

Цунами в северной части Японского моря

Пилик Д.И., Медведев И.П., Цуканова Е.С.

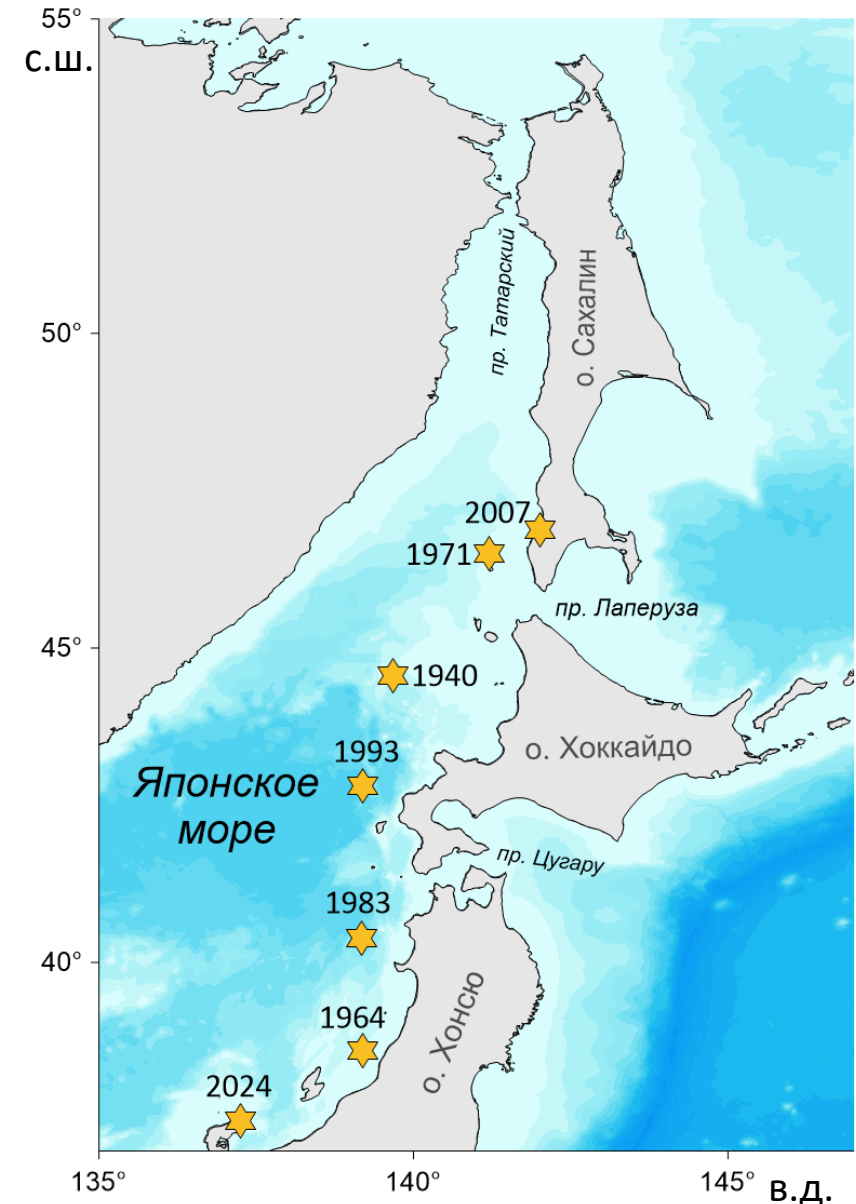
МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра океанологии
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН



Москва - 2024

Цунамиопасность Японского моря

- Район исследований расположен в пределах **Японо-Сахалинской островной дуги**, которая является частью активного Тихоокеанского подвижного пояса и характеризуется высокой сейсмичностью
- Цунамигенные землетрясения в Японском море:
 1. Ниигатское 1964 г. ($M_w = 7.5$)
 - 2. Монеронское 1971 г. ($M_w = 7.5$)**
 3. Япономорское 1983 г. ($M_w = 7.7$)
 4. Окусирское 1993 г. ($M_w = 7.8$)
 - 5. Невельское 2007 г. ($M_w = 6.2$)**
 6. Ното 2024 г. ($M_w = 7.5$)



Цунамиопасность Японского моря

- Сейсмичность региона детально описана в работах [Тихонов, Ломтев, 2012], [Кожурин, 2010].
- **Монеронское цунами 1971 г.** было достаточно подробно описано в работах [Щетников, 1978, 1981]. Работа дает подробное понимание всего произошедшего, однако не дает пространственной оценки явлению. Результаты моделирования Монеронского цунами приводились в работе **[Костенко, Зайцев, 2018]**.
- **Невельское цунами 2007 г.** подробно описано в монографии [Левин, Тихонов, 2009]. Его воспроизвели с помощью численного моделирования: **[Василенко, 2009]**, **[Зайцев, 2008]**, **[Monthly Report on Earthquakes and Volcanoes in Japan, 2007]**. В работах приводятся сравнения натуральных данных с данными моделирования, но не раскрываются особенности проявления цунами на побережье.

Крупнейшие цунами северной части Японского моря

Монеронское землетрясение

- **Время события:** 05.09.1971
18:35 по UTC
- **Магнитуда (M_w):** 7.3
- **Глубина гипоцентра:** 15 – 20 км
- **Высоты волн:**
30-40 см (по мареографам)
2 м (визуальные наблюдения)

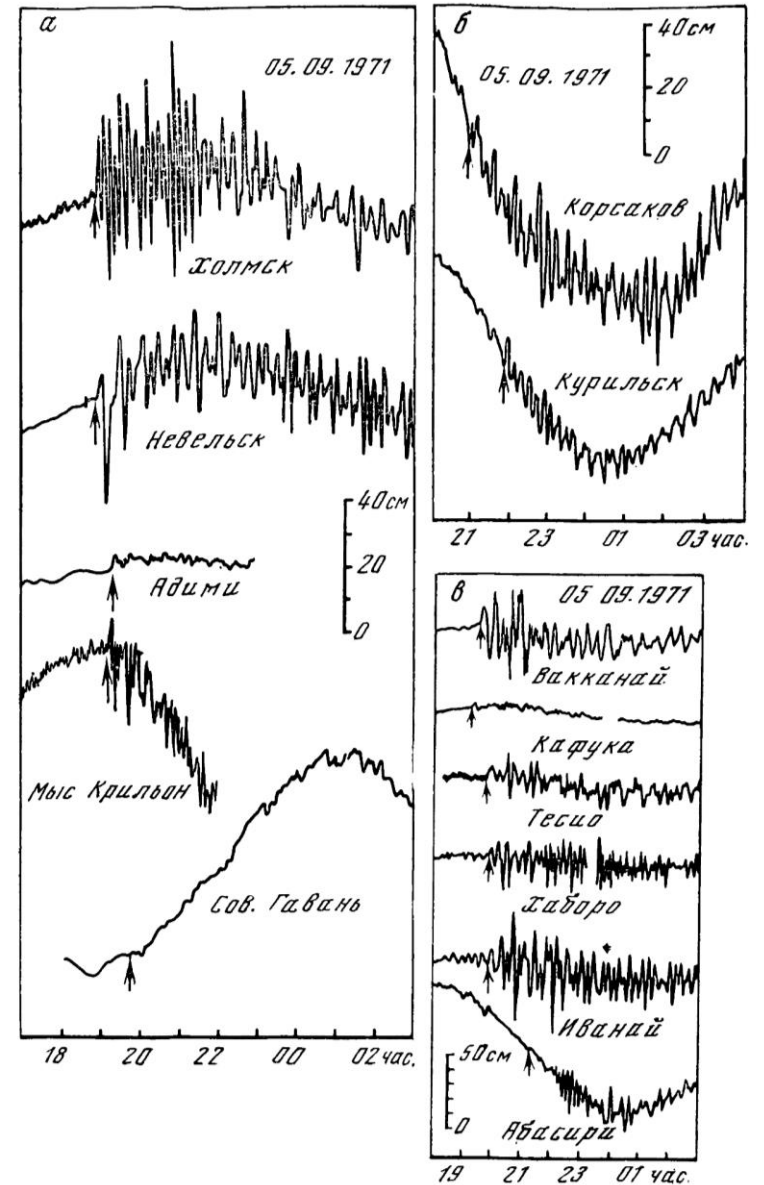
Невельское землетрясение

- **Время события:** 02.08.2007 в
02:37 по UTC
- **Магнитуда (M_w):** 6.2
- **Глубина гипоцентра:** 10 км
- **Высоты волн:**
40-50 см (по мареографам)
3.2 м (визуальные наблюдения)

Данные и методы

1. Мареограммы из разных источников
2. Данные о геометрии очага землетрясения (каталог ISC-GEM)
3. Батиметрия (GEBCO 2014)

1. Гидродинамическая модель TUNAMI
2. Модель сейсмического источника [Okada, 1985]



Мареографные записи
Монеронского цунами
[Щетников, 1981]

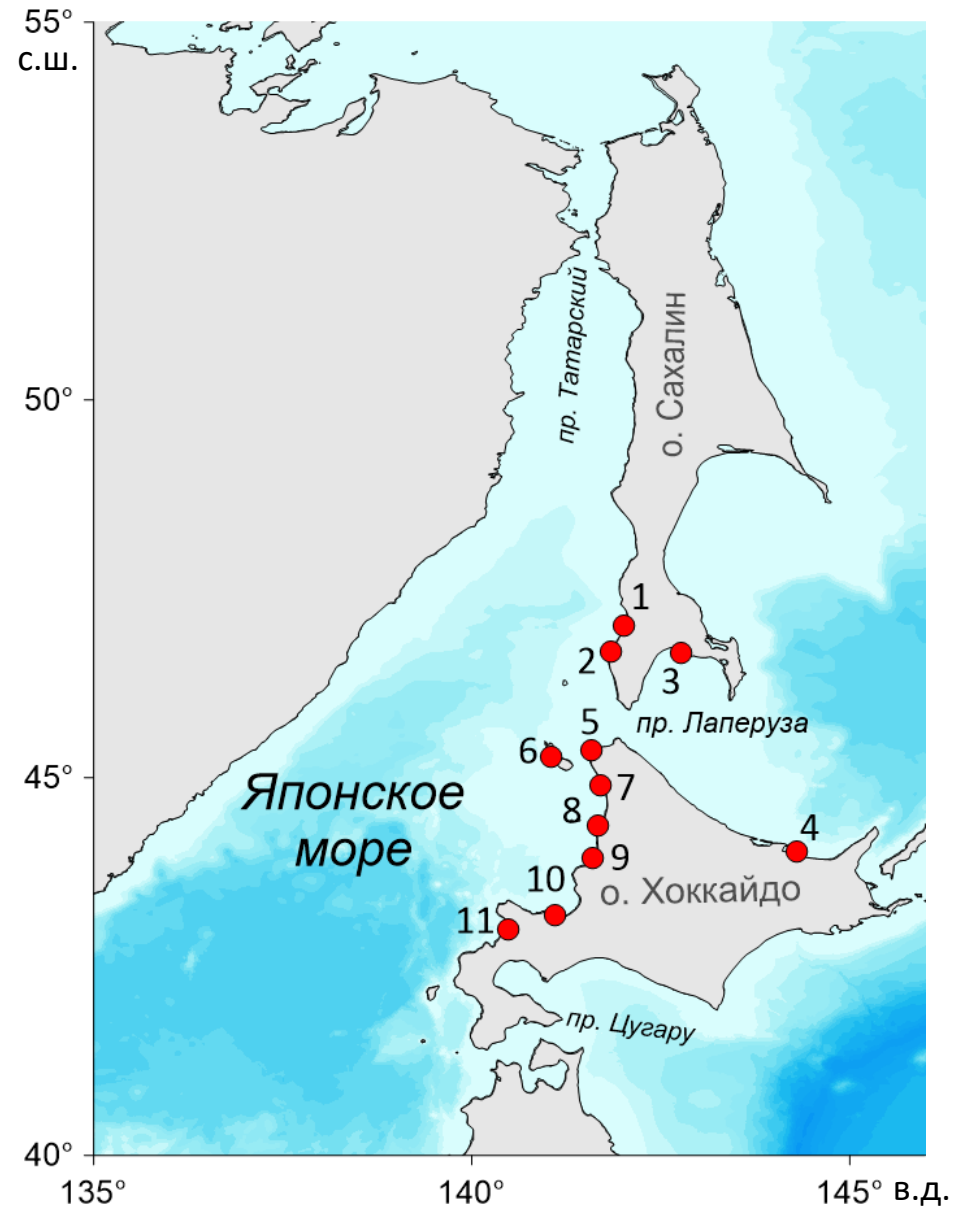
Расположение мареографов

РОССИЯ

- 1. Холмск
- 2. Невельск
- 3. Корсаков

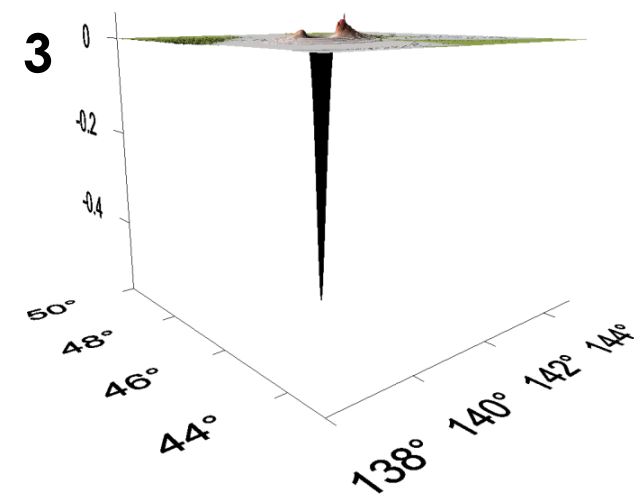
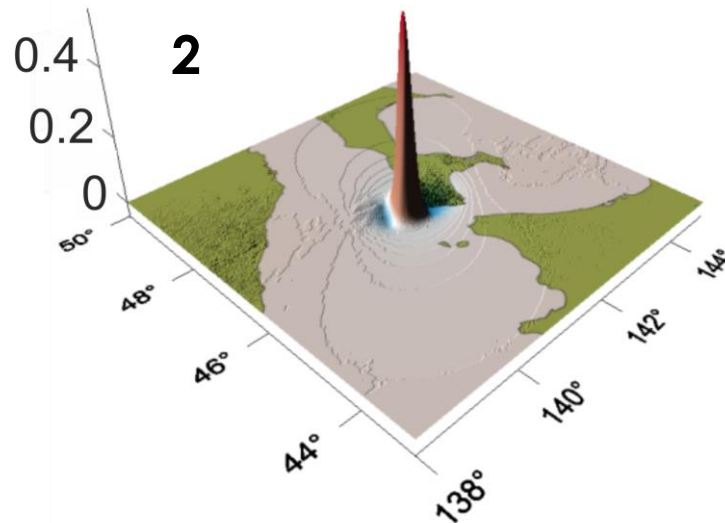
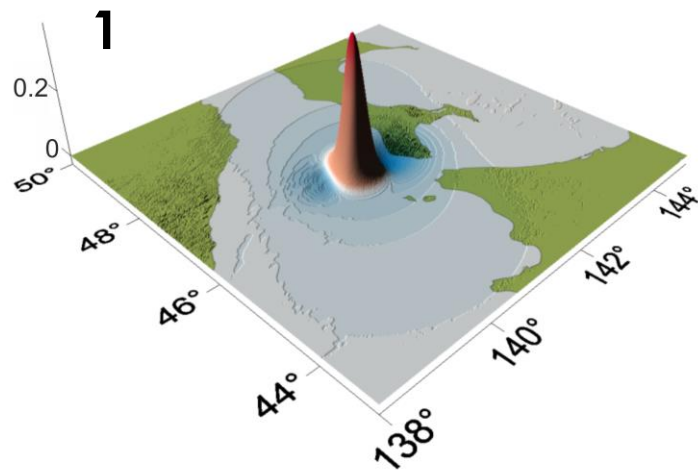
ЯПОНИЯ

- 4. Абасири
- 5. Вакканай
- 6. Кафука
- 7. Тешио
- 8. Хаборо
- 9. Румои
- 10. Ошоро
- 11. Иванай



Монеронское цунами

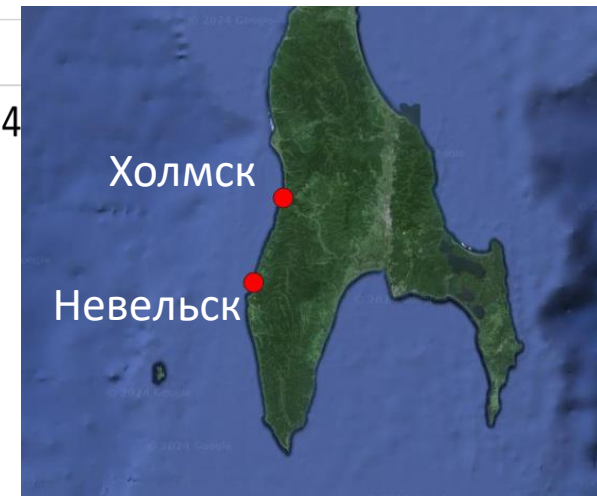
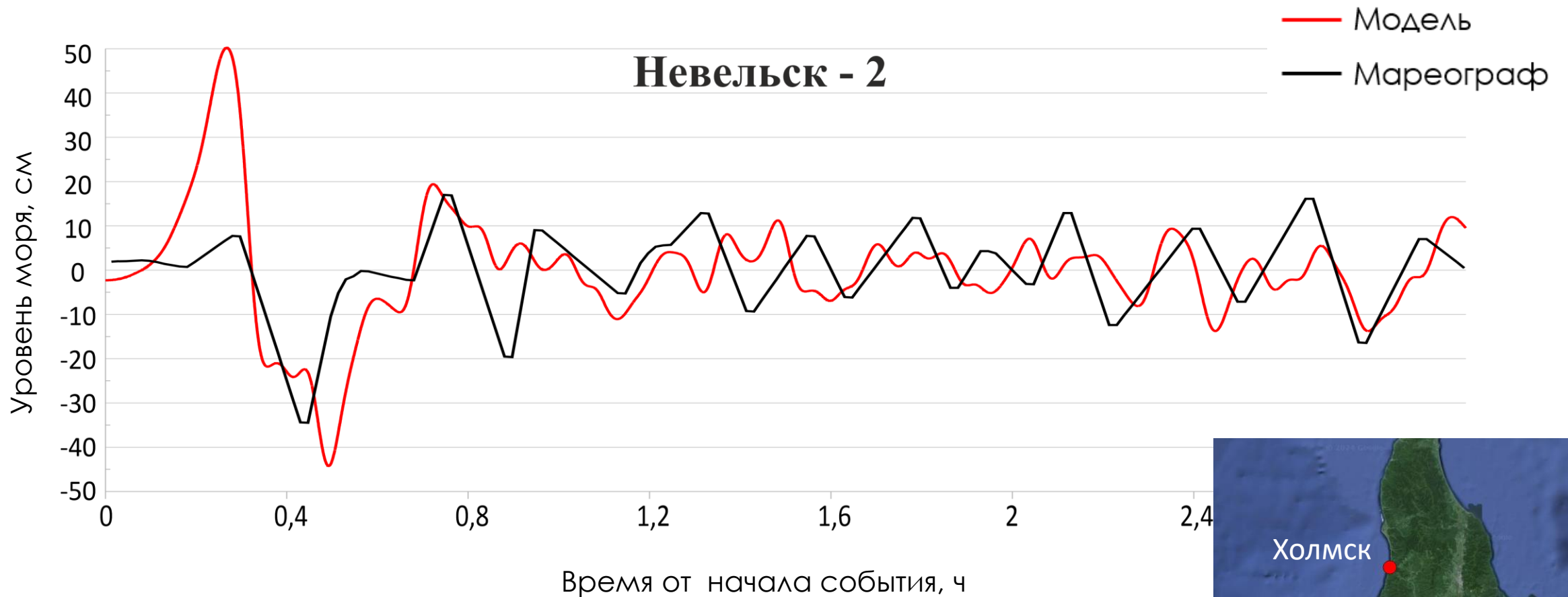
Деформация дна, м



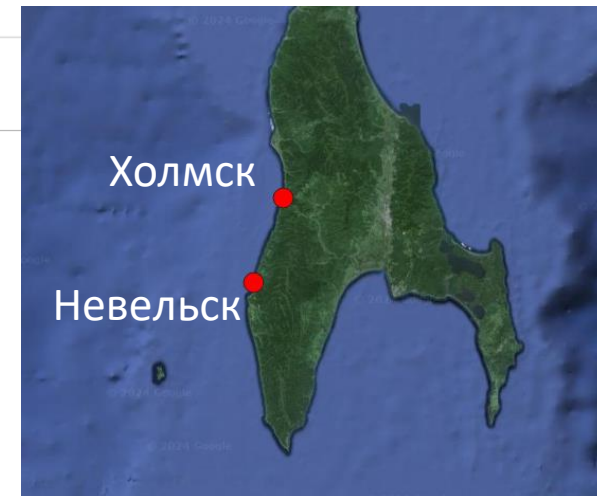
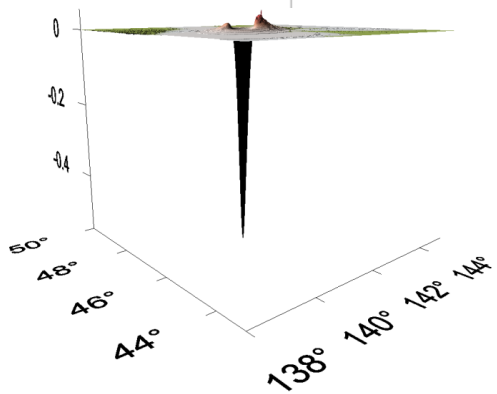
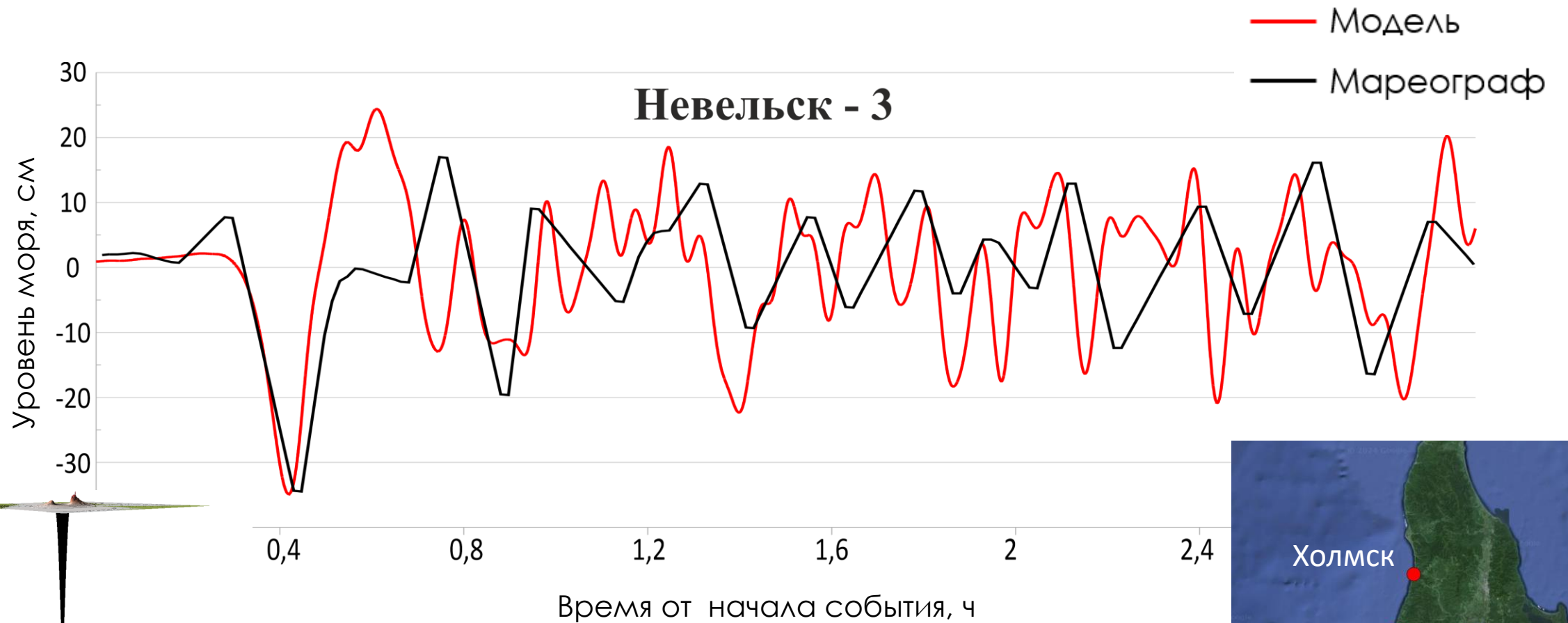
№	Широта, ° С.Ш.	Долгота, ° В.Д.	Глубина гипоцентра, км	M_w	Strike, °	Dip, °	Rake, °	Slip, м	Длина, км	Ширина, км
1	46,51	141,2	18,1	7,3	16	39	99	1,4	58,9	26,0
2	46,51	141,5	18,1	7,3	24	39	99	1,4	58,9	26,0
3	46,51	141,0	18,1	7,3	30	39	-99	1,4	58,9	26,0

Strike – угол простирания; Dip – угол падения; Slip – величина подвижки; Rake – угол между направлением подвижки и направлением падения

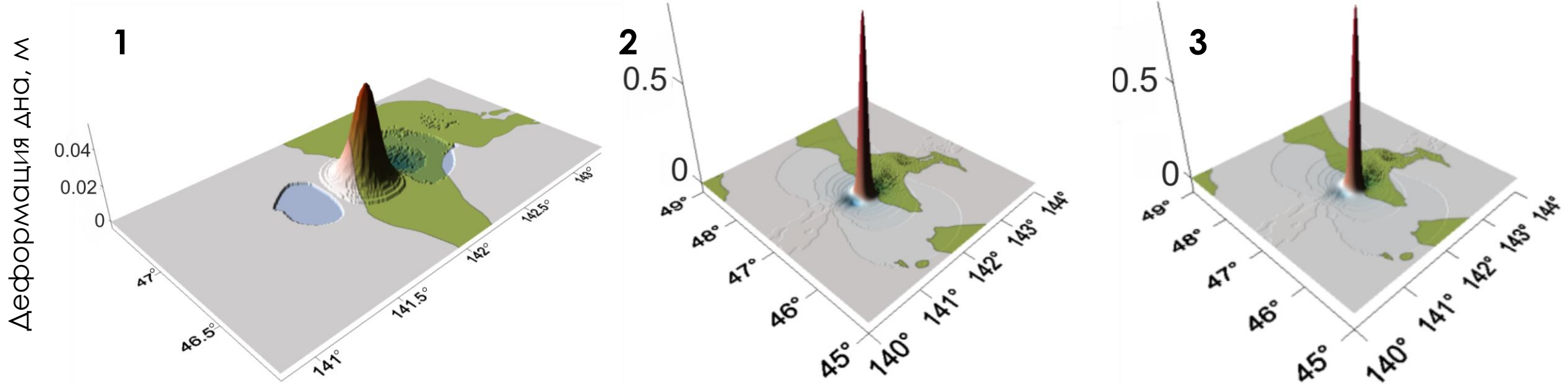
Сравнение результатов



Сравнение результатов



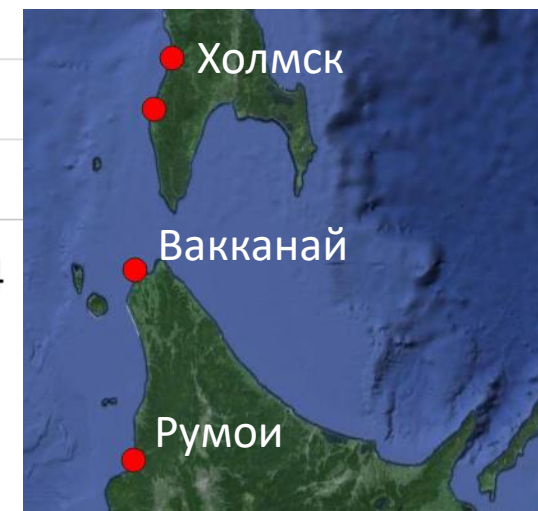
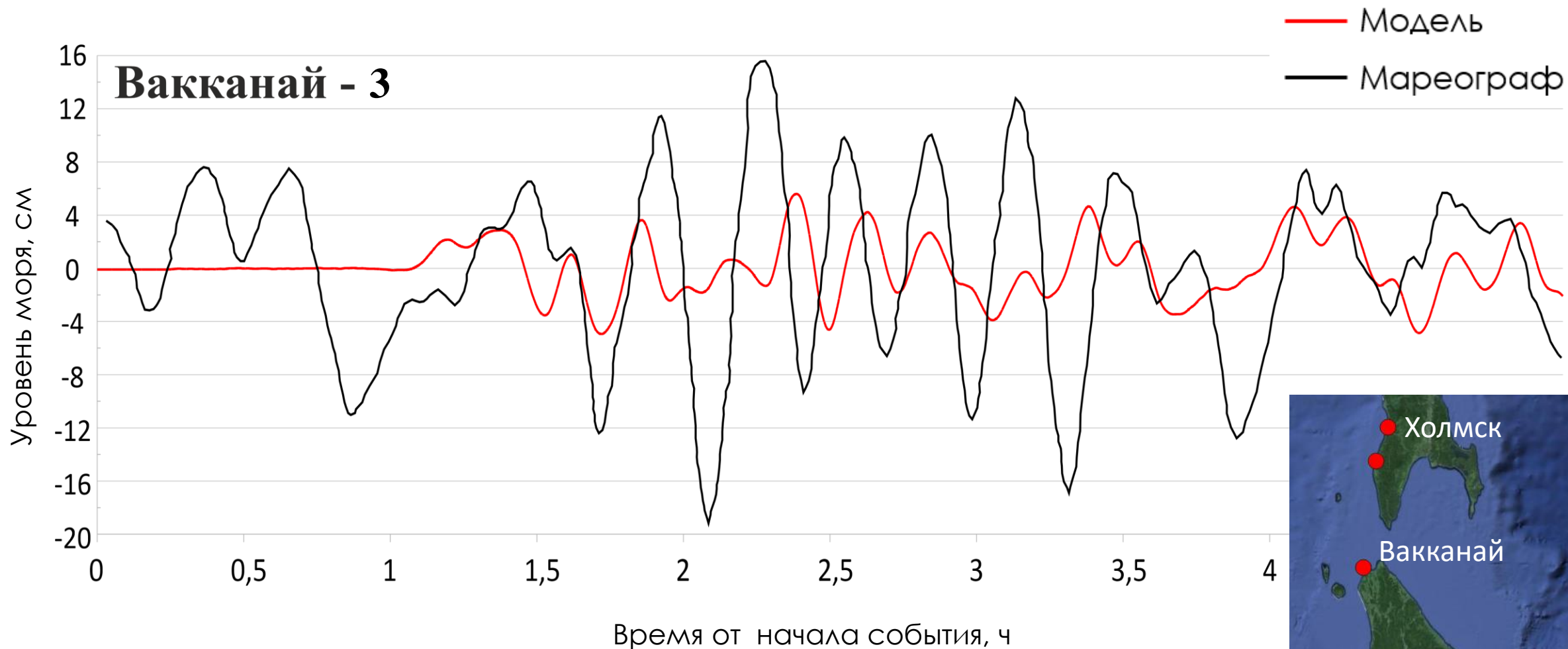
Невельское цунами



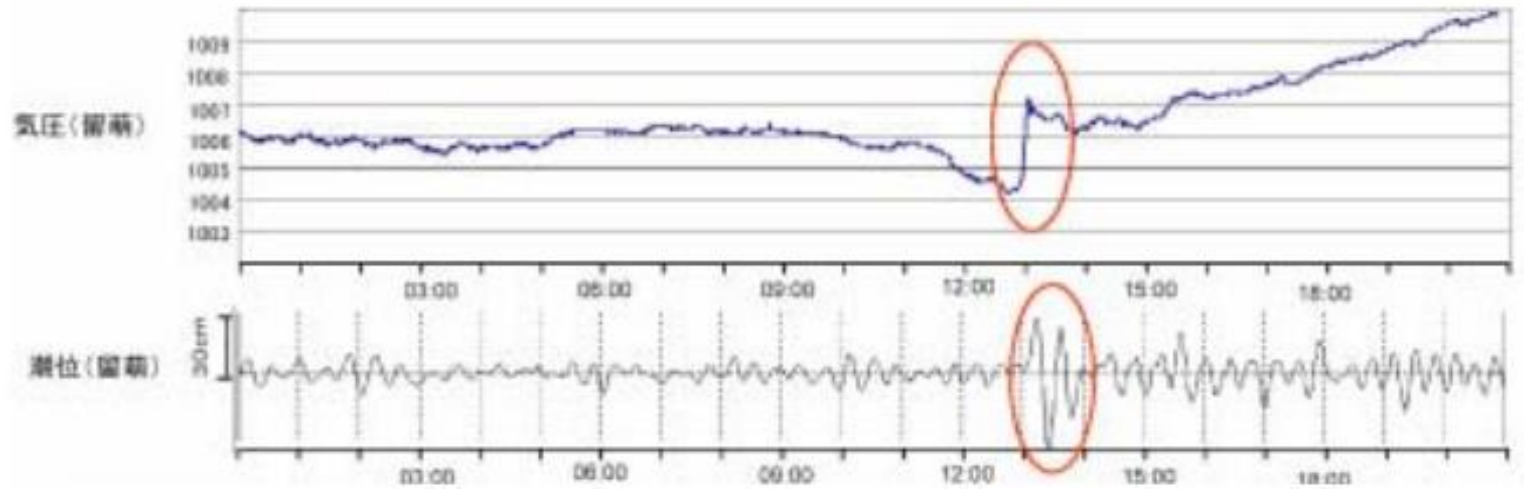
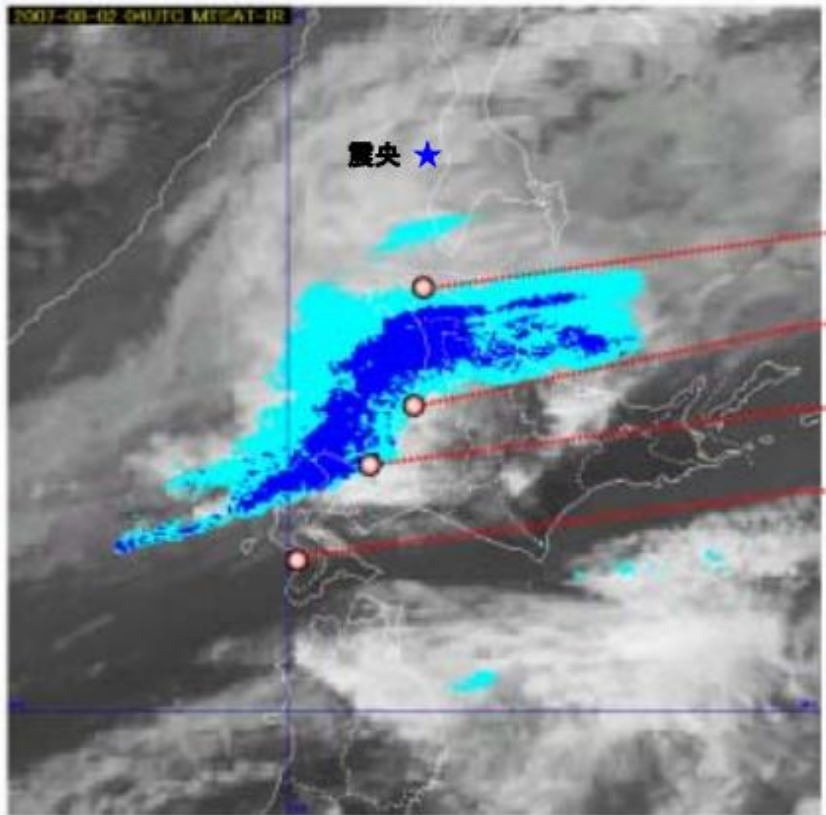
№	Широта, ° С.Ш.	Долгота, ° В.Д.	Глубина гипоцентра, км	M_w	Strike, °	Dip, °	Rake, °	Slip, м	Длина, км	Ширина, км
1	46,87	142,02	10,0	6,19	3,0	42,0	89,0	0,28	16,41	10,63
2	46,87	141,83	10,0	6,19	3,0	42,0	89,0	3,0	16,41	10,63
3	46,87	141,83	10,0	6,19	184,0	48,0	91,0	3,0	16,41	10,63

Strike – угол простирания; Dip – угол падения; Slip – величина подвижки; Rake – угол между направлением подвижки и направлением падения

Сравнение результатов



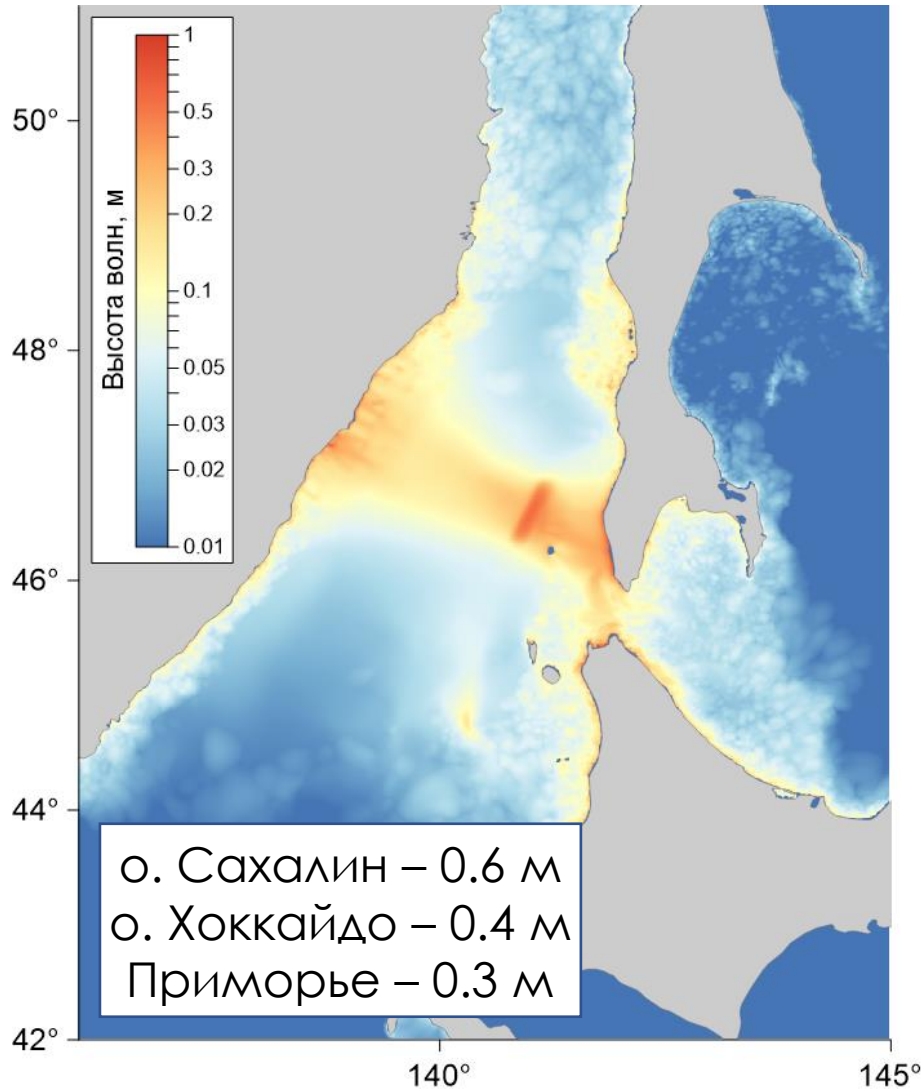
Влияние атмосферы



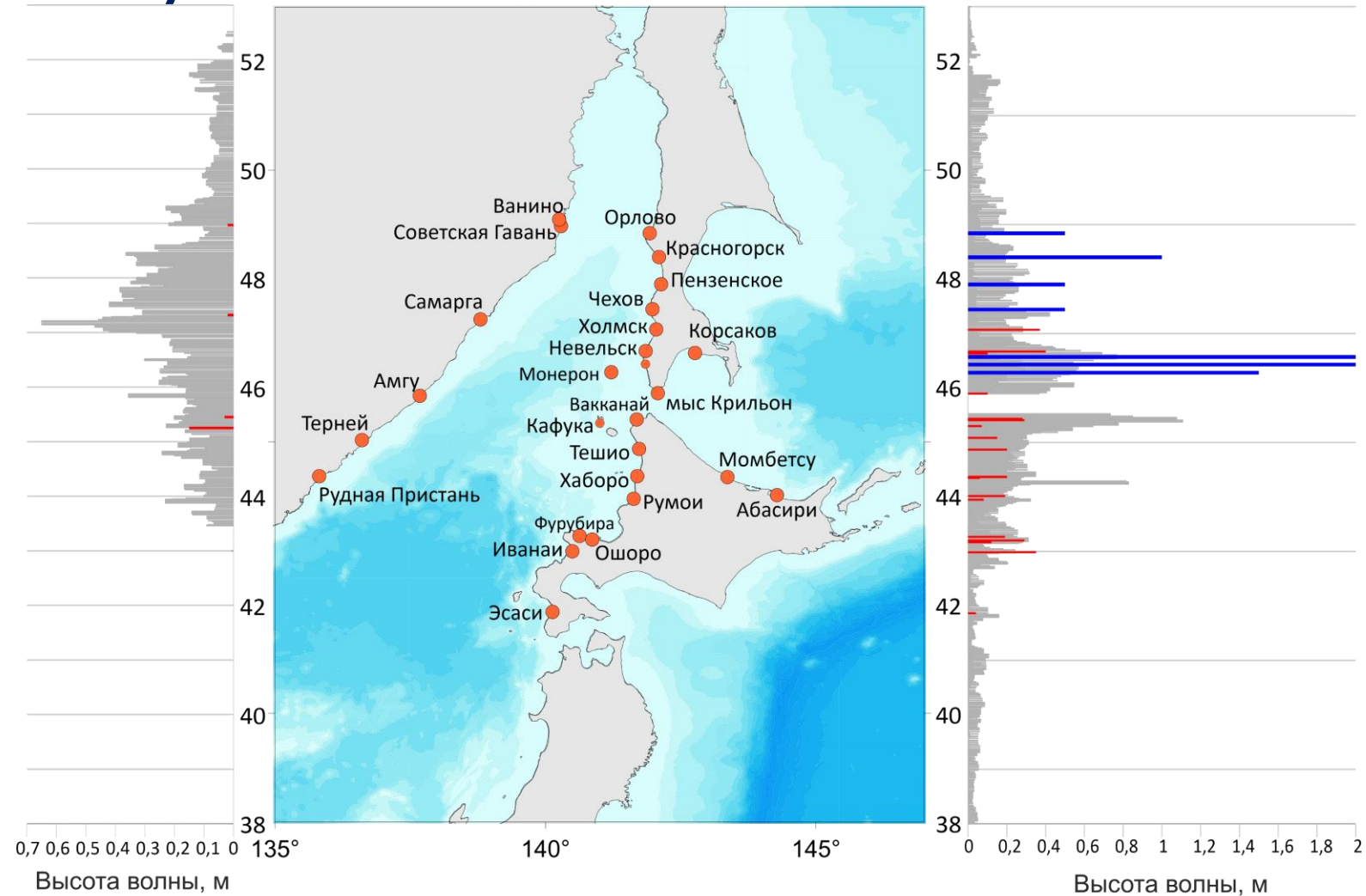
[Japan Meteorological Agency. Monthly report on earthquakes and volcanoes in Japan. – 2007]

Изменение давление на 3гПа
повлекло повышение уровня моря

Максимальные высоты волн цунами

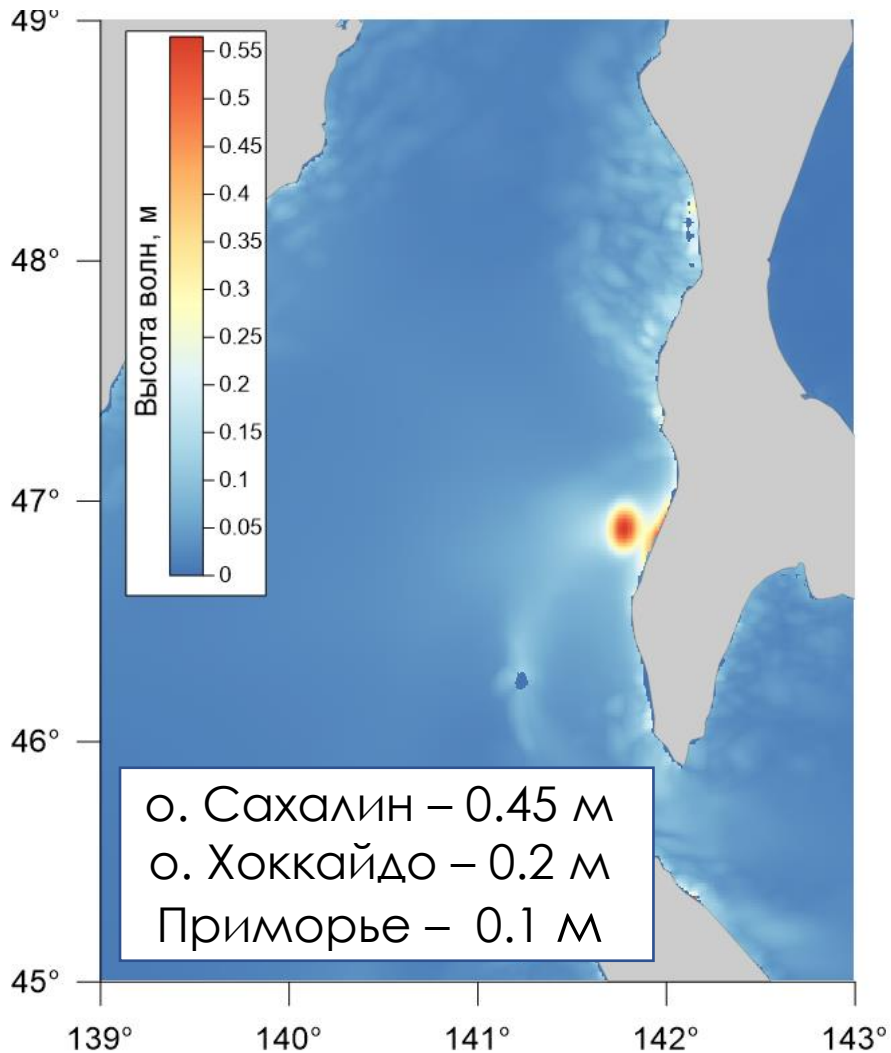


Монеронское цунами, 1971 г.

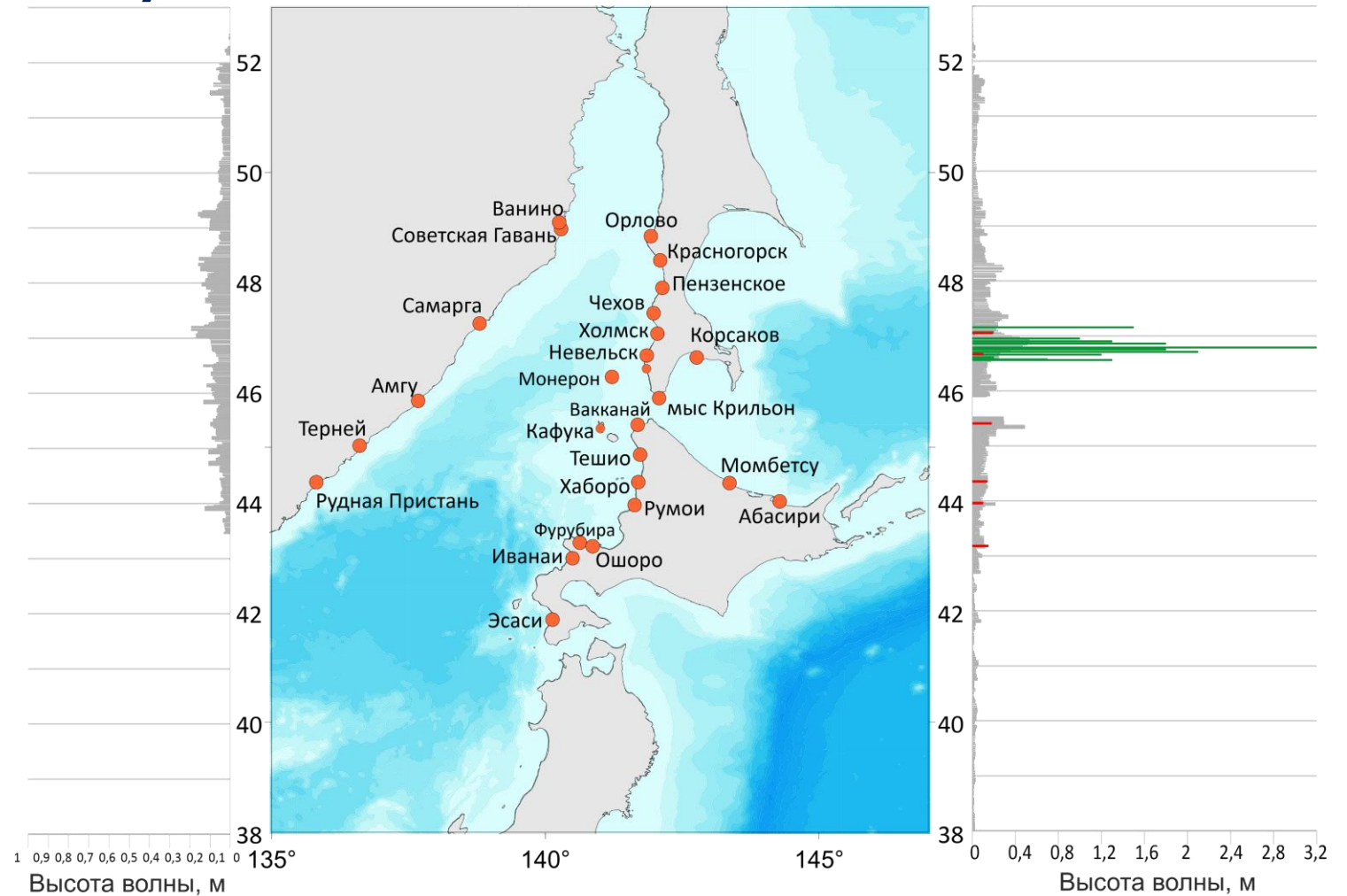


Серый – моделирование, красный –
мареографы, синий – визуальные наблюдения

Максимальные высоты волн цунами



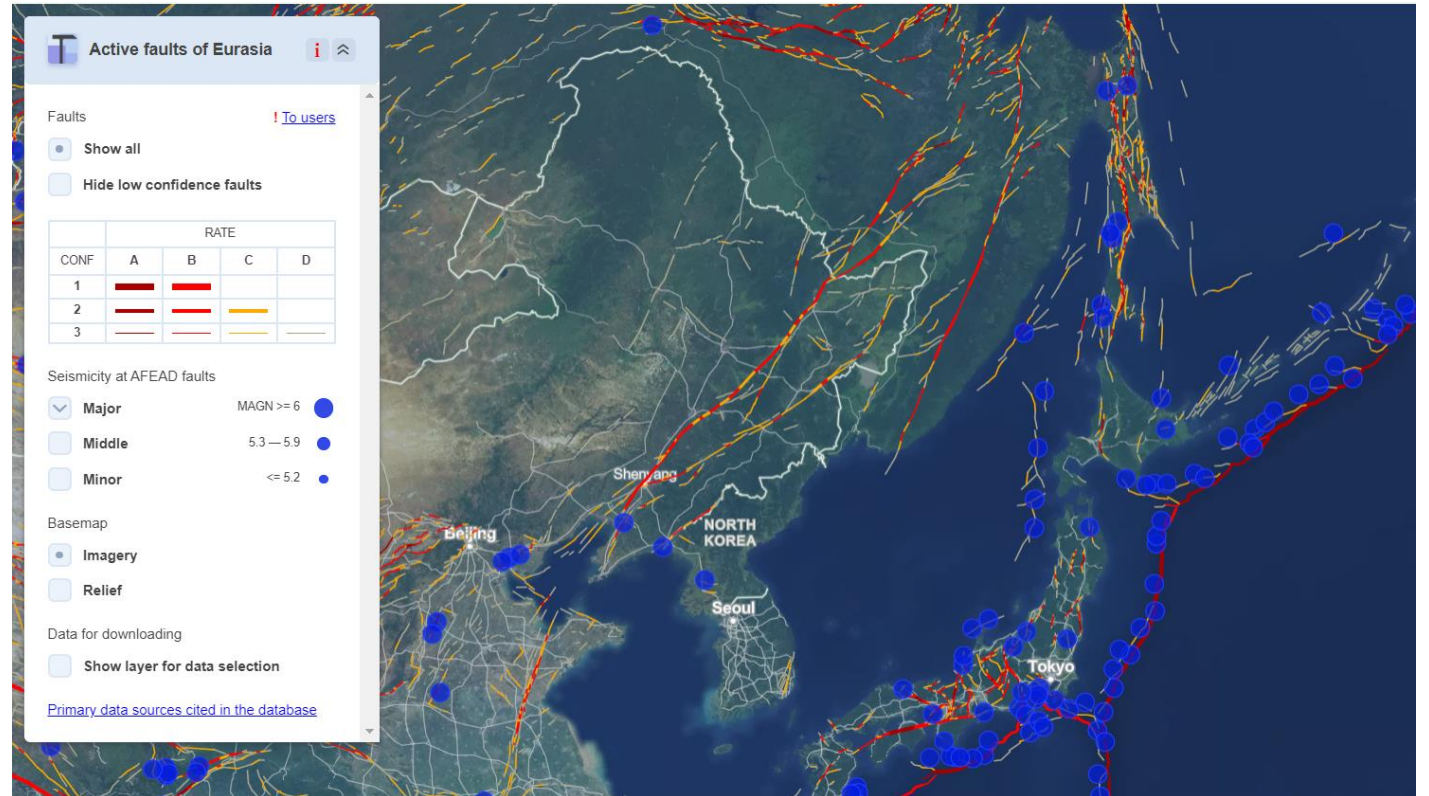
Невельское цунами, 2007 г.



Серый – моделирование, красный – **мареографы**,
зеленый – **заплески (пост-обследования)**

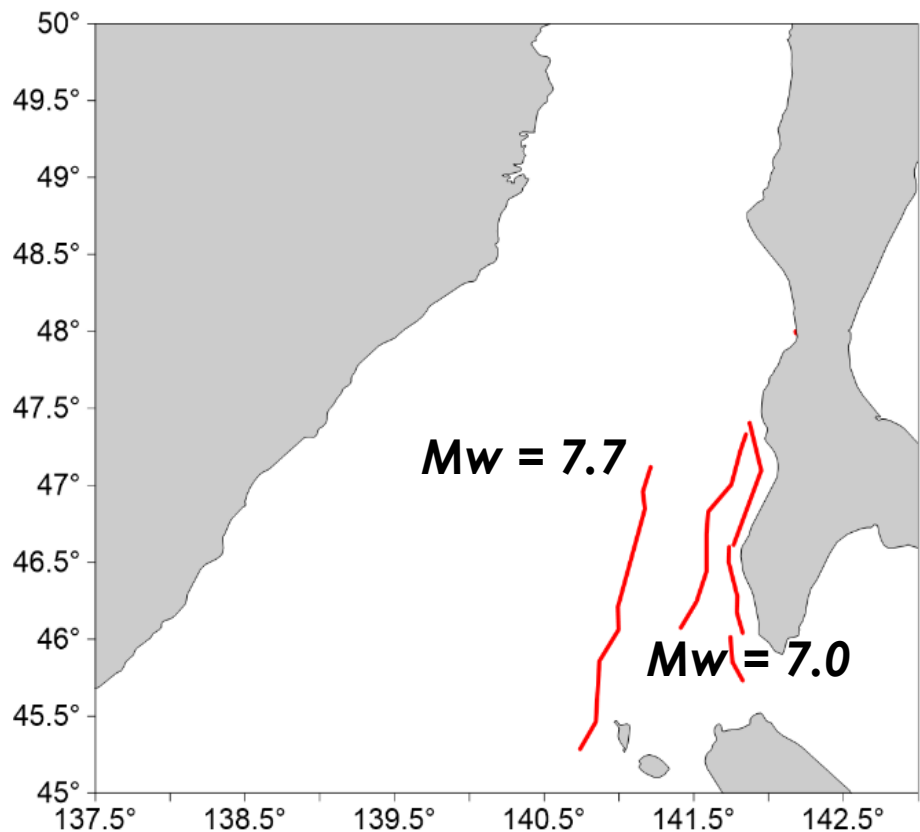
Поиск максимально возможной высоты цунами

- Основные области, где происходят крупные подвижки земной коры, относятся к **активным разломам**
- Выбор активных разломов для района исследования осуществлялся с помощью **базы данных AFEAD (ГИН РАН)**
- Набор данных позволяет определить **максимально допустимую магнитуду** для того или иного разлома

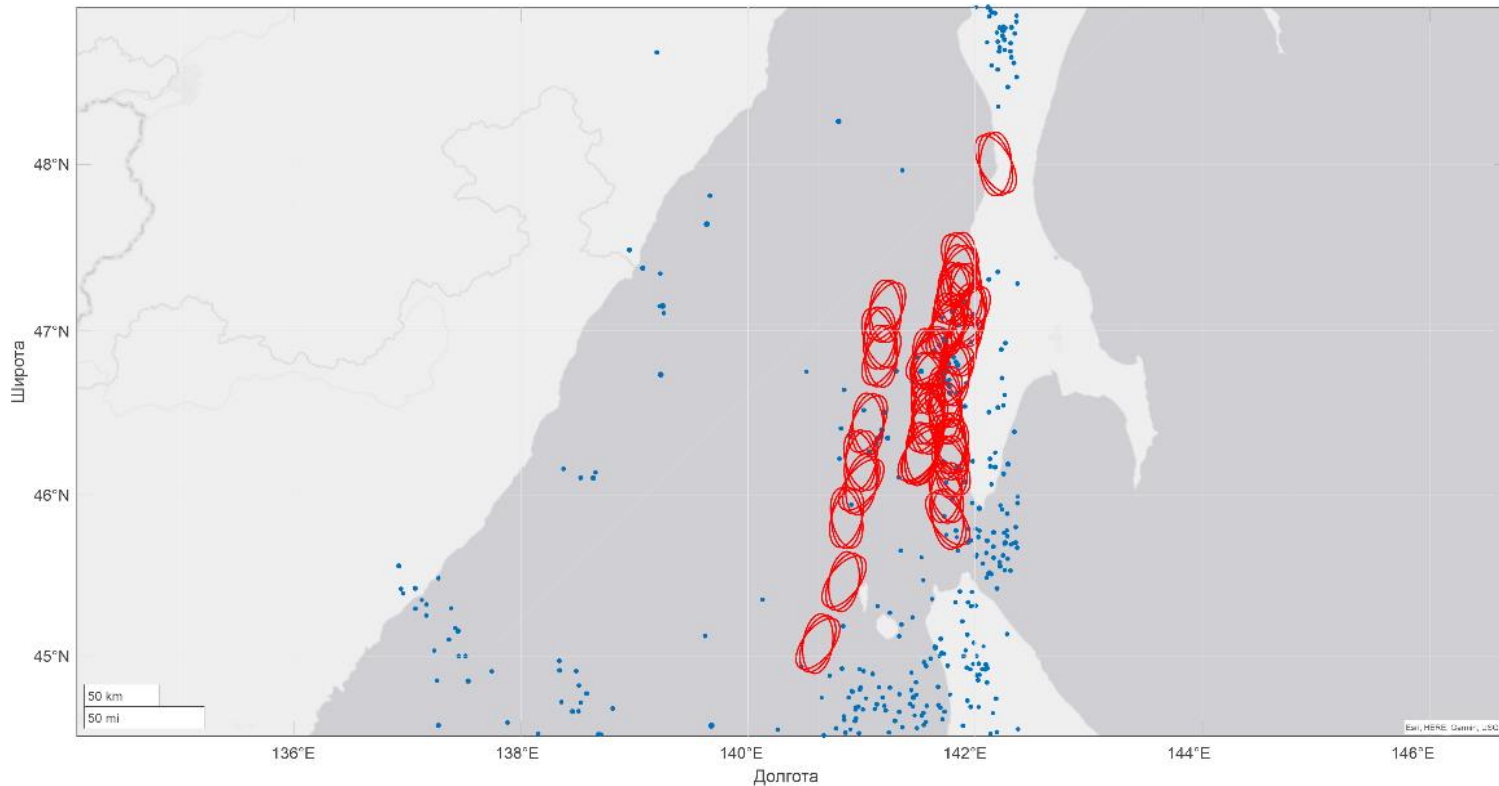


Внешний вид базы данных активных разломов AFEAD (ГИН РАН)

Поиск максимально возможной высоты цунами



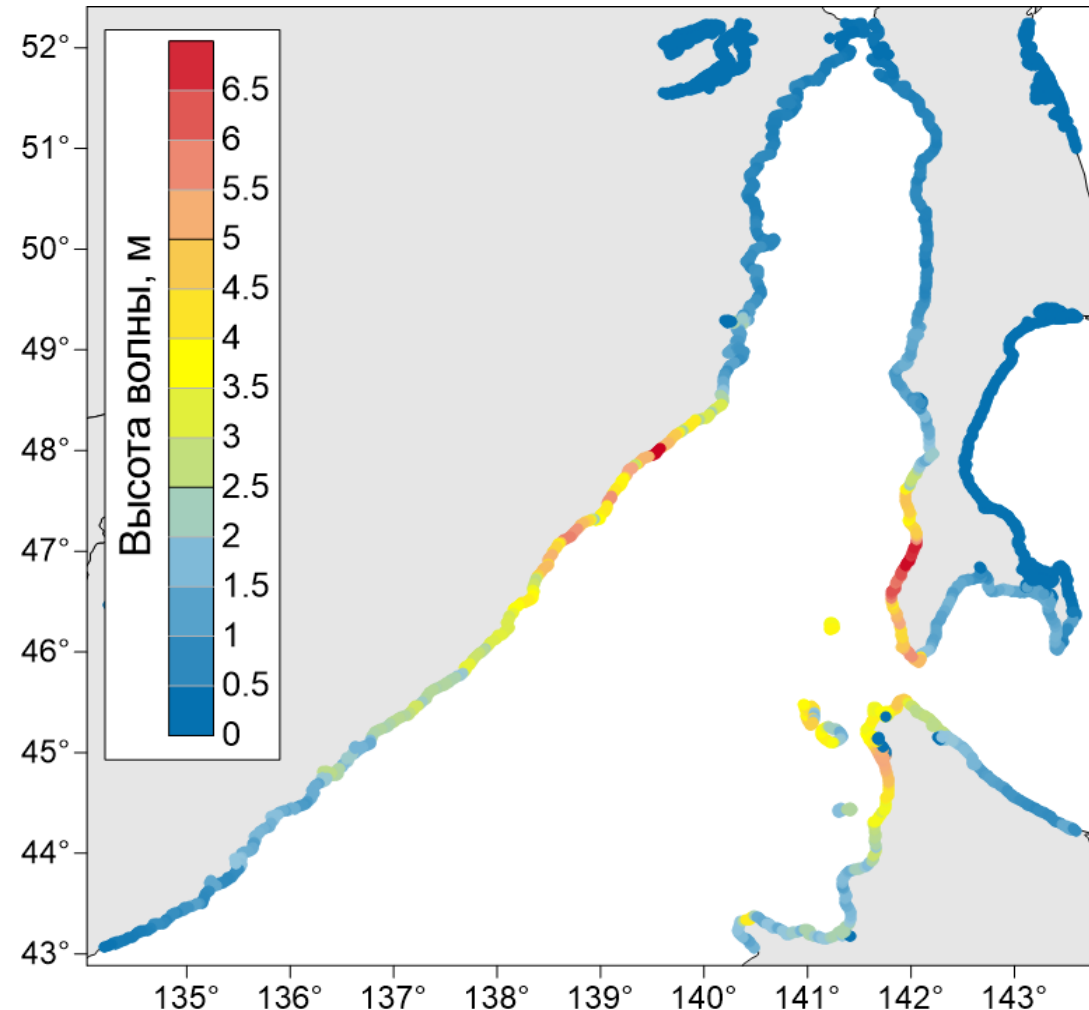
Активные разломы в северной
части Японского моря



Расположение виртуальных очагов
(198 сценариев)

Поиск максимально возможной высоты цунами

- Максимальная высота волны – **6.93 м (о. Сахалин)**
- На восточном побережье **Приморья** волны **до 6.5 м**
- На северном побережье **о. Хоккайдо** до **4.5 м**
- Стоит помнить, что разломы тянутся вдоль всех японских островов, где также происходят крупные землетрясения, последствия которых могут быть значительнее

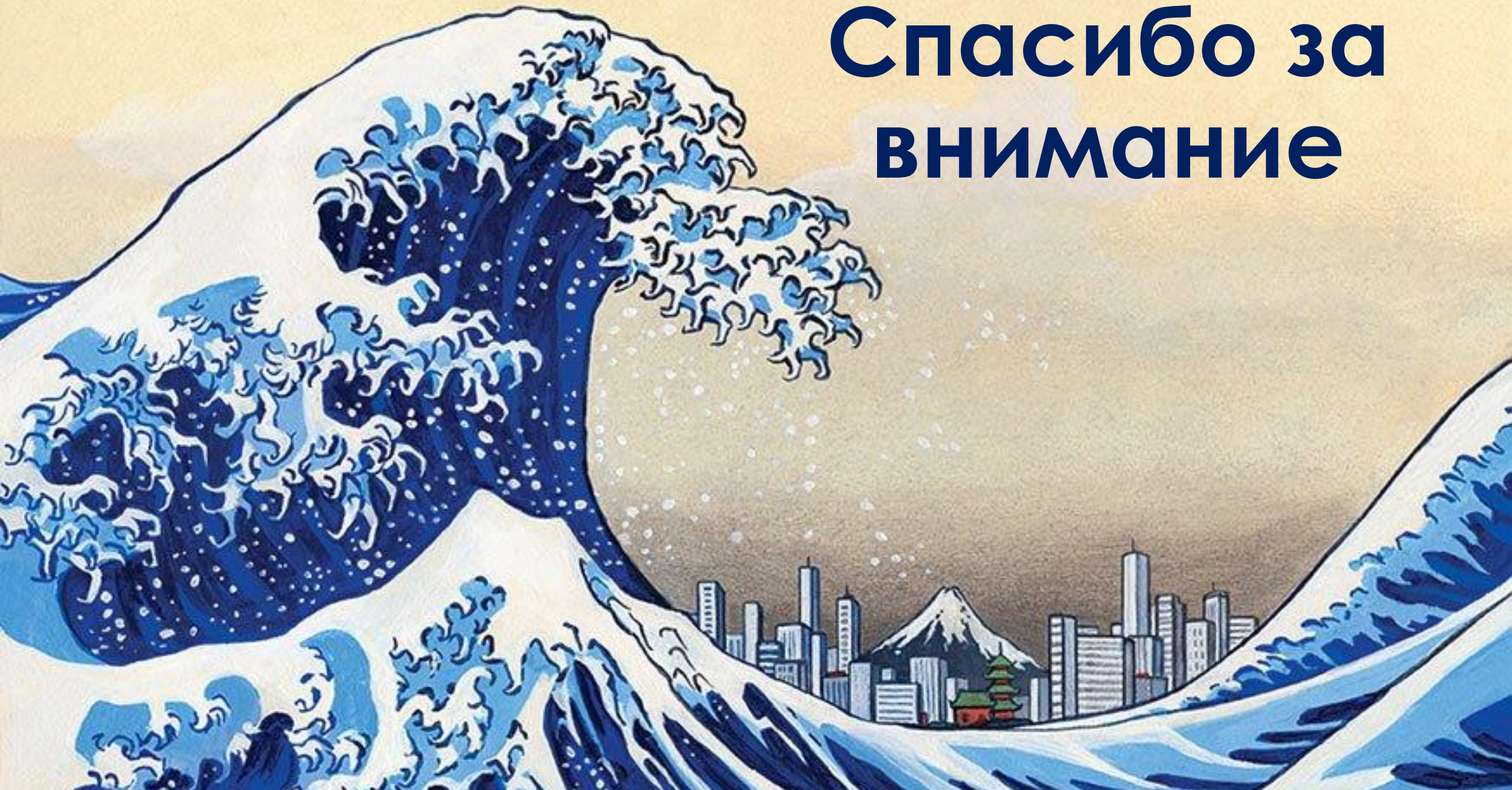


Распределение максимальных высот на побережье

Выводы

- Для Монеронского цунами 1971 г. максимальные высоты волн по данным моделирования составили на о. Сахалин (0.6 м), побережье Приморья (0.3 м) и о. Хоккайдо (0.4 м). По визуальным оценкам высоты достигали 2 м
- Для Невельского цунами 2007 г. максимальные высоты волн по данным моделирования составили на о. Сахалин (0.45 м), побережье Приморья (0.1 м) и о. Хоккайдо (0.2 м). По визуальным оценкам высоты достигали 3.2 м
- В случае Невельского цунами 2007 г. сделано предположение о метеоцунами
- Проведена предварительная оценка цунамиопасности северной части Японского моря. Выявлены максимально возможные высоты волн цунами, которые могут быть сгенерированы землетрясениями в данном регионе – до 6.9 м

**Спасибо за
внимание**



Модель TUNAMI

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left[\frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{\partial (v \cos \varphi)}{\partial \varphi} \right] = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} = 0$$

φ, λ – текущие широта и долгота;

R – радиус Земли;

u, v – компоненты вектора горизонтального потока жидкости, интегрированного по глубине h ;

η – отклонение свободной поверхности;

g – ускорение силы тяжести;

t – время

Граничные условия:

На **свободной** границе задается условие излучения, связывающее нормальную составляющую u_n и уровень η :

$$u_n = \eta \sqrt{gh}$$

На **береговой** границе – условие непротекания:

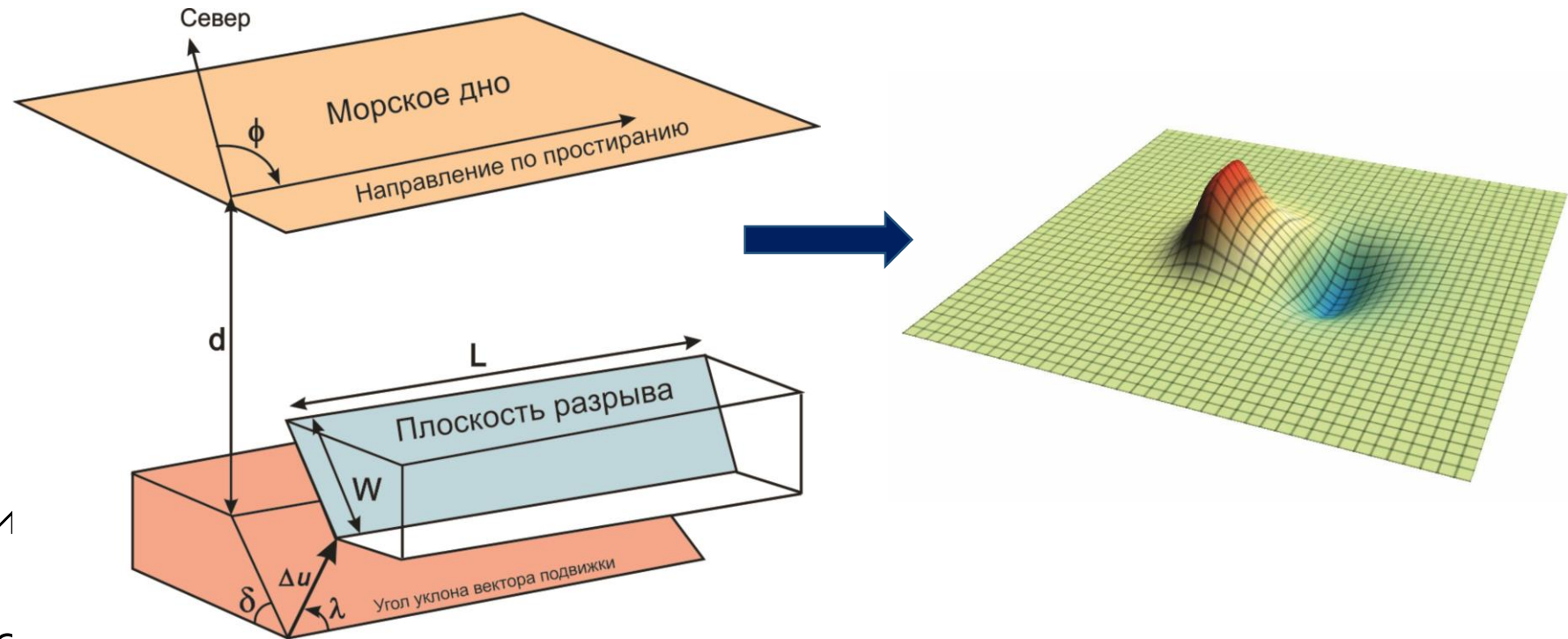
$$u_n = 0$$

При расчетах стенка задается на глубине:

$$h = 5 \text{ м}$$

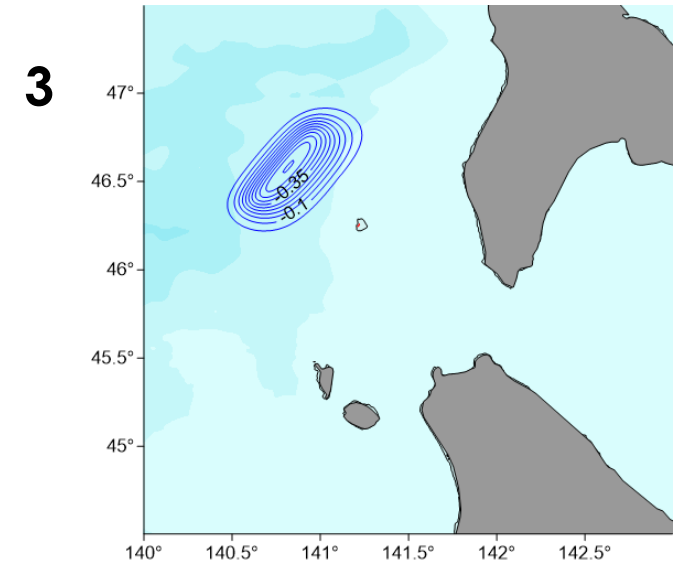
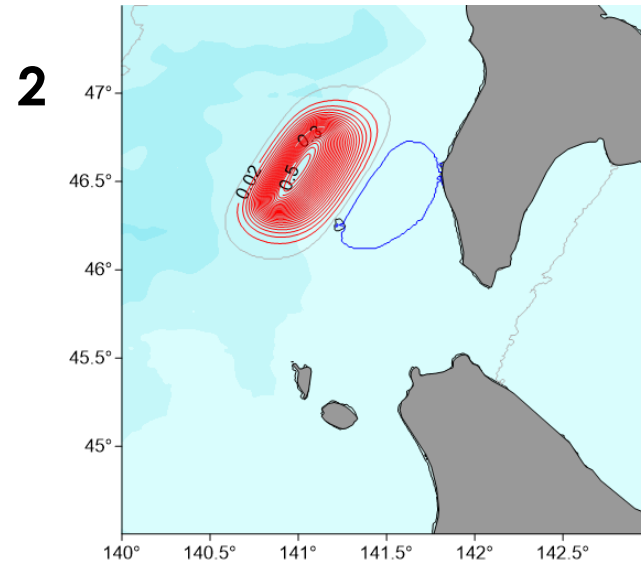
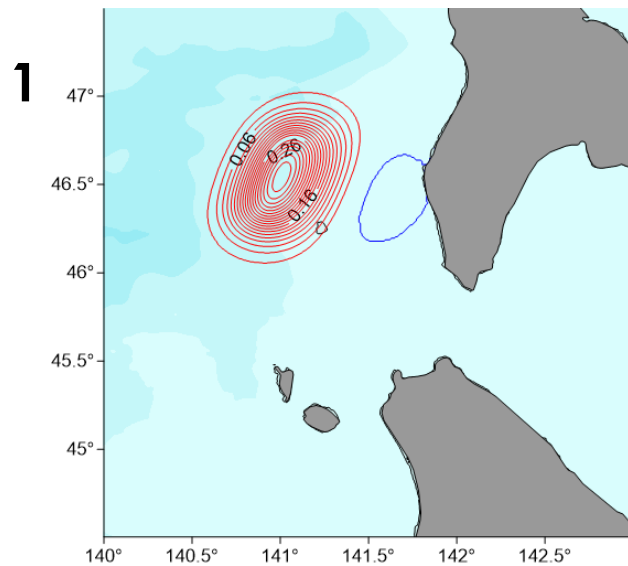
Формулы Окада

1. Угол простирания (strike)
2. Угол падения (dip)
3. Угол между направлением простирания и направлением подвижки (rake)
4. Величина подвижки (slip)
5. Длина (L) и ширина (W) очага



Монеронское цунами

Деформация дна, м

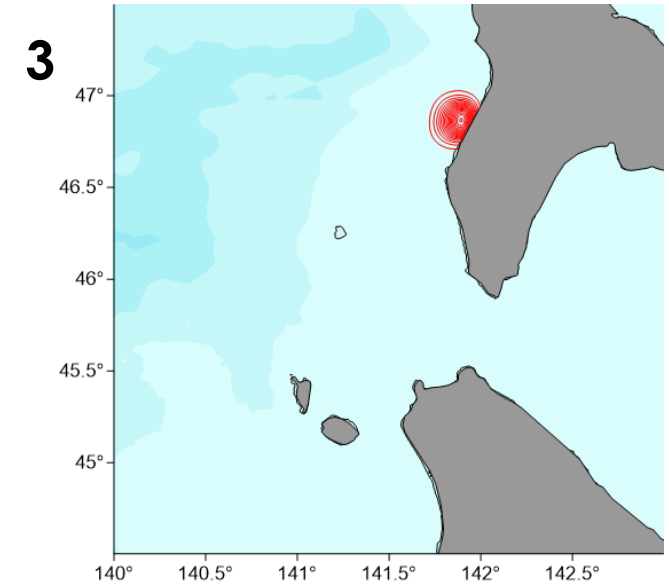
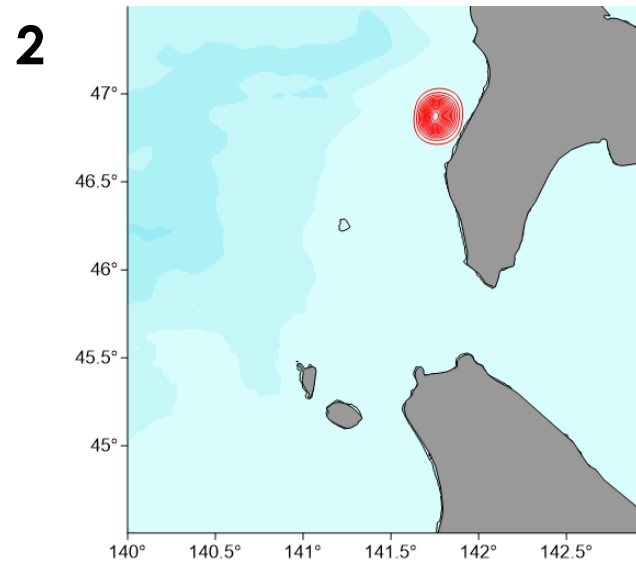
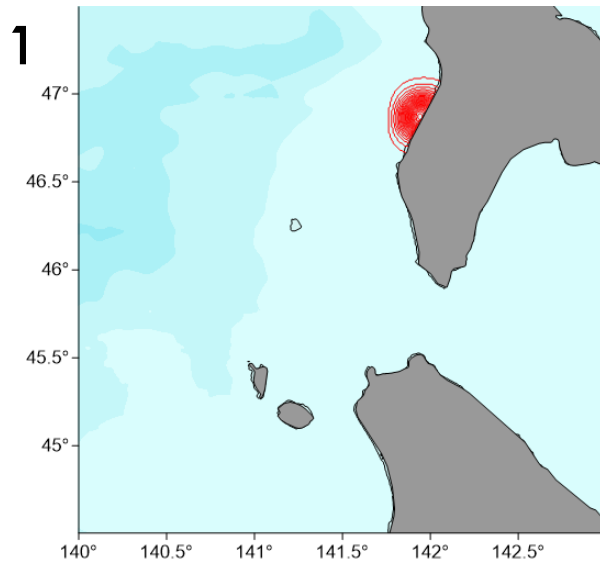


№	Широта, ° С.Ш.	Долгота, ° В.Д.	Глубина гипоцентра, км	M_w	Strike, °	Dip, °	Rake, °	Slip, м	Длина, км	Ширина, км
1	46,51	141,2	18,1	7,3	16	39	99	1,4	58,9	26,0
2	46,51	141,5	18,1	7,3	24	39	99	1,4	58,9	26,0
3	46,51	141,0	18,1	7,3	30	39	-99	1,4	58,9	26,0

Strike – угол простирания; Dip – угол падения; Slip – величина подвижки; Rake – угол между направлением подвижки и направлением падения

Невельское цунами

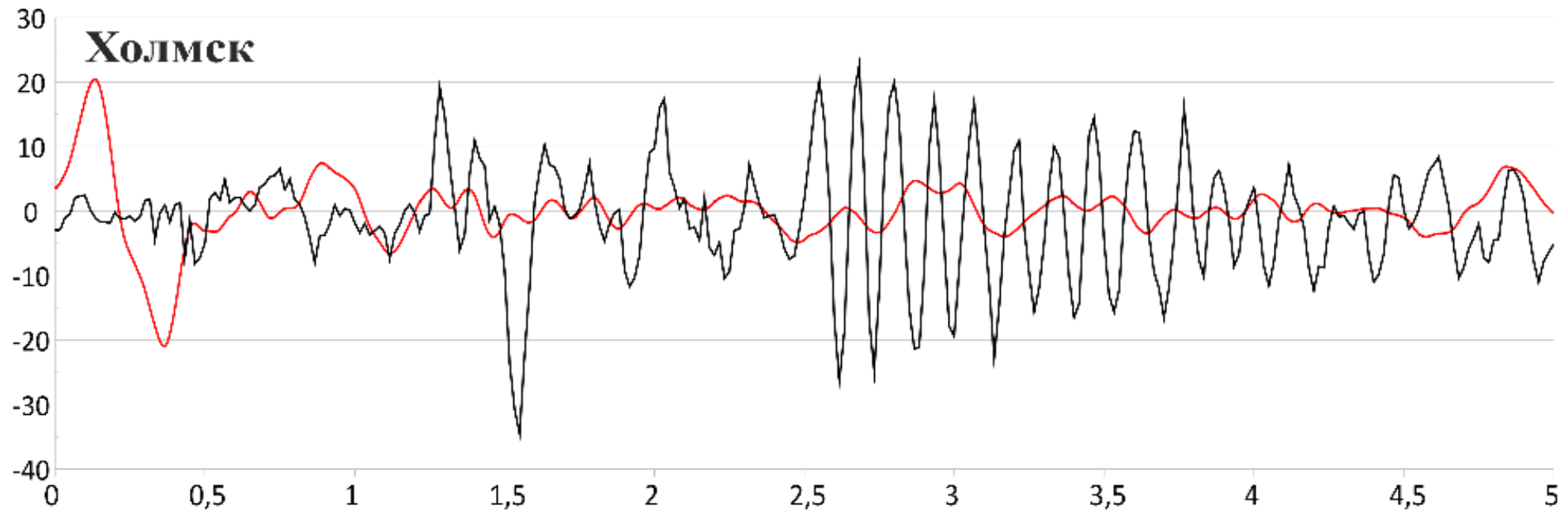
Деформация дна, м



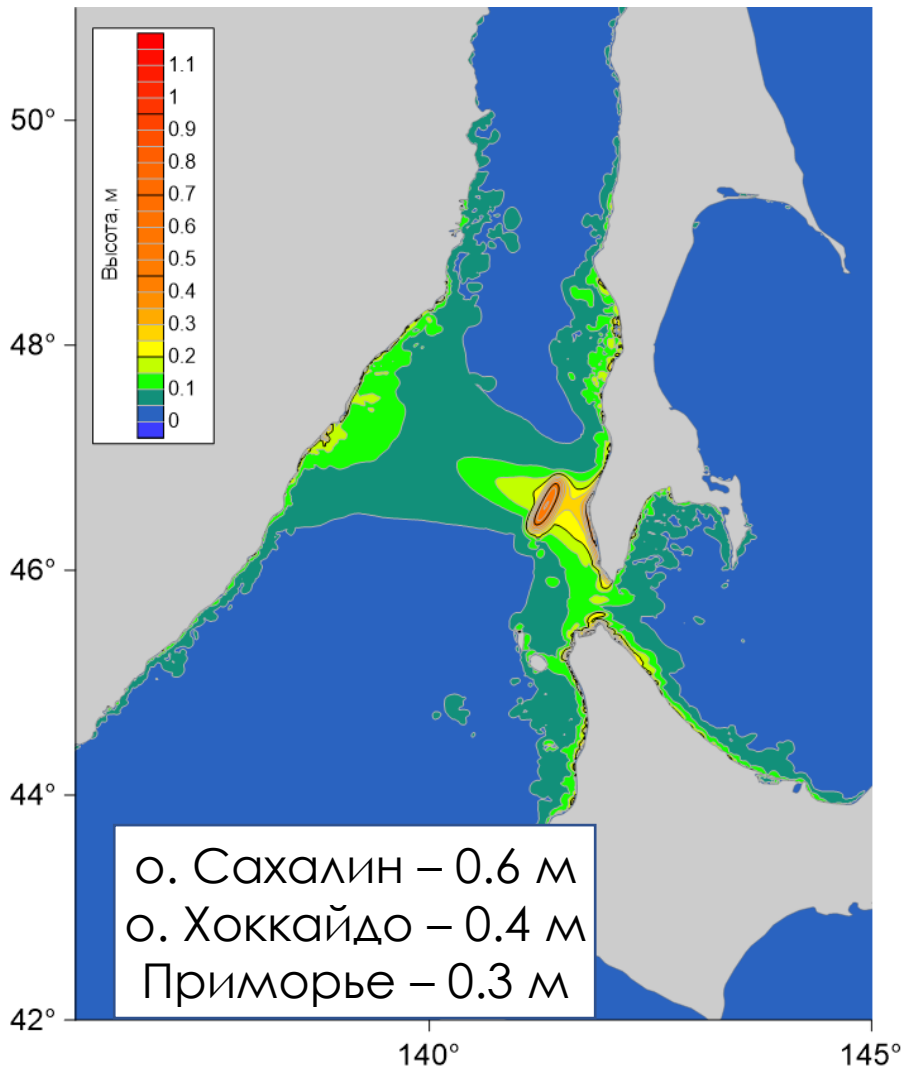
№	Широта, ° С.Ш.	Долгота, ° В.Д.	Глубина гипоцентра, км	M_w	Strike, °	Dip, °	Rake, °	Slip, м	Длина, км	Ширина, км
1	46,87	142,02	10,0	6,19	3,0	42,0	89,0	0,28	16,41	10,63
2	46,87	141,83	10,0	6,19	3,0	42,0	89,0	3,0	16,41	10,63
3	46,87	141,83	10,0	6,19	184,0	48,0	91,0	3,0	16,41	10,63

Strike – угол простирания; Dip – угол падения; Slip – величина подвижки; Rake – угол между направлением подвижки и направлением падения

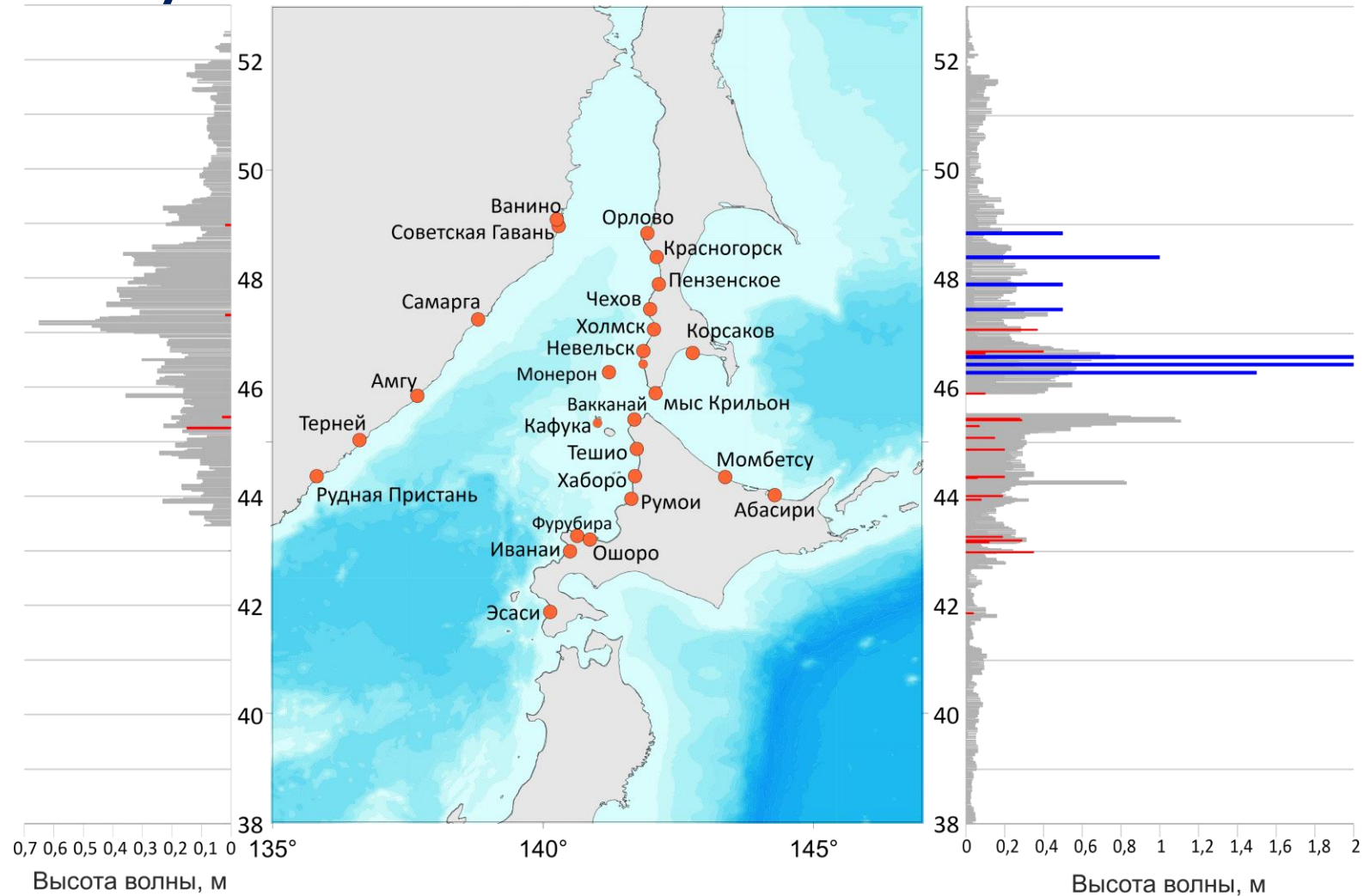
Невельское цунами



Максимальные высоты волн цунами

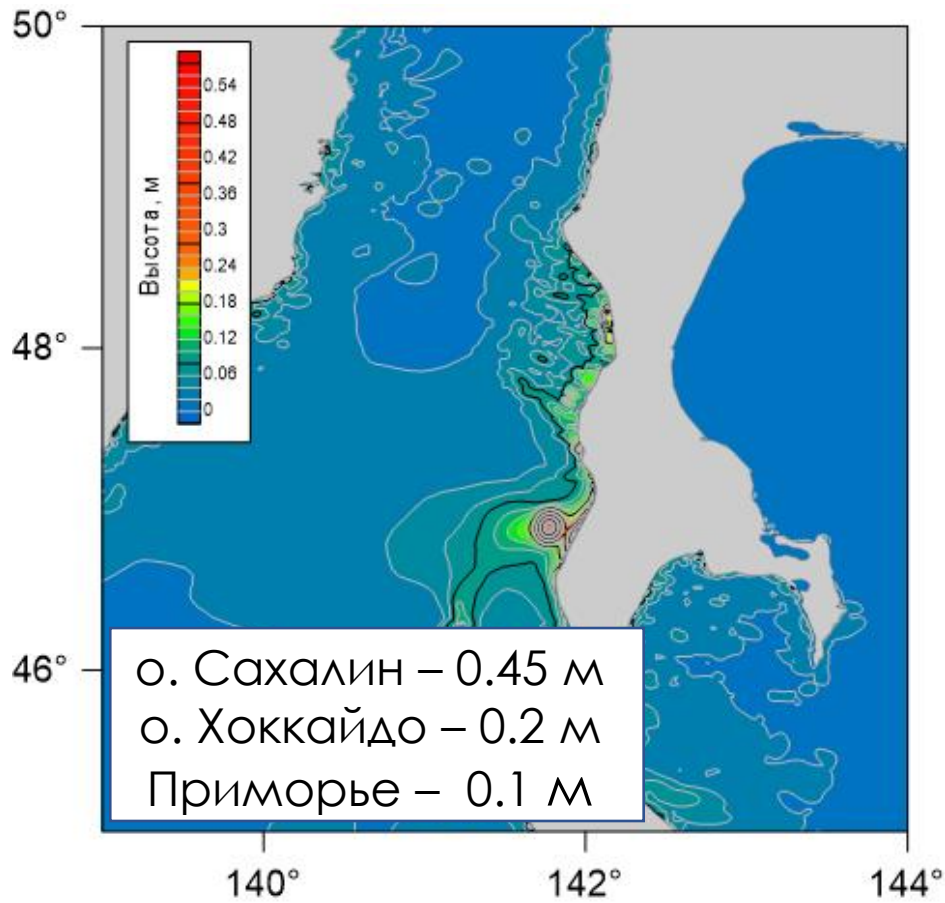


Монеронское цунами, 1971 г.

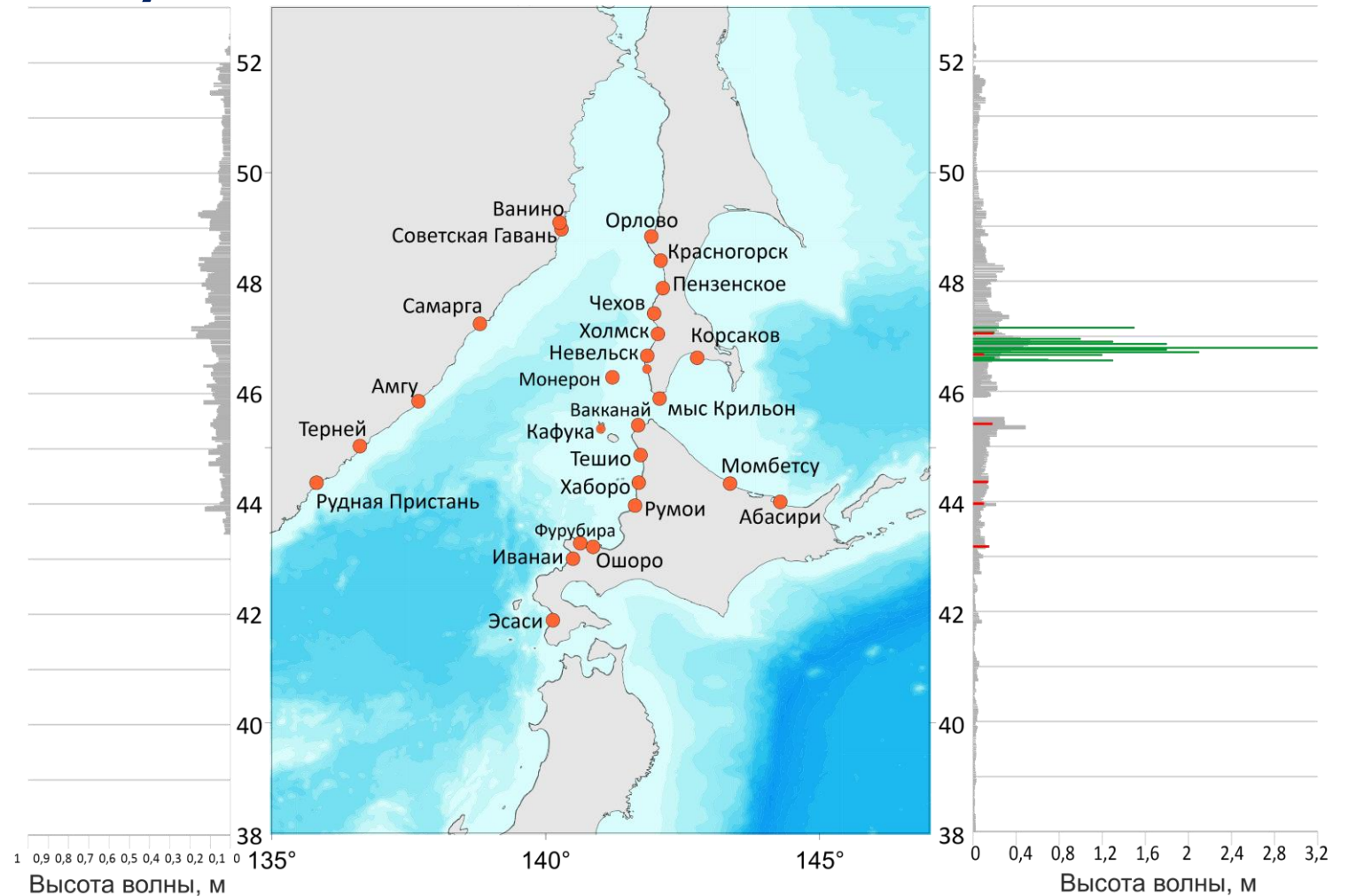


Серый – моделирование, красный –
мареографы, синий – визуальные наблюдения

Максимальные высоты волн цунами



Невельское цунами, 2007 г.



Серый – моделирование, красный – **мареографы**,
зеленый – **заплески (пост-обследования)**