

ВОЛНЫ ЦУНАМИ В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

И.П. Медведев

**Е.А. Куликов, А.И. Иващенко,
О.И. Яковенко, А.Ю. Медведева**

Лаборатория цунами ИОРАН

““ *Цель работы:*

Исследовать возникновение и распространение волн цунами в морях российской Арктики



Мотивация Что известно о цунами в Арктике?

TSUNAMI HAZARD IN THE ARCTIC REGIONS OF NORTH AMERICA, GREENLAND AND THE NORWEGIAN SEA

Alan Ruffman¹ and Tad Murty²

¹Geomarine Associates Ltd., P.O. Box 41, Station M, Halifax, Nova Scotia, Canada B3J 2L4, phone/fax (902) 477-5415

²Department of Civil Engineering, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada K1N 6N5, email smurty@hotmail.com

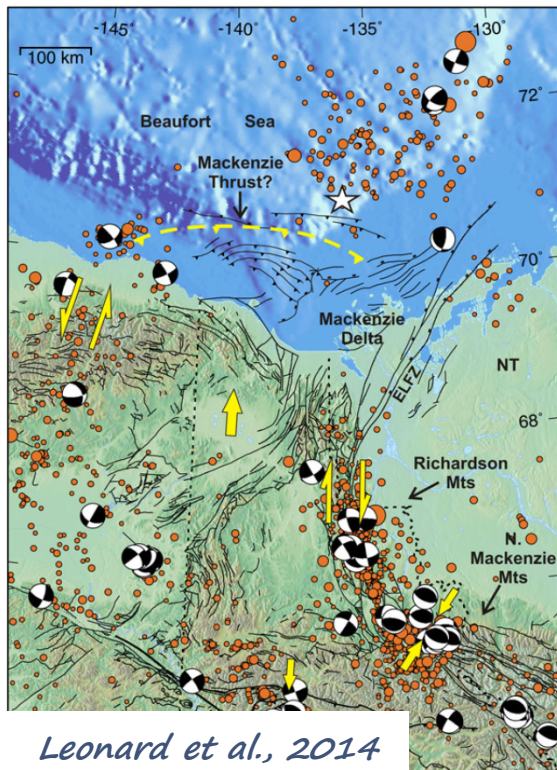
ABSTRACT

There are very few known possible tectonic tsunamis in these Arctic regions. One was a 1 to 2 m event observed by a heavy mineral exploration team checking a beach deposit on the north end of Ubekendit Island of northwestern Greenland on July 24, 1985. One of the parties searching for the Franklin Expedition overwintered on the Loksland (the land that shakes) Peninsula of Baffin Island in the early 1860s. They recorded local oral history of a large wintertime Inuit hunting party that never returned after a major felt earthquake, suggesting that the loss of the hunting party may have been related to a coastal catastrophe -- a tsunami?

Исследовательская группа по поиску твердых полезных ископаемых в береговых отложениях наблюдала 24 июля 1985 г. событие с высотой волн от 1 до 2 м на северной оконечности острова Убекендт в северо-западной части Гренландии.



Мотивация Что известно о цунами в Арктике?



В районе надвига Маккензи могут происходить цунамигенные землетрясения магнитудой 7.9 (7.4-8.4) с периодом повторяемости примерно 3300 лет.

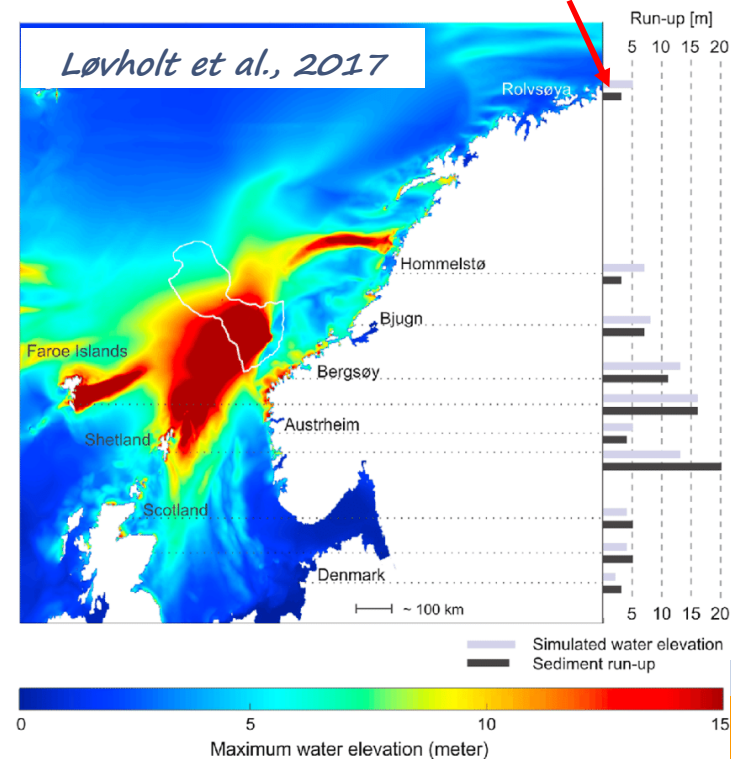
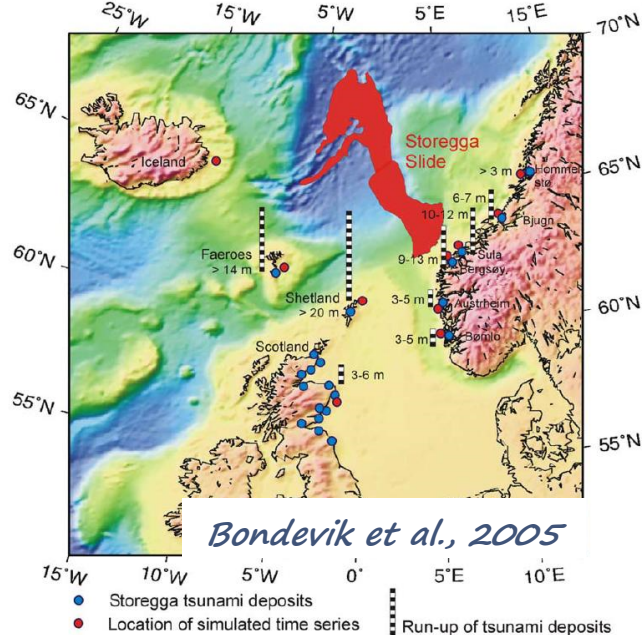
Землетрясение магнитудой 8.4 вызовет цунами с высотой более 3 м вдоль побережья Юкона и Северо-Западных территорий Канады. Цунами с высотой более 1.5 м может наблюдаться на островах Банка и Виктория Канадского Арктического архипелага. Более слабые землетрясения возбудят цунами высотой не более 1.5 м.



Мотивация Что известно о цунами в Арктике?

Высота цунами до 3-4 м!

Норвежском море
6100–6200 гг. до н. э.



“ Часть 1:

Сейсмогенные цунами в Арктике



Численное моделирование цунами

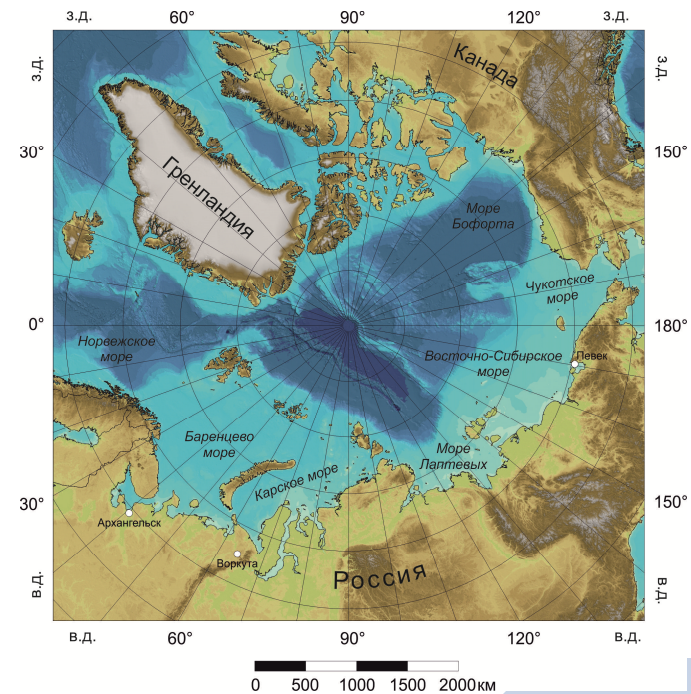
Модификация модели TUNAMI
(Imamura et al., 2006; Fine et al., 2011)



Расчетная сетка с постоянным шагом в
полярной стереографической проекции (500 м)
на основе батиметрии IBCAO



Модель источника
(Okada, 1985)





Численное моделирование цунами

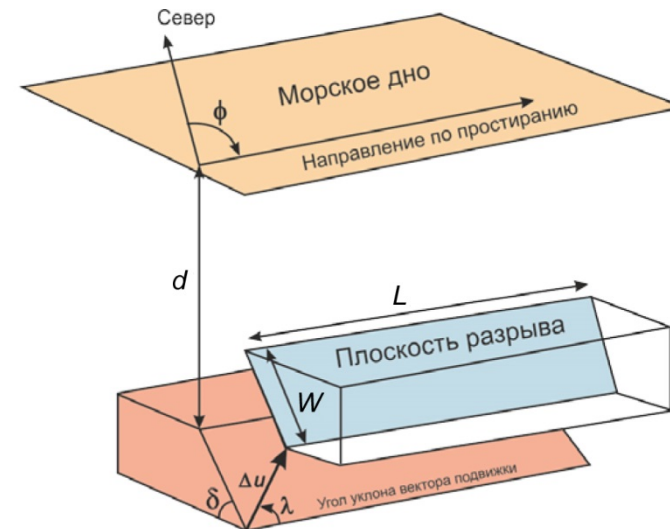
Модификация модели TUNAMI
(Imamura et al., 2006; Fine et al., 2011)



Расчетная сетка с постоянным шагом в
полярной стереографической проекции (500 м)
на основе батиметрии IBCAO



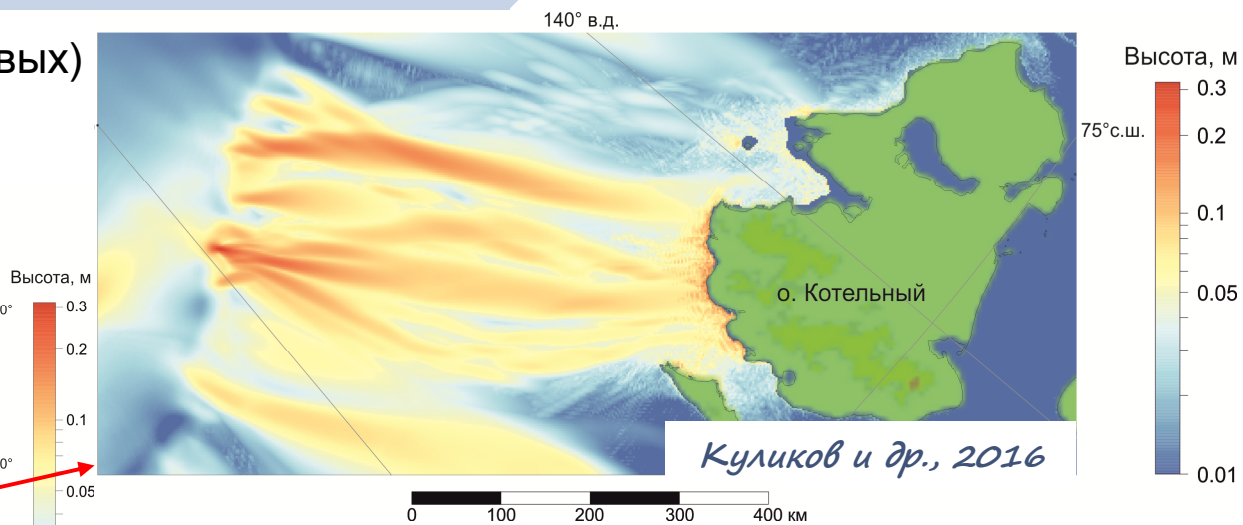
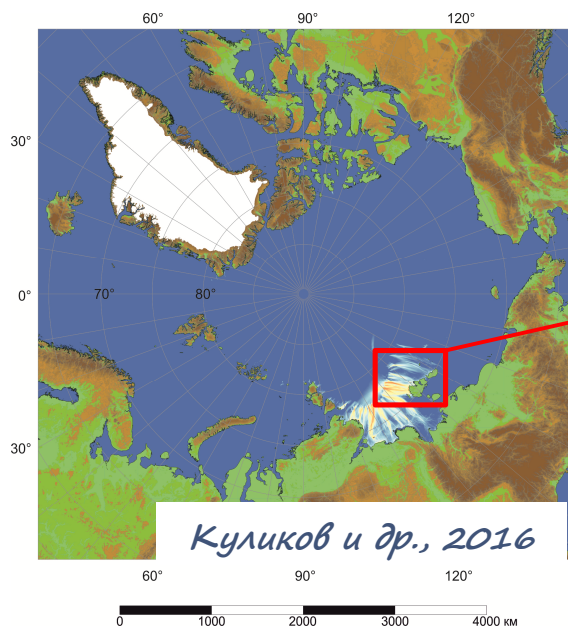
Модель источника
(Okada, 1985)





Сейсмогенные цунами в Арктике

Хребет Гаккеля (море Лаптевых)
1964 г., $M_w = 6.7$

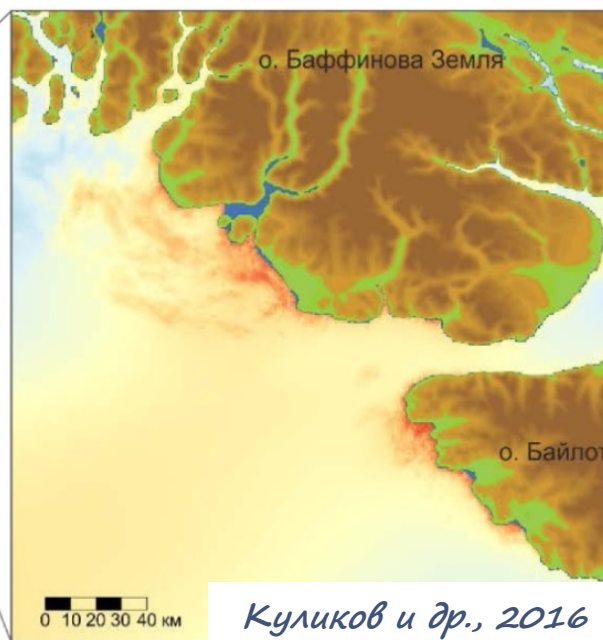
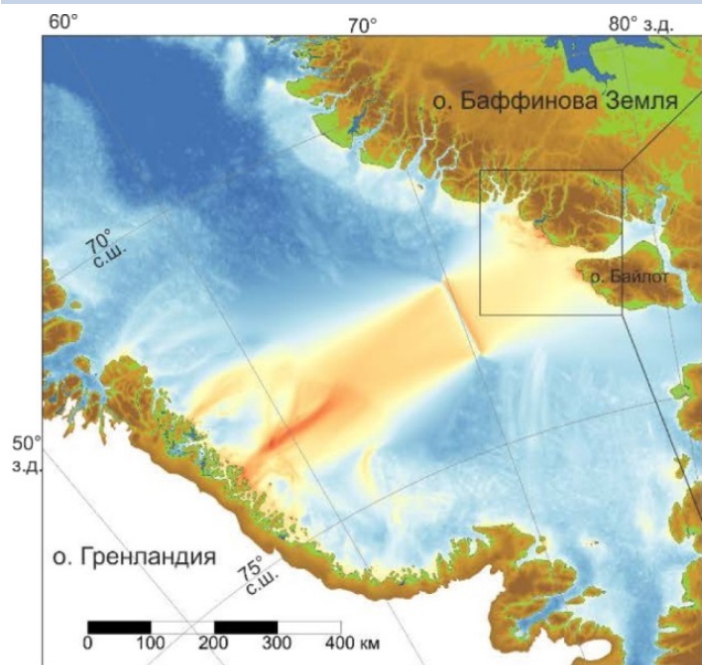


Высота цунами до 0.3 м!

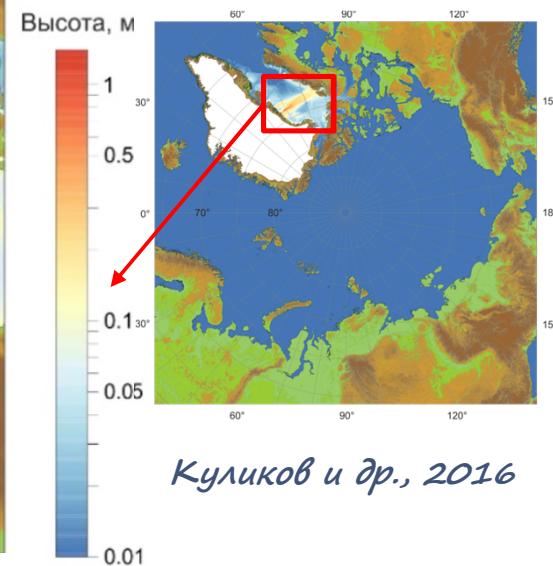


Сейсмогенные цунами в Арктике

Море Баффина
1933 г., $M_w = 7.7$



Куликов и др., 2016



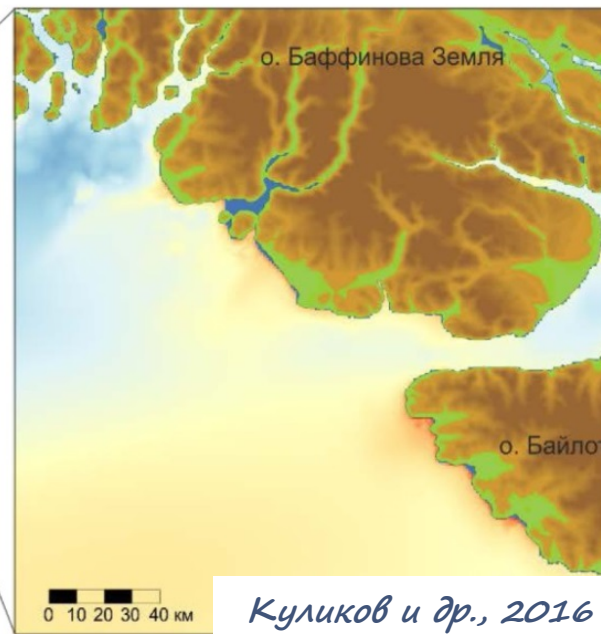
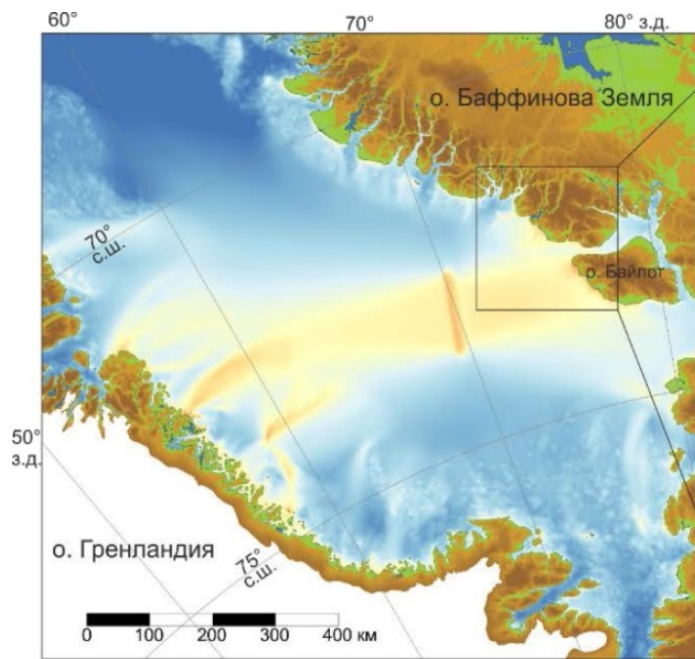
Куликов и др., 2016

Высота цунами до 1.2 м!



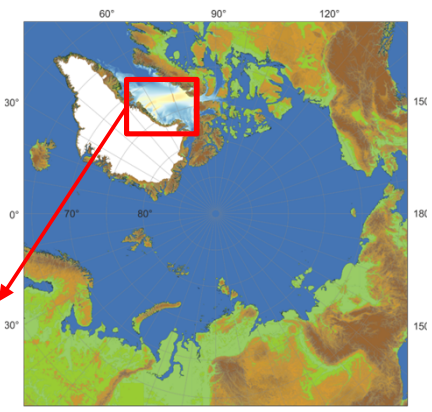
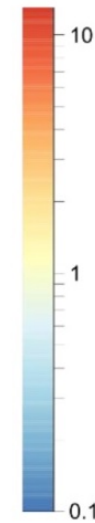
Сейсмогенные цунами в Арктике

Море Баффина
1933 г., $M_w = 7.7$



Куликов и др., 2016

Высота, м



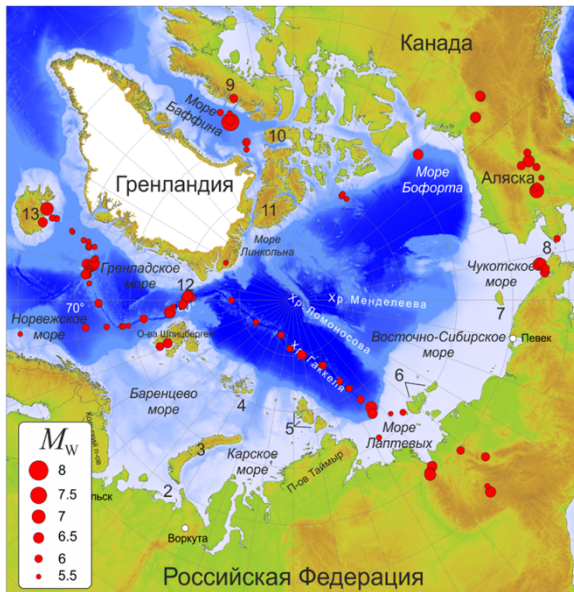
Куликов и др., 2016

Высота цунами до 10 м!

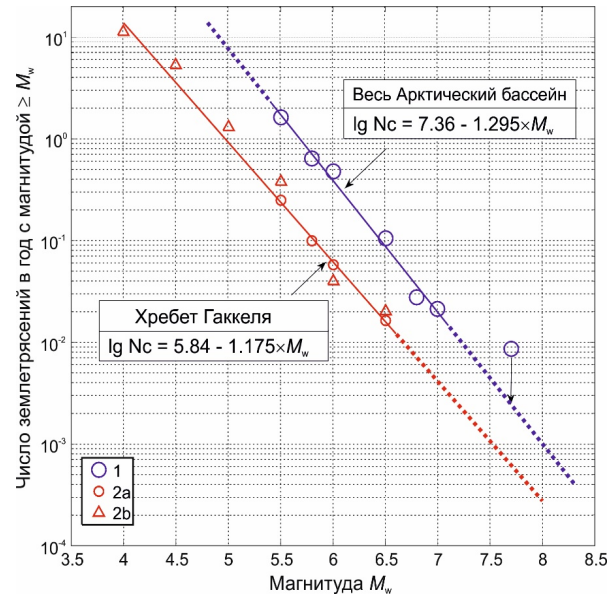


Сейсмогенные цунами в Арктике

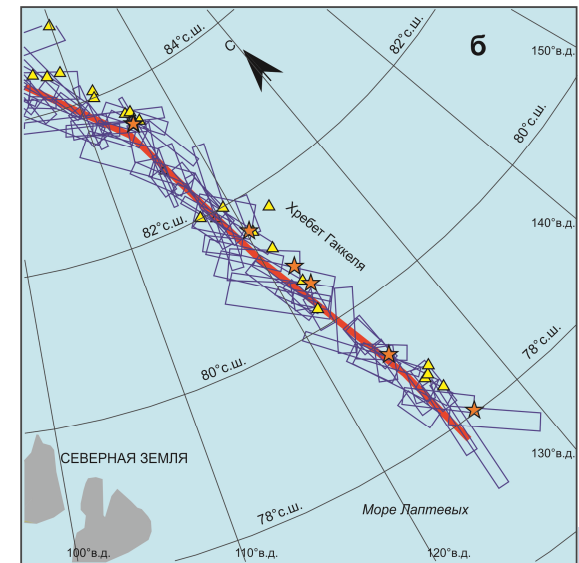
Эпицентры сильнейших землетрясений



Повторяемость землетрясений

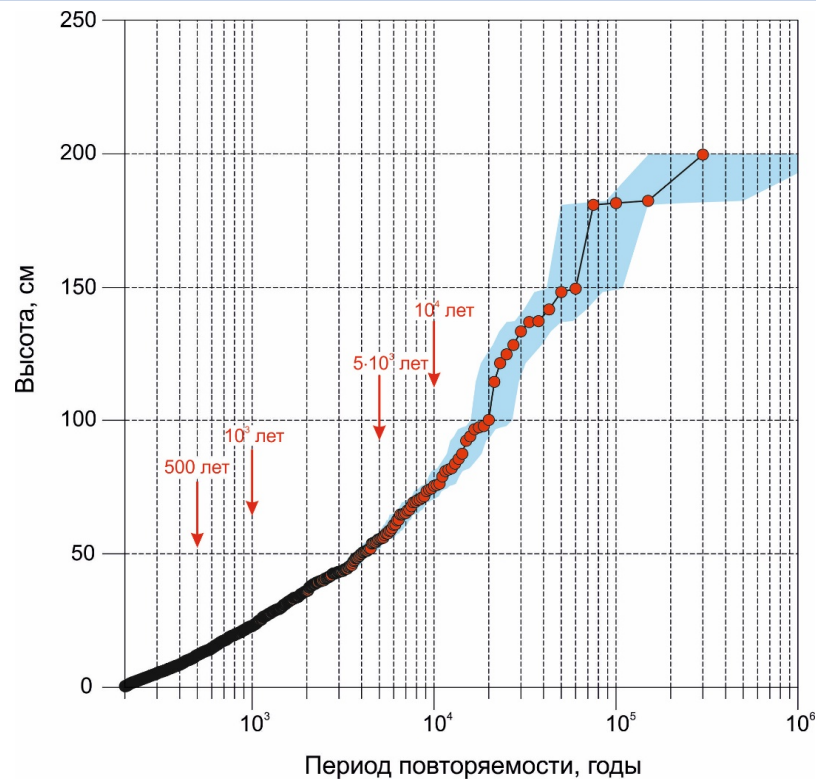


Синтетический каталог 300 000 лет





Сейсмогенные цунами в Арктике



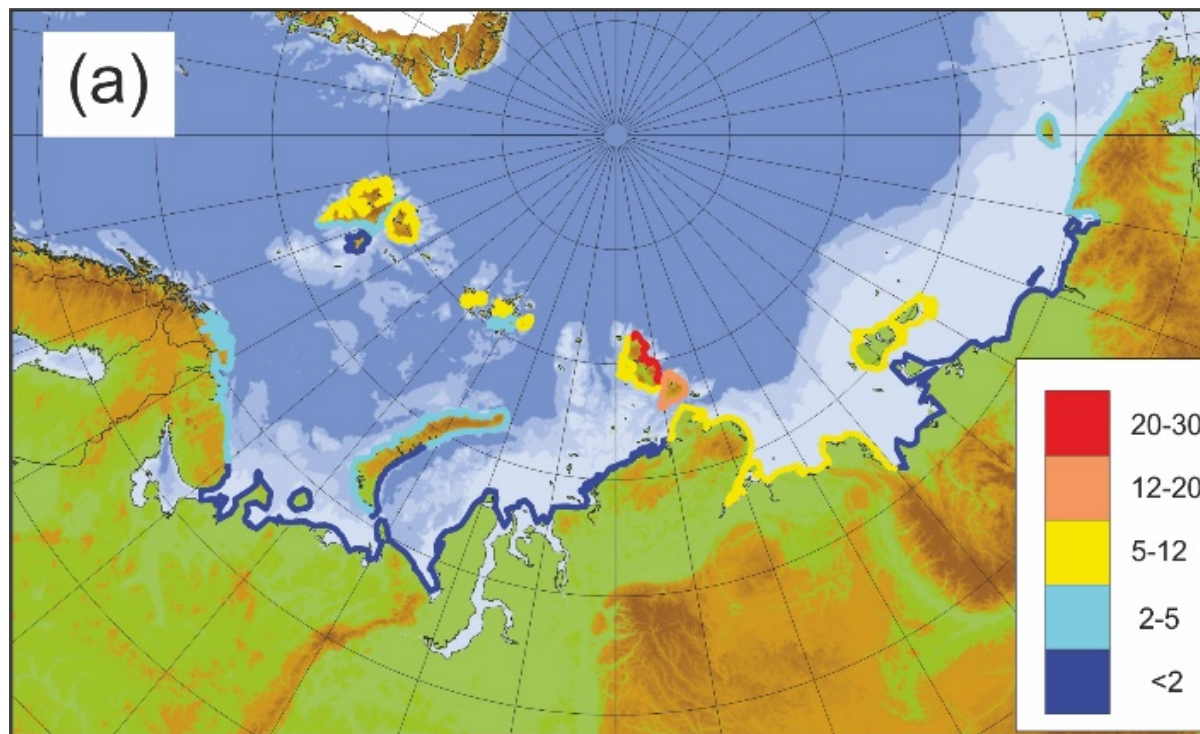
Были выделены три зоны
(а) подводный хребет Гаккеля
(б) море Лаптевых
(в) Чукотское море с Беринговым проливом

всего > 2200 событий $M_W \geq 7$

> 250 событий с $M_W \geq 7.5$



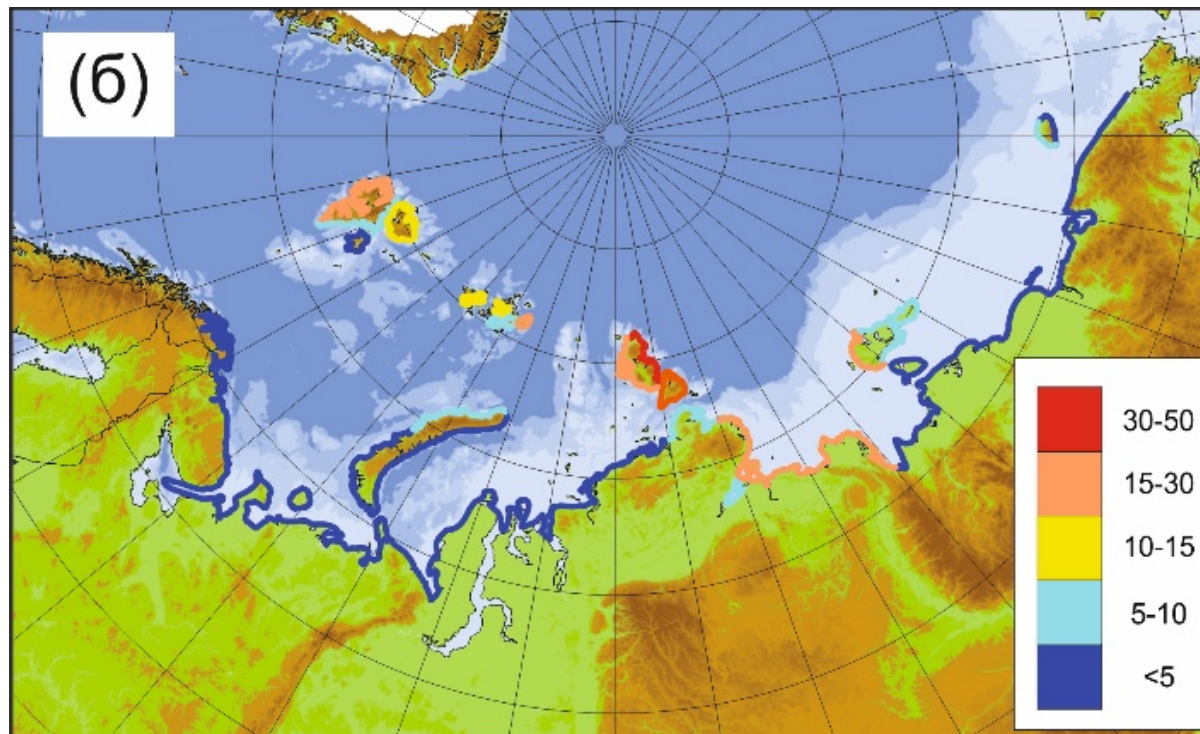
Сейсмогенные цунами в Арктике



500 лет



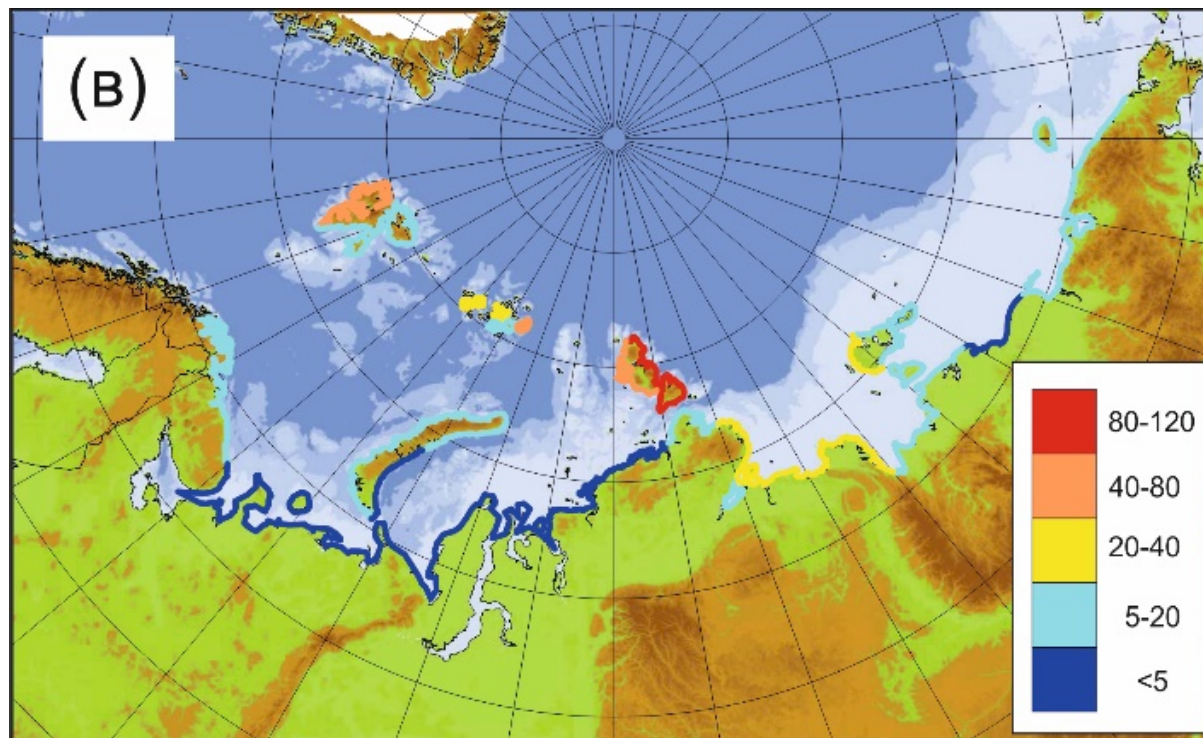
Сейсмогенные цунами в Арктике



1000 лет



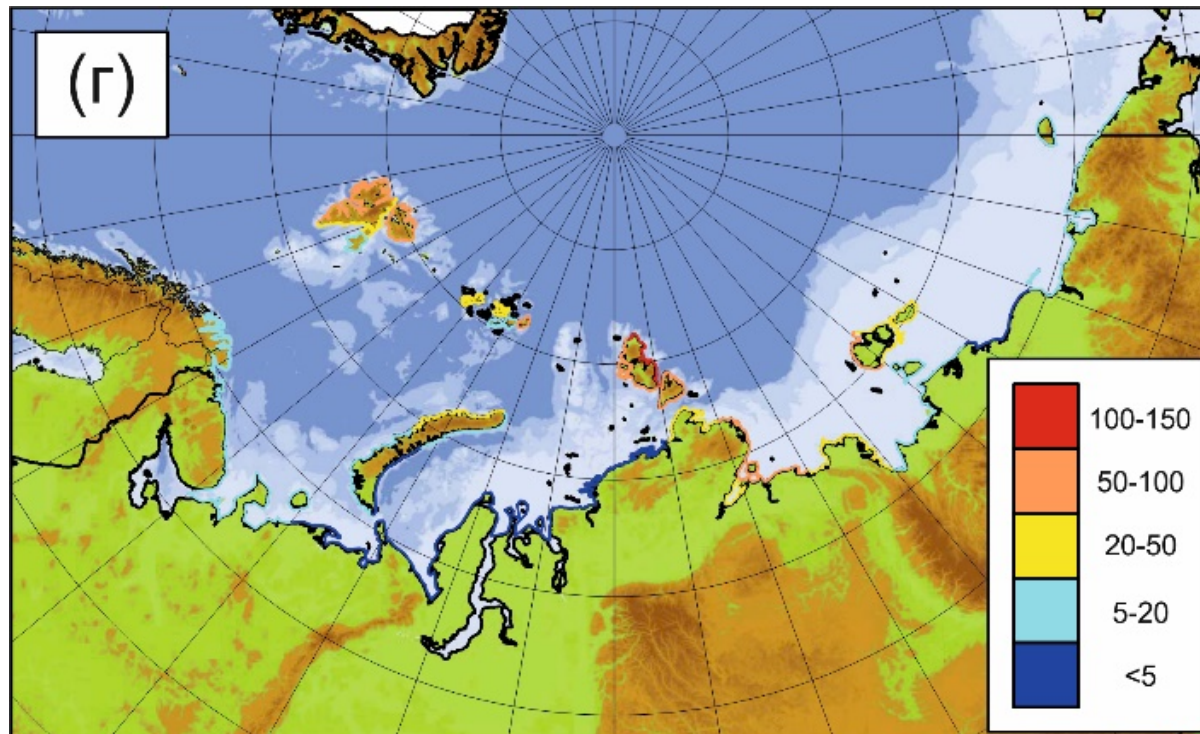
Сейсмогенные цунами в Арктике



5000 лет



Сейсмогенные цунами в Арктике



10000 лет

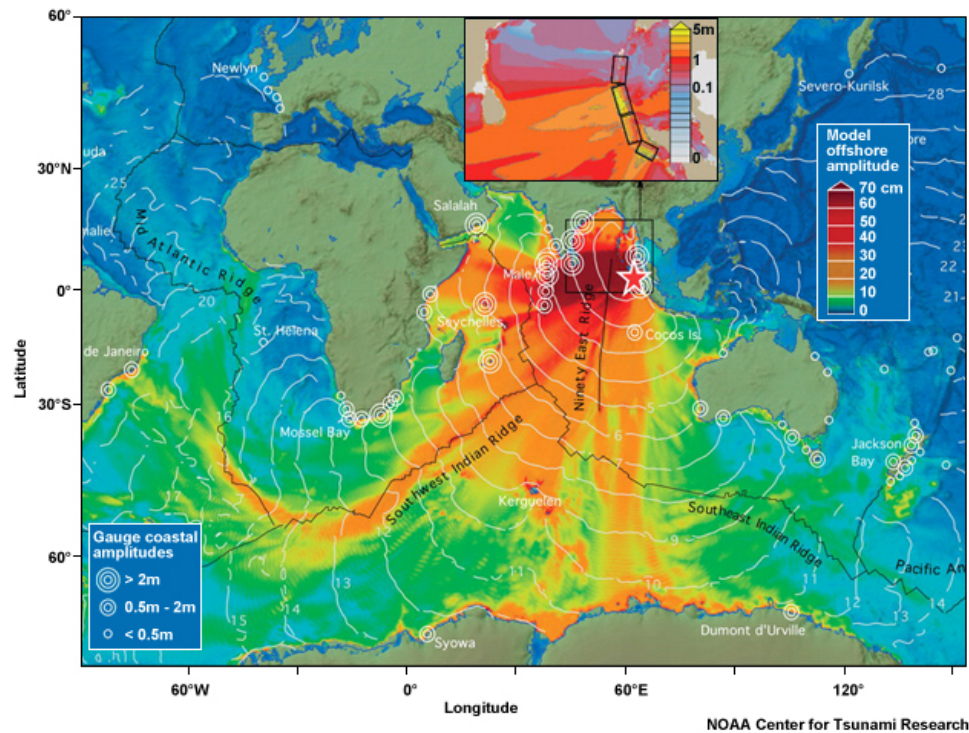
“ Часть 2:

*Проникновение удаленных
трансокеанских в акваторию
Арктики*

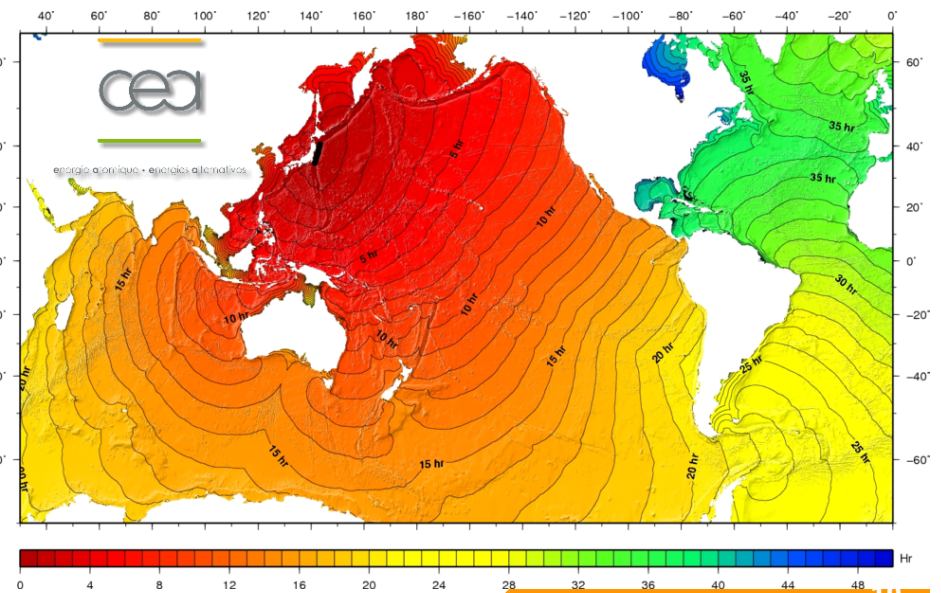


Мотивация Трансокеанские цунами

Суматра, 2004



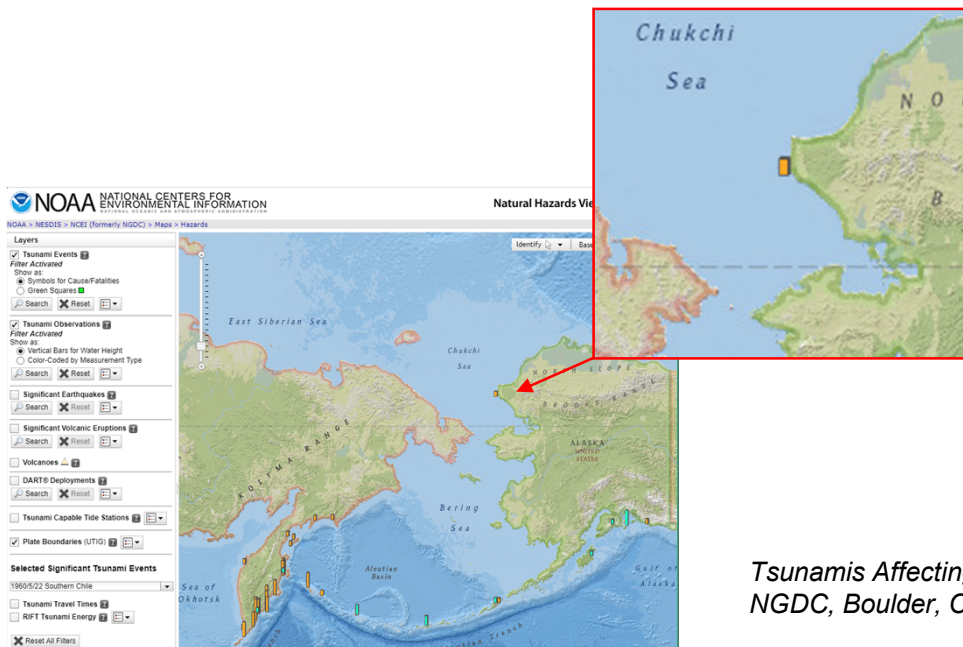
Тохоку, 2011





Мотивация Трансокеанские цунами

База данных NGDC/WDS



Пойнт-Хоп (Point Hope)

Eskimos on the ice near Point Hope returned to shore when they heard the ice cracking in the afternoon. If this was caused by the Chilean tsunami it would have had to have traveled under the still-frozen ice to reach and crack the thinner coastal ice as its amplitude increased in the shallower water. It could not have been caused by the seismic wave, which would have arrived within minutes of the origin time.

Tsunamis Affecting Alaska 1737-1996, KGRD no. 31, NOAA, NGDC, Boulder, Colorado, USA, September, 195 p.



Численное моделирование цунами

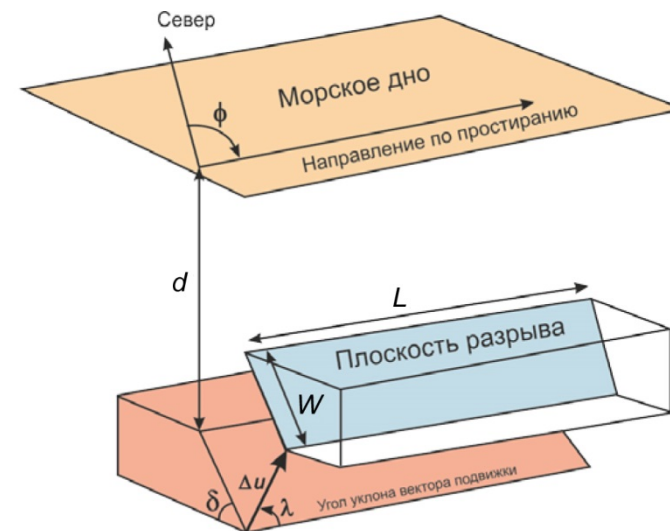
Модификация модели TUNAMI
(Imamura et al., 2006; Fine et al., 2011)



Расчетная сетка (2')
на основе батиметрии GEBCO (30 ")

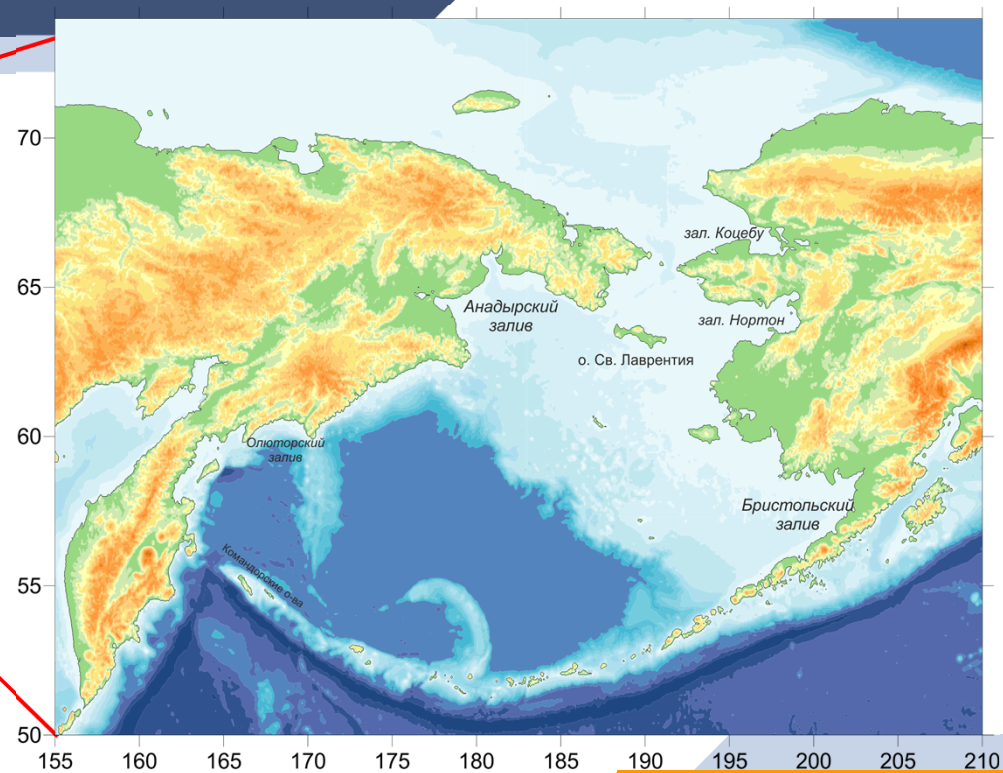
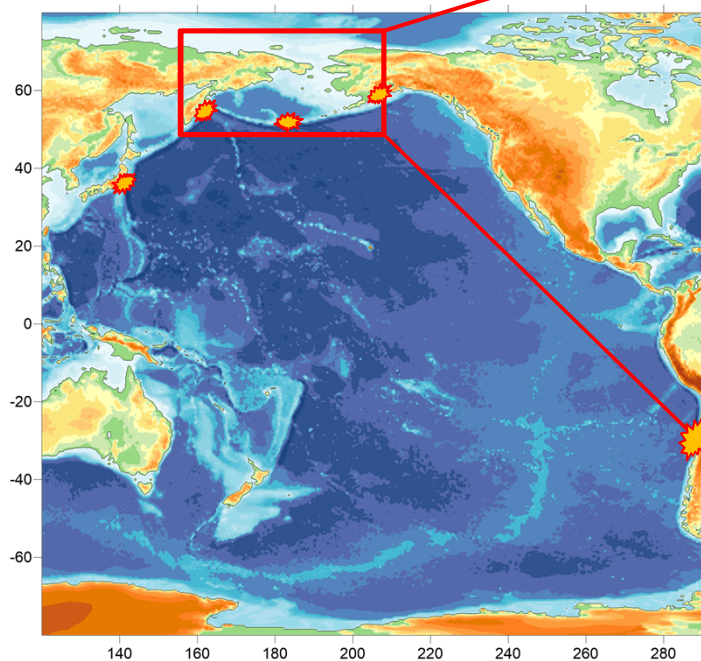


Модель источника
(Okada, 1985)



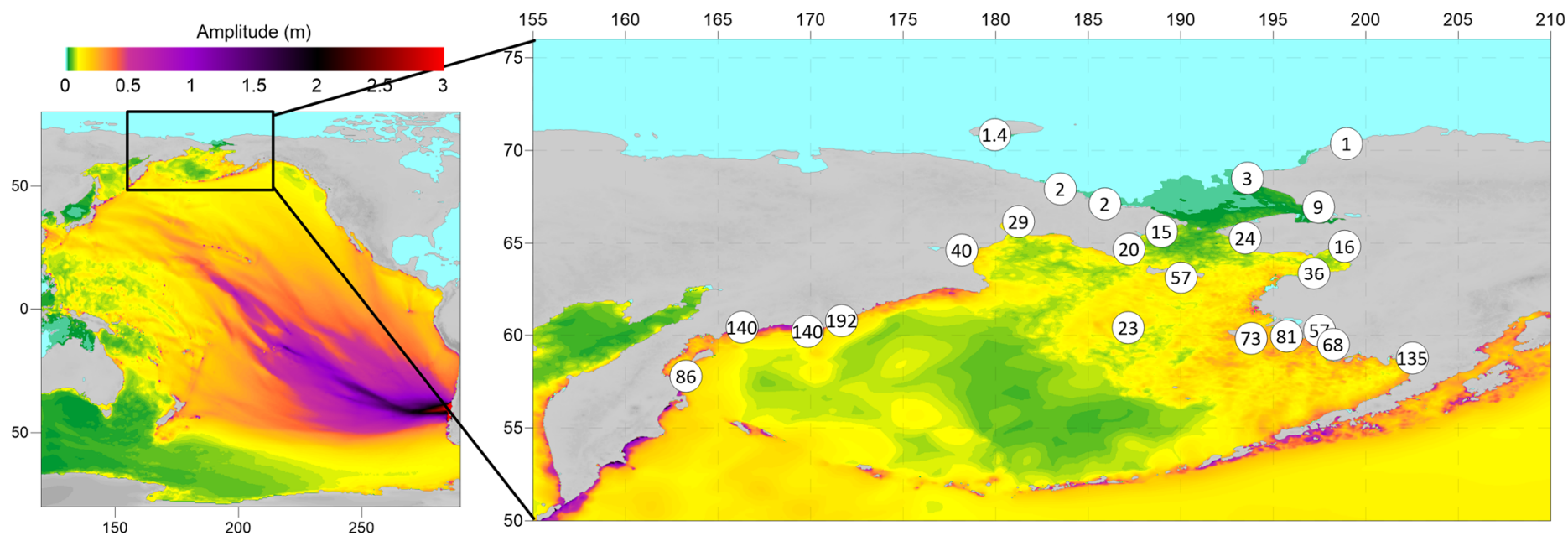


Физико-географические условия





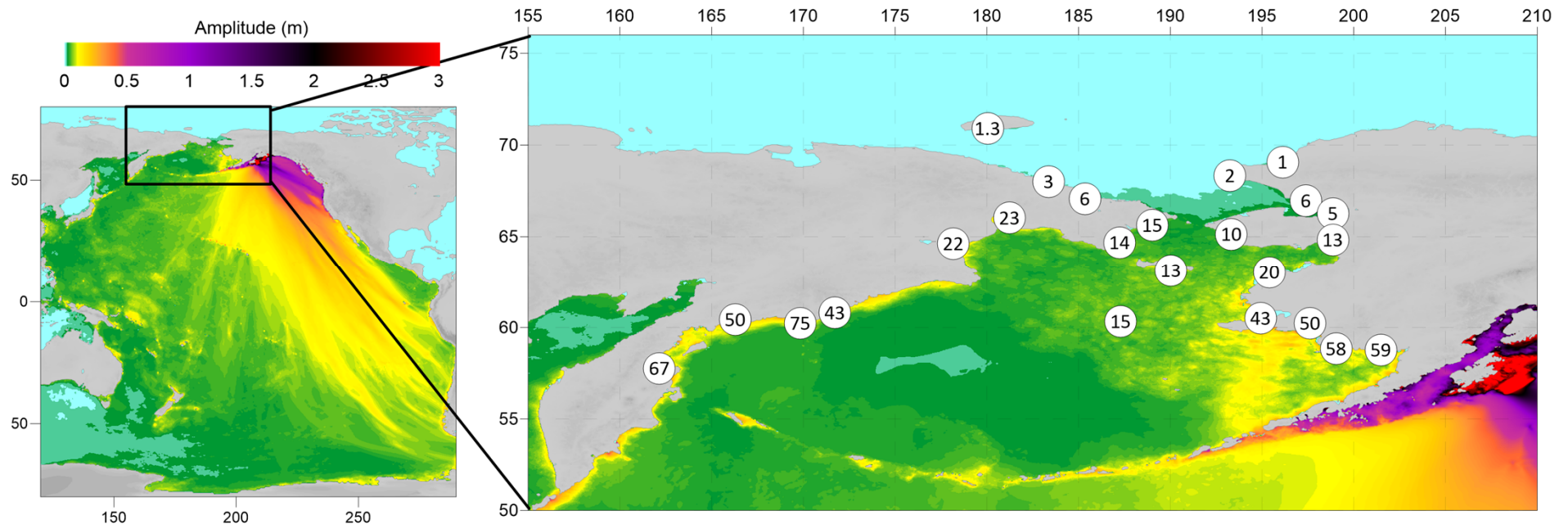
Чилийское цунами, 22 мая 1960



$M_w = 9.5$, высота волн до 30 м!



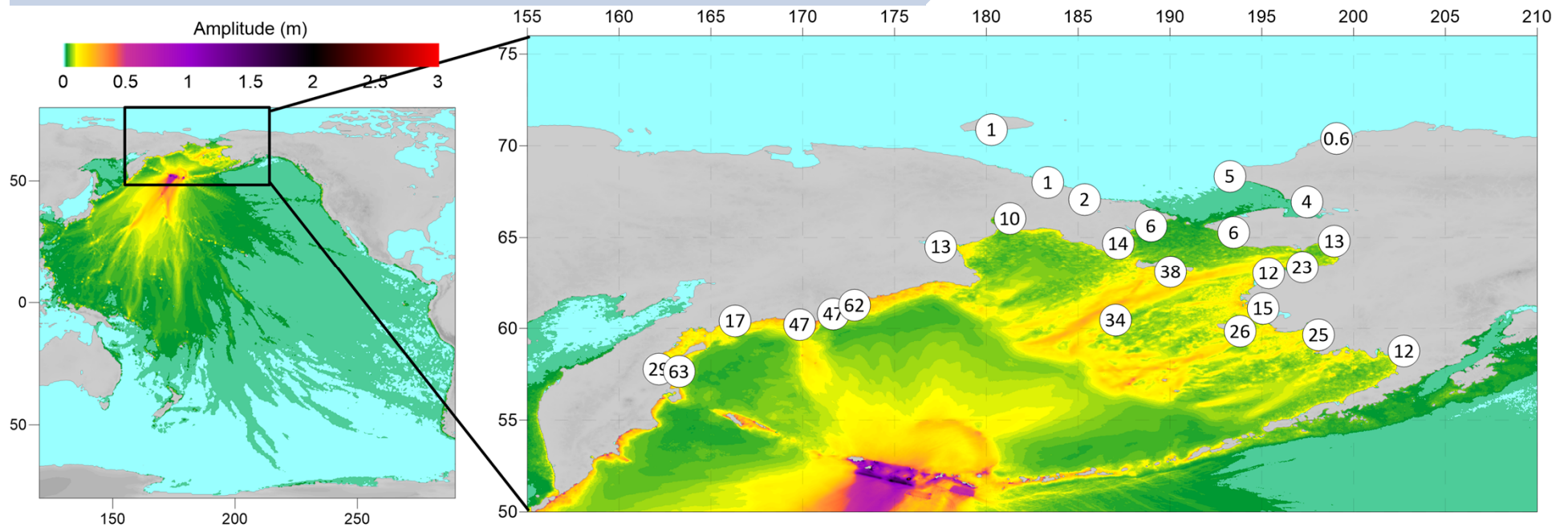
Аляскинское цунами, 28 марта 1964



$M_w = 9.2$, высота волн до 67 м!



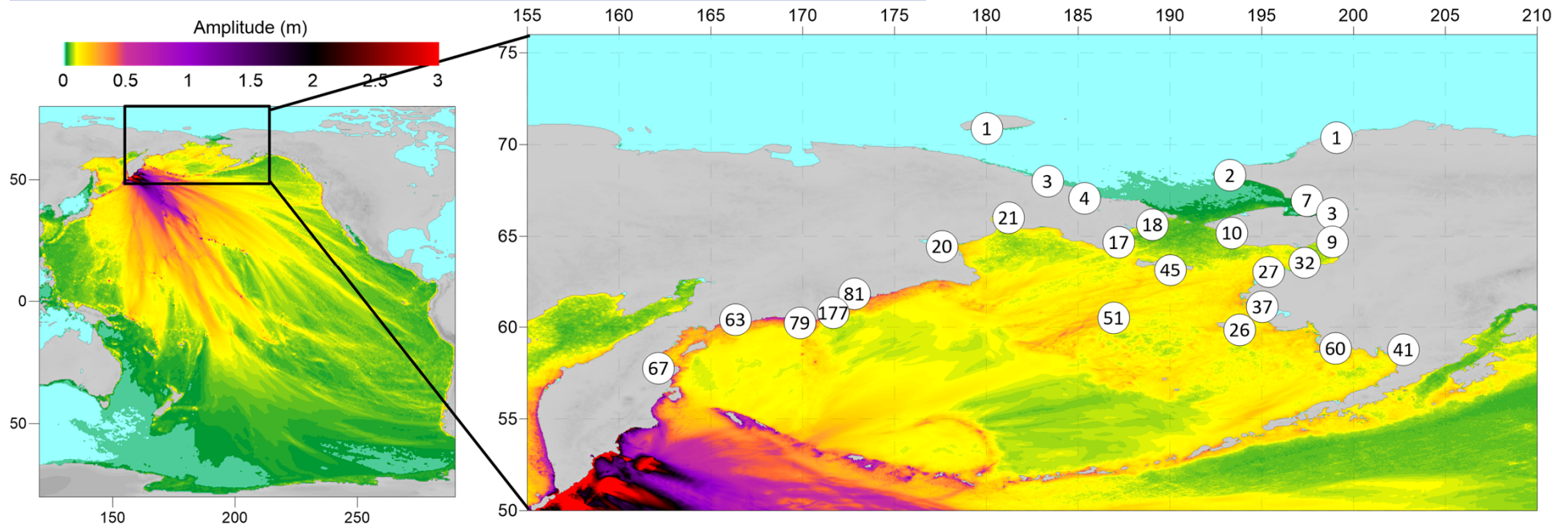
Крысьи острова, 4 февраля 1965



$M_w = 8.7$, высота волн до 10 м!



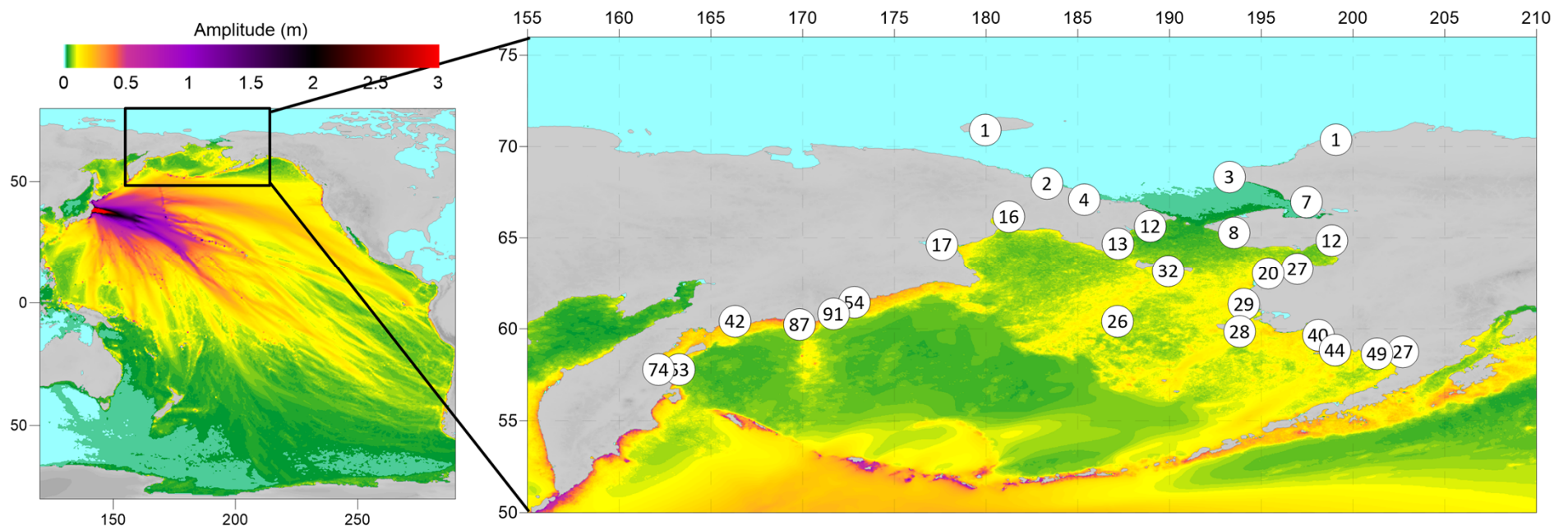
Камчатское цунами, 5 ноября 1952



$M_w = 9.0$, высота волн до 15-18 м!



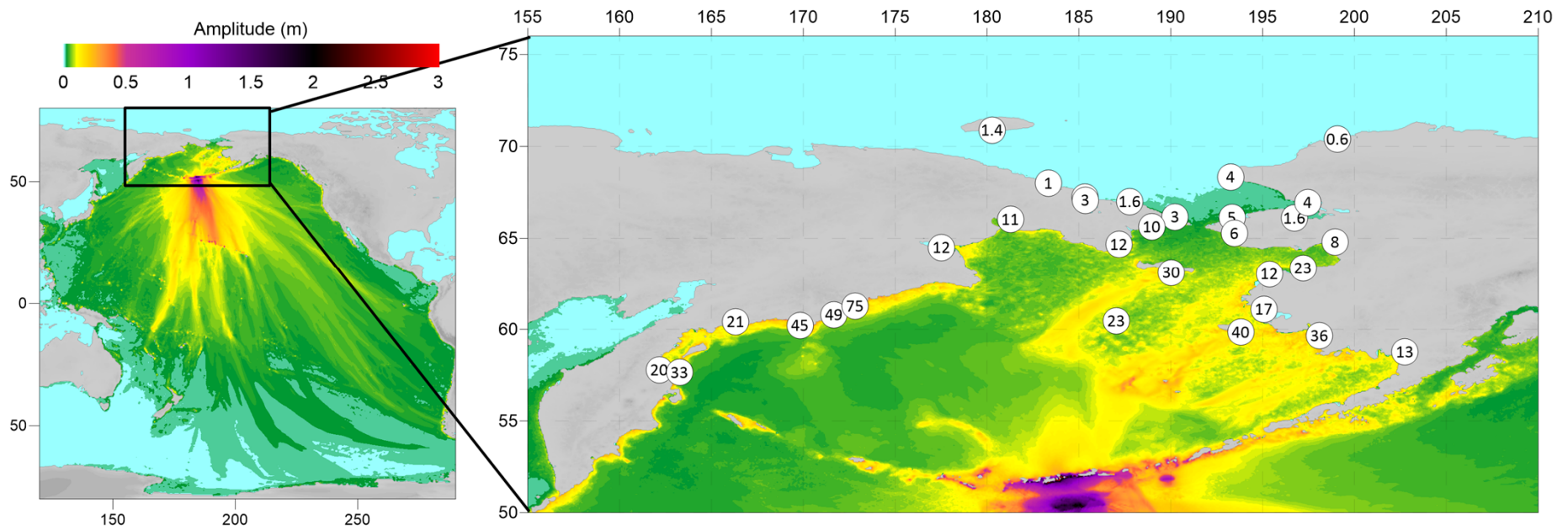
Японское цунами, 11 марта 2011



$M_W = 9.0$, высота волн до 60 м!



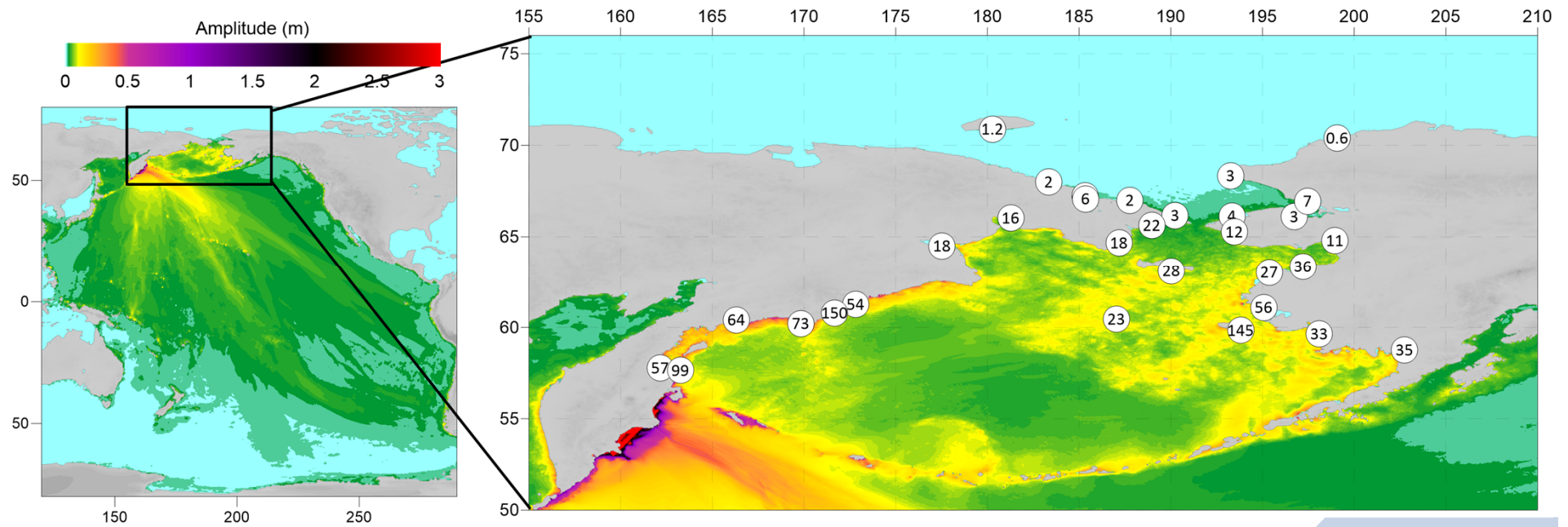
Андреяновские о-ва, 9 марта 1957



$M_w = 8.6$, высота волн до 16 м!



Восточная Камчатка, 3 февраля 1923



$M_W = 8.4$, о.Нунивак – 1.45 м

Результаты

Цунами	Камчатское 1952	Чили 1960	Аляска 1964	Тохоку 2011	Крысий 1965	
Побережье Российской Федерации						Берингово море
м. Озерной (Камчатка)	59	86	21	49	63	
Укинская губа (Камчатка)	67	52	67	74	29	
з-в Корфа	63	140	50	42	17	
Олюторский з-в	79	140	75	87	47	
бух. Мачевна	177	192	43	91	47	
бух. Анастасии	81	81	39	54	62	
Анадырский з-в	20	40	22	17	13	
з-в Креста	21	29	23	16	10	
пр-в Сенявина	17	20	14	13	14	
Мечигменская губа	18	15	15	12	6	

Цунами	Камчатское 1952	Чили 1960	Аляска 1964	Тохоку 2011	Крысий 1965		
Побережье США и Канады							
Берингов пр-в (Аляска)	10	24	10	8	6	Берингово море	
з-в Нортон (вершина)	9	16	13	12	13		
Стеббинс (з-в Нортон)	32	36	20	27	23		
дельта р. Юкон	27	47	22	20	12		
о. Кигигак (Бейрд- Инлет)	37	37	43	29	15		
р. Кускокуим	33	57	58	40	25		
о. Уолрус- Айленд (Бристольский з-в)	60	68	59	44	19		
бух. Квикач (Бристольский з-в)	41	135	30	27	12		
Острова в Беринговом море							
о. Святого Матвея	51	23	15	26	34		
о. Святого Лаврентия	45	57	13	32	38		
о. Нунивак	26	73	50	28	26		

Цунами	Камчатское 1952	Чили 1960	Аляска 1964	Тохоку 2011	Крысий 1965		
Побережье Российской Федерации							
Колючинская губа	4	2	6	4	2	Чукотское море	
Ванкаремская низм.	3	2	3	2	1		
о. Врангеля	1,4	1,4	1,3	1,2	1,3		
Побережье США и Канады							
Уэйнрайт (Аляска)	1,2	1,2	1,3	1,2	0,6		
Пойнт-Хоуп (мыс)	2	3	2	3	5		
з-в Коцебу (сев. Побережье)	7	9	6	7	4		
з-в Коцебу (вершина)	3	4	5	3	0,3		



Выводы

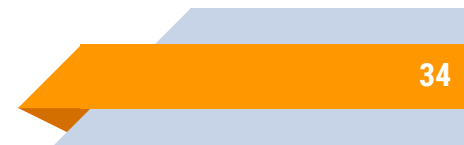
- Были рассчитаны обзорные карты цунамиопасности Арктического побережья с периодами повторяемости 500, 1000, 5000 и 10000 лет.
- Показано, что при распространении удаленных цунами через Алеутские о-ва, Берингово море и Берингов пролив происходит существенная диссипация энергии и высота цунами в Чукотском море не превышает 10 см.
- В арктическом регионе вероятно образование волн цунами в результате схода подводных оползней вполне. Фактором, провоцирующим образование потенциально цунамиопасных оползней, могут быть процессы седиментации, связанные с образованием конусов выноса великих сибирских рек Оби, Енисея и Лены.



СПАСИБО!

Вопросы?

medvedev@ocean.ru





Мотивация Что известно о цунами в Арктике?

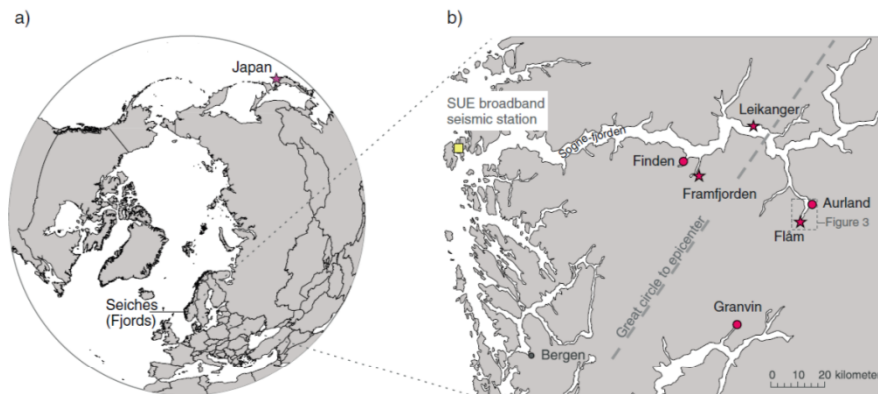
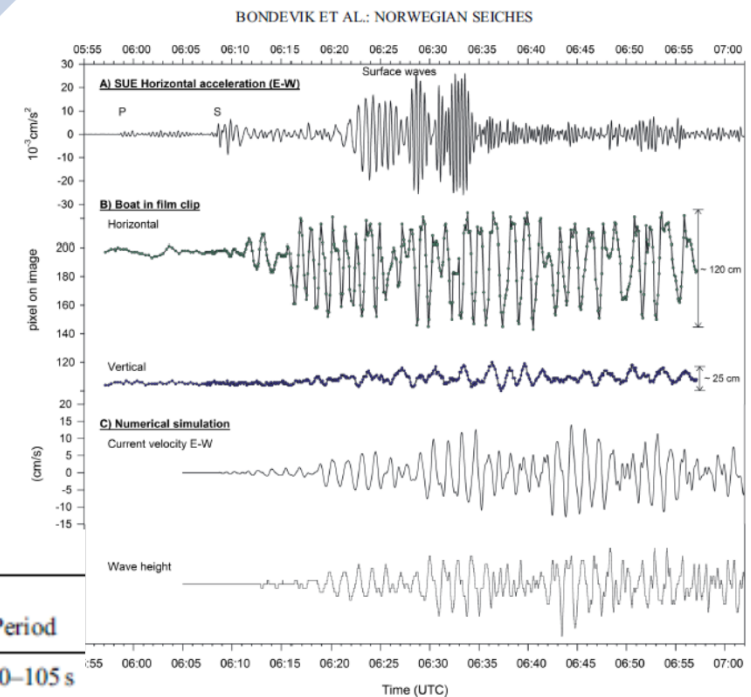


Figure 1. (a) Epicenter of the Tohoku Earthquake (M_w 9.0) in Japan and the oscillating fjords in western Norway. The distance along a great circle between these locations is about 8300 km. (b) Locations of reported seiches on 11 March 2011 in fjords in western Norway. Red stars indicate film clip recordings of the waves, red circles eyewitness accounts. The nearest seismic broadband station is SUE at the mouth of Sognefjorden.

Table 1. Amplitude (Peak to Trough) and Period Deduced From Film Clips^a

Location	Latitude (N)	Longitude (E)	Time (UTC)	Duration of Film Clip	Amplitude (Peak to Trough)	Period
Framfjorden ^b	61° 0' 25"	6° 24' 50"	ca 08:15–08:30	2 min 30 s	About 1 m	100–105 s
Leikanger ^b	61° 11' 01"	6° 47' 57"	06:27–06:29	2 min 28 s	1.2–1.5 m	64–66 s
Flåm harbor ^b	60° 51' 44"	7° 07' 03"	05:57–08:43	2 h 39 min	0.2–0.3 m	79–82 s





Численное моделирование цунами

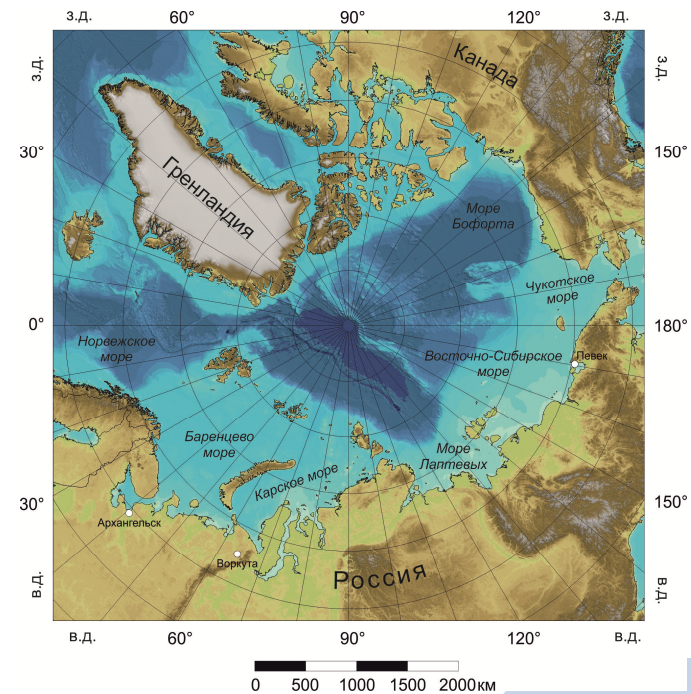
$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} = \tau_x / \rho$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} = \tau_y / \rho$$

$$U_n = \zeta \sqrt{gh}$$

$$U_n = 0 \text{ на } G.$$





Сейсмогенные цунами в Арктике

Таблица 1. Параметры землетрясений

№	Магнитуда M_W	Широта	Долгота	Дата события	Глубина очага, км	Strike ϕ	Dip δ	Rake λ	Смещение, Δu , м	Длина L , км	Ширина W , км
T1	6,7	78,04	126,56	25.08.1964	15	346	47	-89	1,081	32,56	13,61
T2	7,7	73,12	-70,01	20.11.1933	17	172	82	6	7,145	126,8	28,45
T3 *	7,7	73,12	-70,01	20.11.1933	15	190	30	62	7,145	126,8	28,45

* Наихудший сценарий.



Сейсмогенные цунами в Арктике

