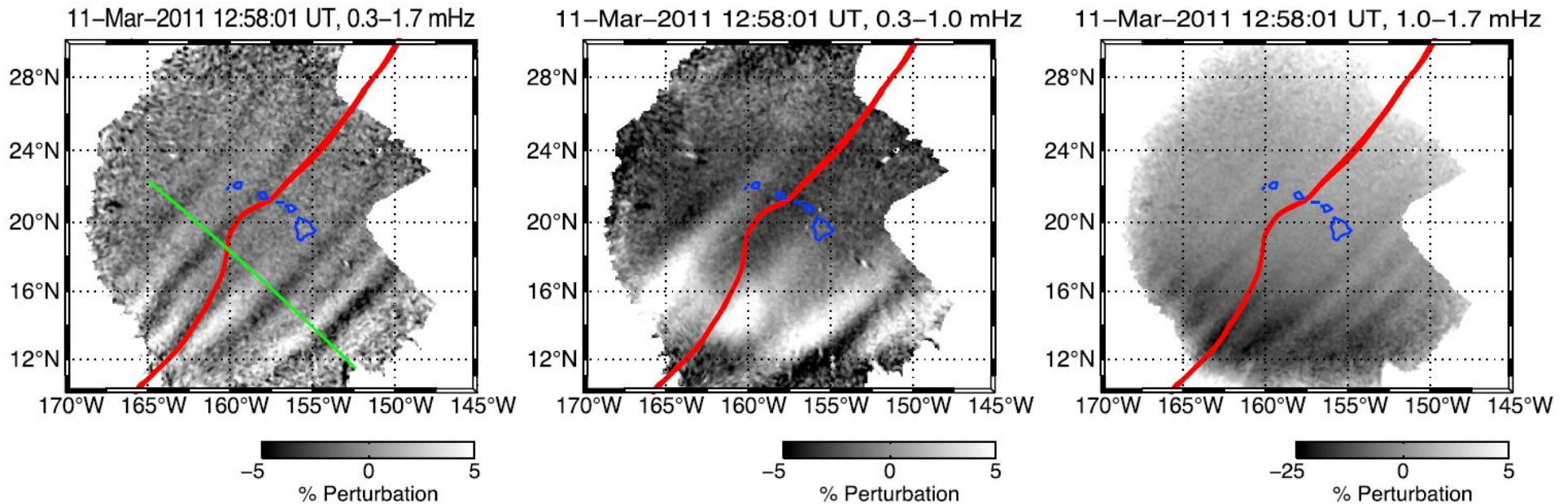
Проявления цунами в ионосфере

**плотность
многократно
падает \Rightarrow растет
амплитуда
скорости**

**плотность потока
волновой энергии**

$$Q = c\rho v^2$$





Example of 630.0 nm images processed using length-8 FIR filters with passbands of (left) 0.3–1.7 mHz, (middle) 0.3–1.0 mHz to highlight the 26.2-min period waves, and (right) 1.0–1.7 mHz to highlight the 14.2-min period waves. The red line in each image indicates the tsunami location at the time of the image.

[Makela et al. (2011)]

Способы регистрации волн цунами

фото и
видео
съёмка в
т.ч. с ЛА

GPS буи

дрифтеры

береговые
радары

спутниковый
альтиметр

наблюдения
очевидцев

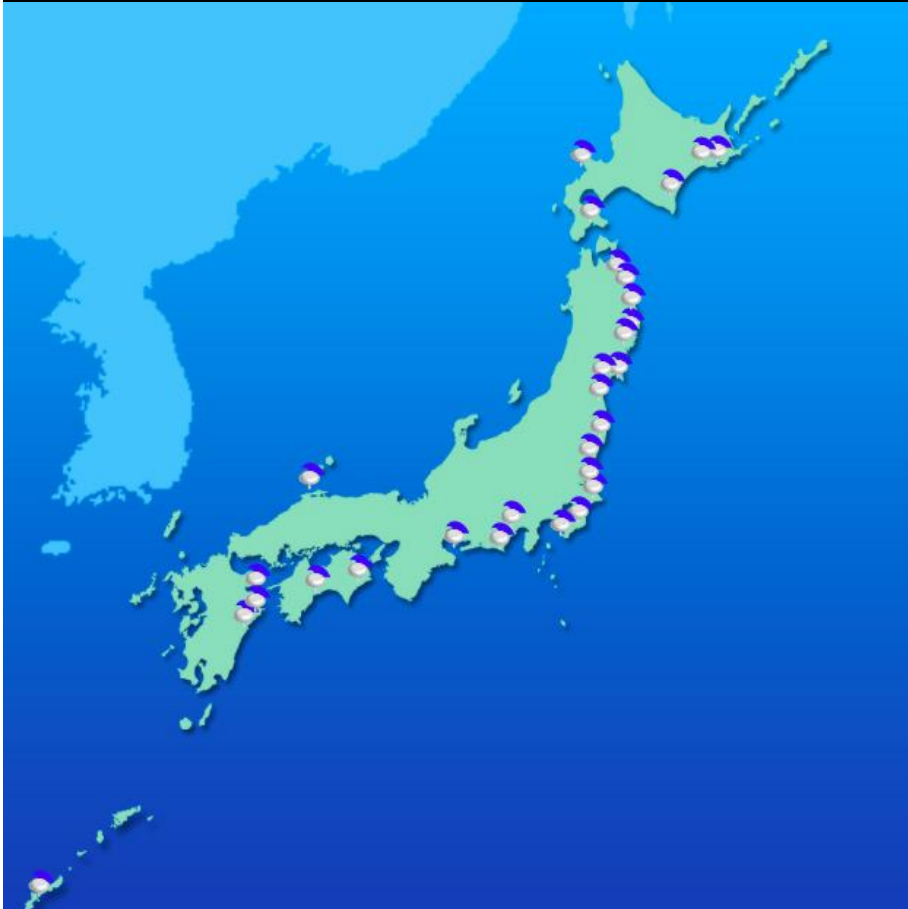
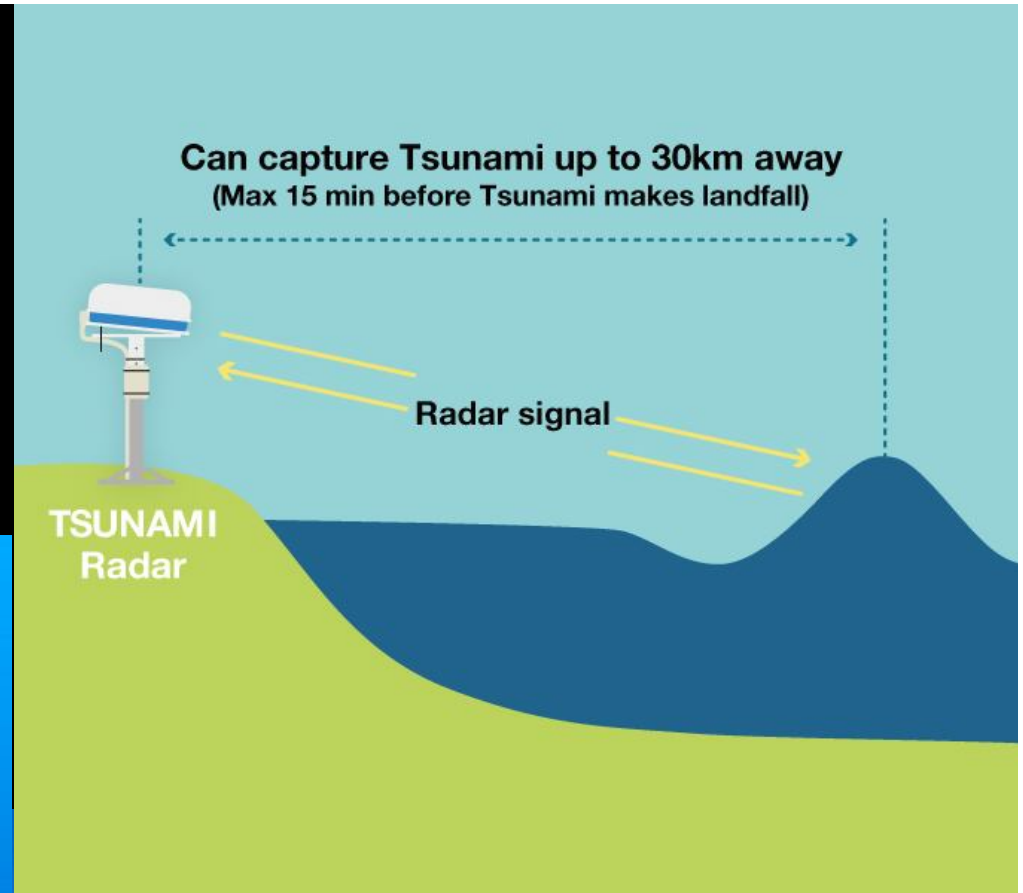
береговые
станции
уровня моря

глубоководные
измерители
давления

измерители
течений

по возмущениям
в ионосфере

TSUNAMI Radar



**фото и
видео
съёмка в
т.ч. с ЛА**

**Способы
регистрации
волн цунами**

**отложения
цунами
(депозиты)**

GPS буи

**наблюдения
очевидцев**

**глубоководные
измерители
давления**

дрифтеры

**береговые
станции
уровня моря**

**измерители
течений**

**береговые
радары**

**спутниковый
альтиметр**

**по возмущениям
в ионосфере**

Отложения Курильского цунами 2006 г.

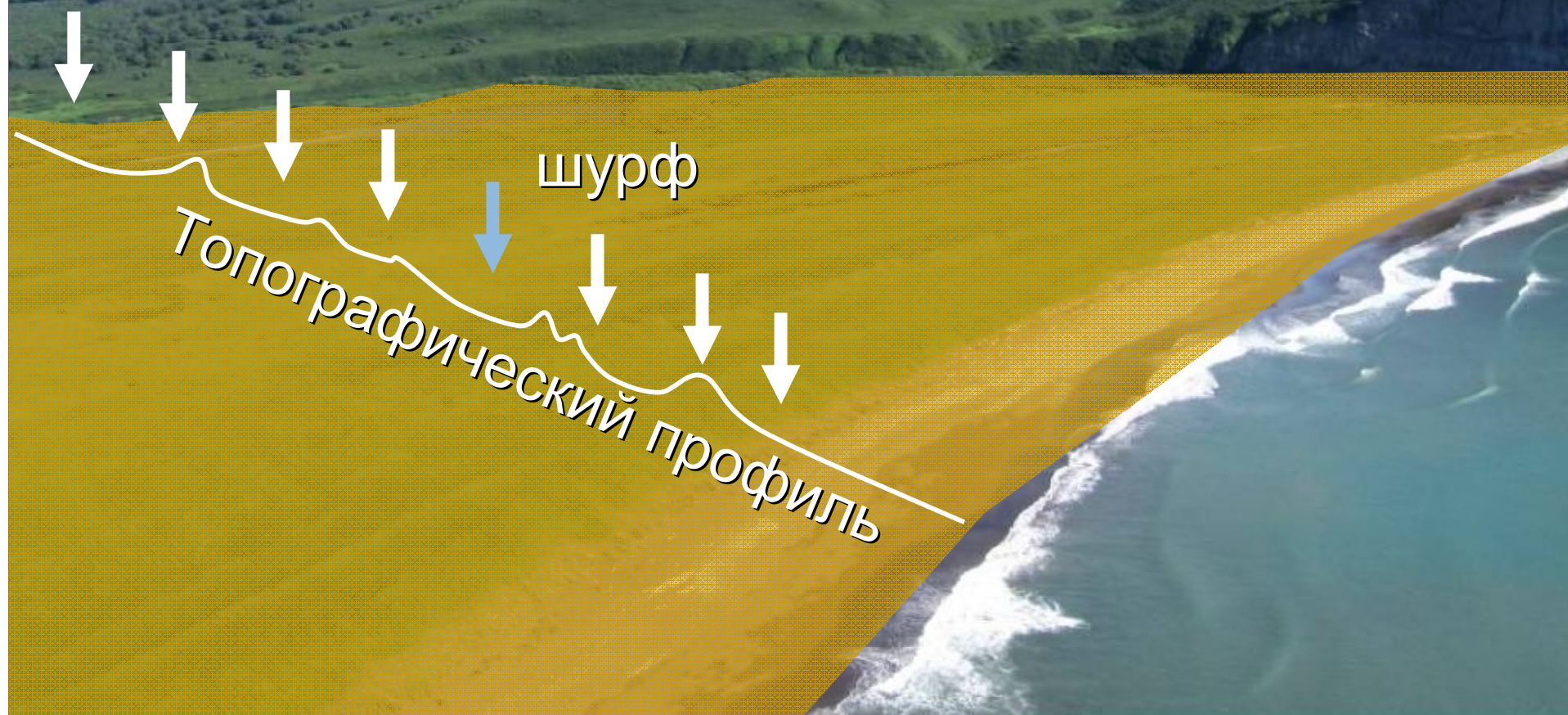


Отложения Индонезийского цунами 2004 г.



Фото Н. Разжигачевой

Изучение отложений цунами



Использование вулканических пеплов (тефры) для корреляции и датирования отложений цунами

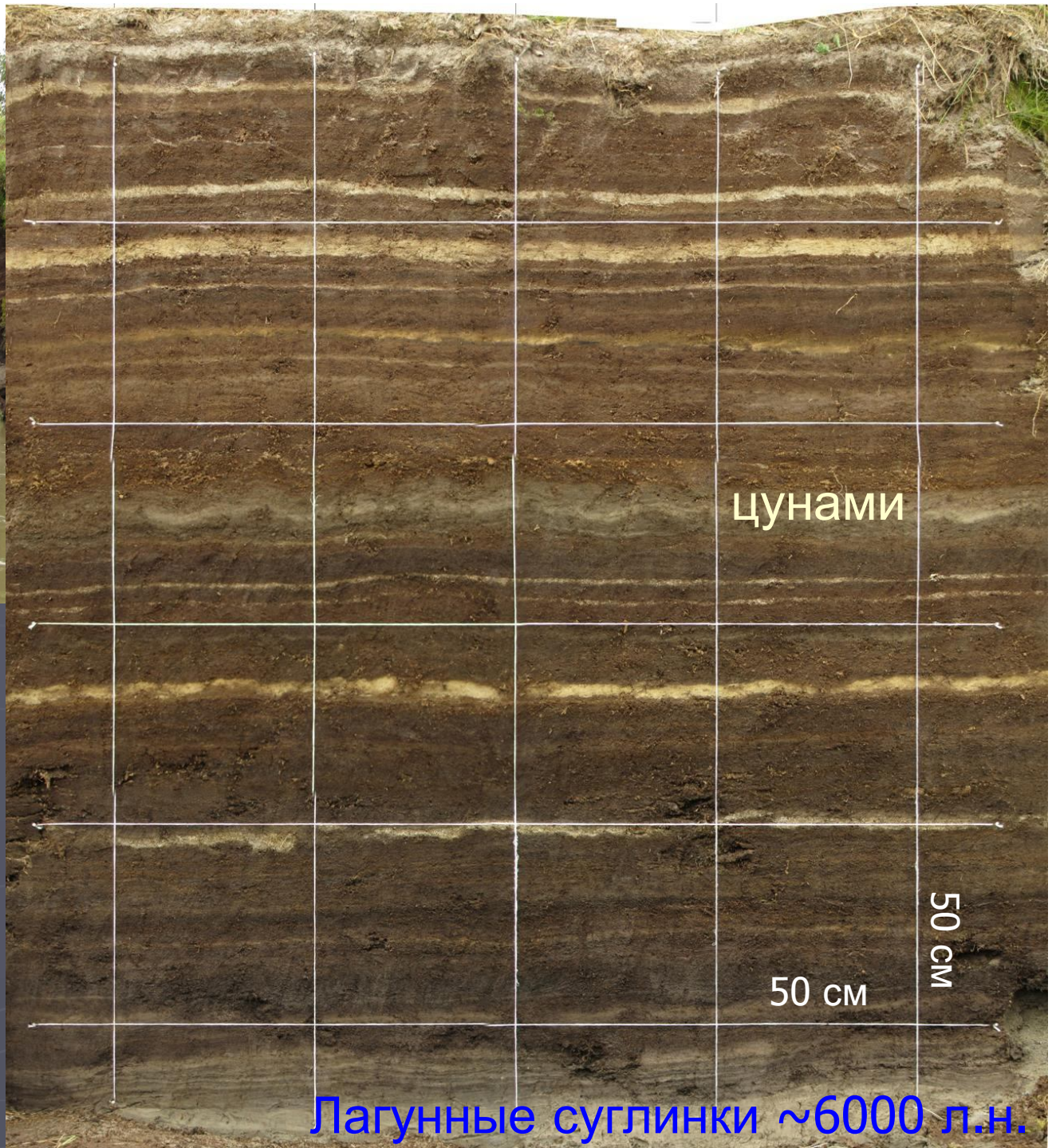


Разрез почвы морской
аккумулятивной террасы





**Пример
отложений
вулканических
пеплов и цунами
в разрезе
прибрежного
торфяника**



Лагунные суглинки ~6000 л.н.

Общие принципы реконструкции древних береговых линий

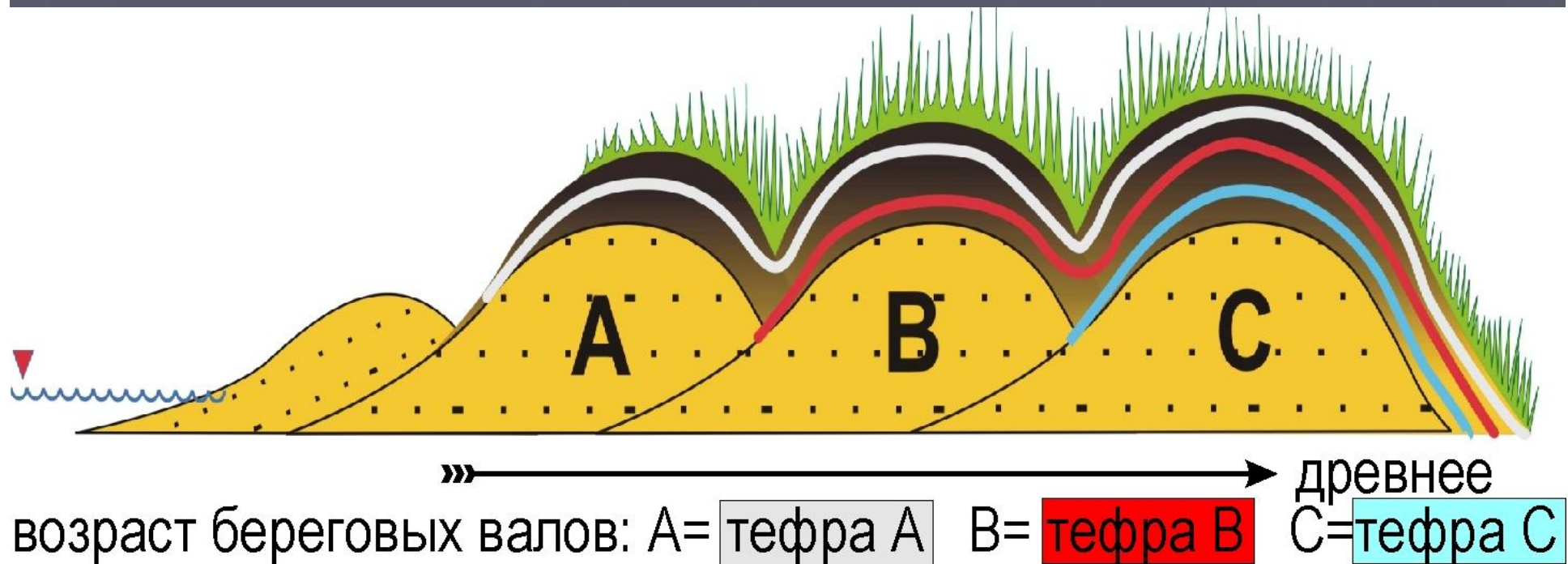
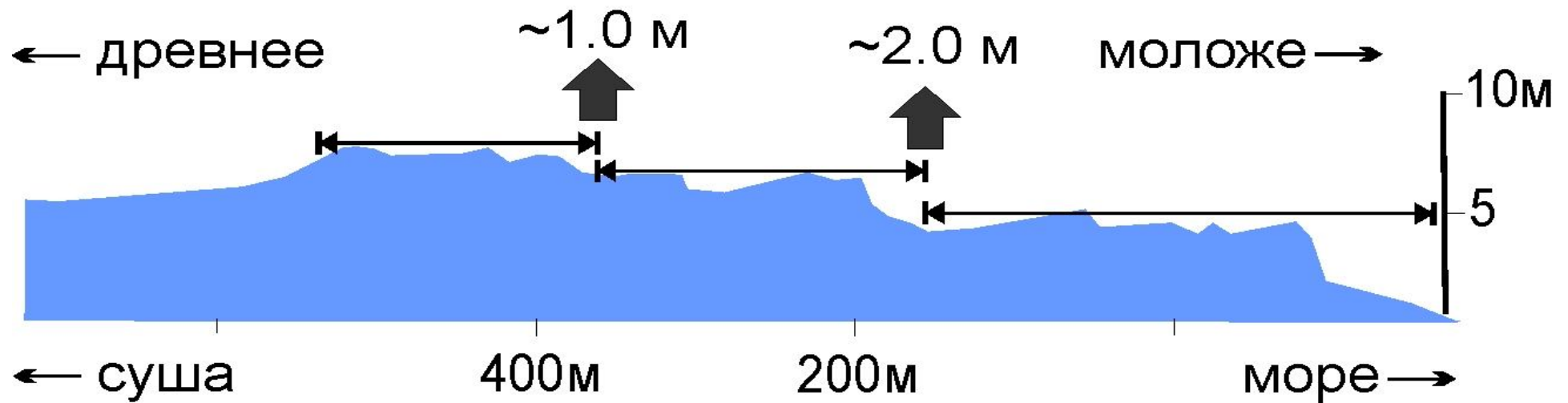




фото. В. Морозова

косейсмическое поднятие



косейсмическое опускание

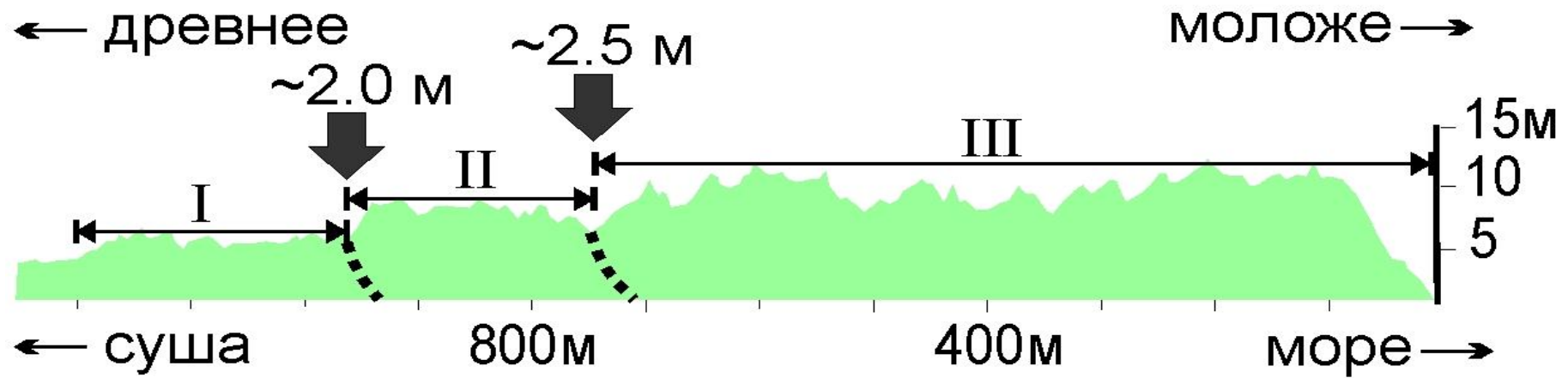


Фото. Е. Кравчуновской

**фото и
видео
съёмка в
т.ч. с ЛА**

Способы регистрации волн цунами

**отложения
цунами
(депозиты)**

GPS буи

**наблюдения
очевидцев**

**глубоководные
измерители
давления**

дрифтеры

**береговые
станции
уровня моря**

**измерители
течений**

**береговые
радары**

**спутниковый
альтиметр**

**по возмущениям
в ионосфере**