



Шокин Ю.И., Чубаров Л.Б.

**Школа академика Н.Н.Яненко:
достижения в области численного решения
задач волновой гидродинамики**

**Международная конференция
“Современные проблемы прикладной математики и механики: теория,
эксперимент и практика”,
посвященная 90-летию со дня рождения академика Н.Н. Яненко**



- Общая характеристика исследуемого явления
- Решенные и решаемые прикладные задачи
- Системы предупреждения о цунами и их современное состояние
 - Проблемы и недостатки
 - Оценки эффективности
 - Пути совершенствования и место математического моделирования
- Наш вклад в Федеральную целевую программу «2010»
- Наш задел для Федеральной целевой программы «2015»
- Декабрьская (2010 г.) модель катастрофического цунами в Японии (11 марта 2011 г.)
- Его реальное проявление



- *В.Барахнин, В.Ганжа, В.Исаев, В.Карев, В.Кобков, Л.Компаниец,*
- *Ан.Марчук, В.Новиков, К.Симонов, А.Судаков,*
- *Т.Уварова, А.Урусов, З.Федотова, А.Франк, Э.Чубарова и др.;*

- *В.Бабайлов, С.Бейзель, О.Гусев, В.Гусяков, А.Соммер,*
- *Г.Хакимзянов, В.Худякова, Д.Чубаров, Н.Шокина, и др.*

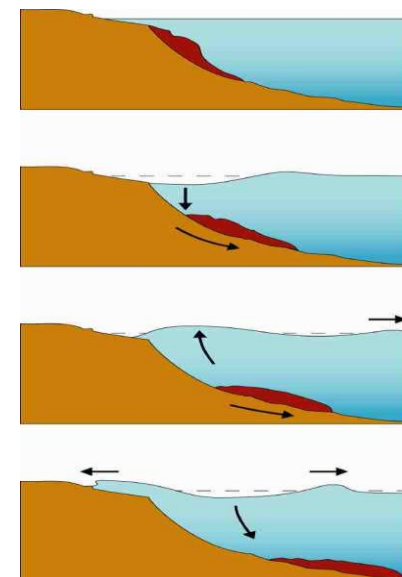
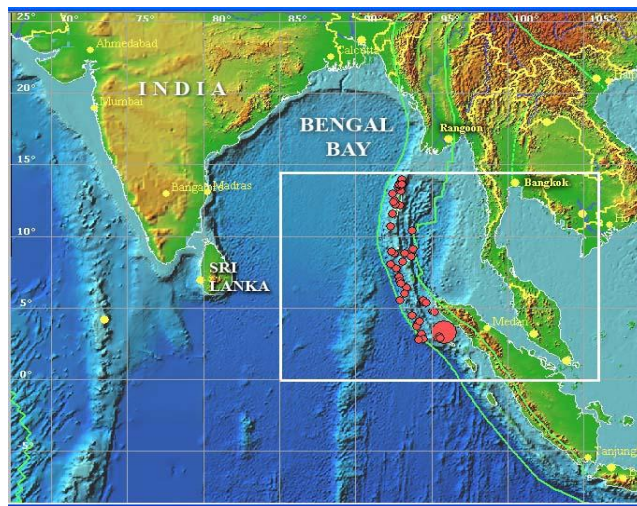


Разномасштабность

- * Локальные
- * Региональные
- * Трансокеанские

Разнопричинность

- * Сейсмические
- * Климатические
- * Вулканические
- * Оползневые
- * Стоковые
- * Взрывные...
- * Обвальные...



≠ **Многоэтапность** (генерация, распространение, накат)

≠ **Разномодельность** (приближенные, полные модели волновой гидродинамики)

≠ **Разнообразие фундаментальных задач**

≠ **Две главных прикладных задачи** (районирование, оперативный прогноз)

Тайна возникновения, невозможность противостояния, катастрофичность воздействия, быстрая забываемость





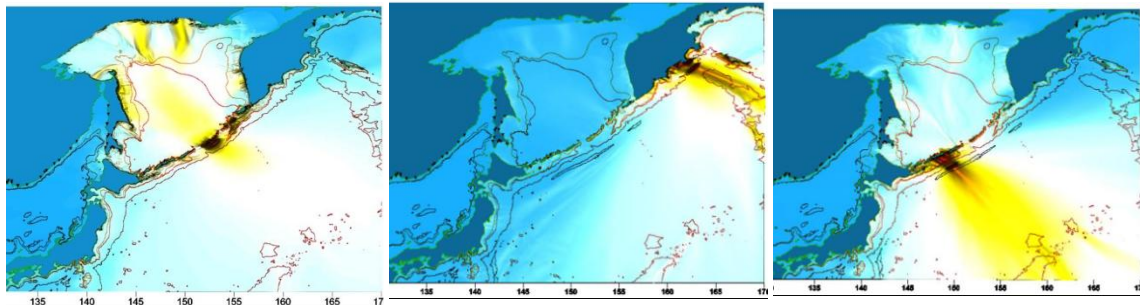
Совершенствование систем предупреждения о цунами

Создано программно-алгоритмическое вычислительное ядро, послужившее основой для

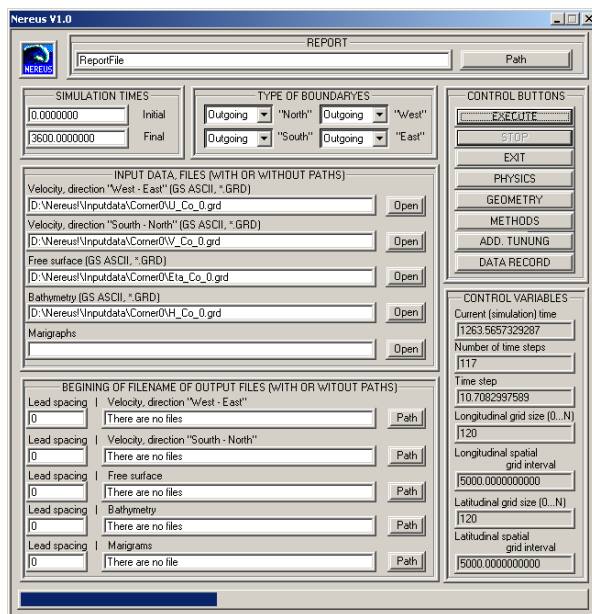
- исследовательского комплекса программ «Nereus»,

- комплекса программ для проведения серийных вычислительных экспериментов «MassGlobalCalcul»,

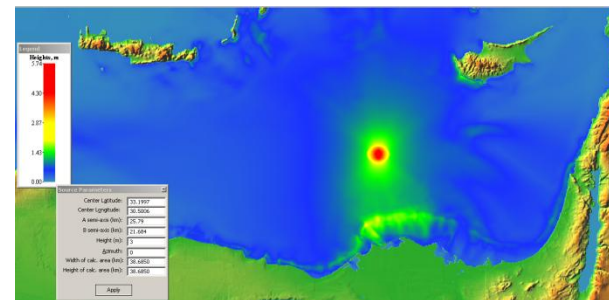
- вычислительных компонент информационно-вычислительных систем «WinITDB», «ITRIS».



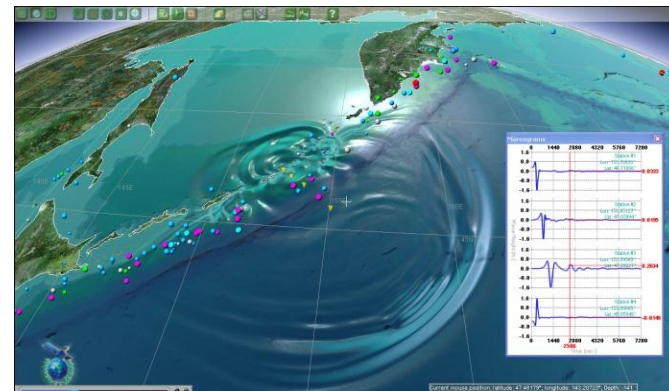
Результаты серийных расчетов с помощью комплекса «MassGlobalCalcul»



Рабочее окно программы «Nereus»



Моделирования цунами средствами системы «WinITDB»



Моделирование цунами в системе «ITRIS»



$$\begin{cases} H_t + (Hu)_x = 1/6(h_0^3 u)_{xxx} - 1/2(h_0^2 B_t)_{xx}, \\ u_t + uu_x + g\eta_x = 1/2(h_0^2 u_t)_{xx} - (h_0 B_{tt})_x, \end{cases}$$

Мей - Меоте

$$\begin{cases} H_t + (Hu)_x = 1/6(3h_0(h_0^2)_x u + h_0^2(h_0)_x u_x)_x - 1/2(h_0(h_0)_x B_t)_{xx}, \\ u_t + uu_x + g\eta_x = (1/3h_0^2 u_{tx} + 1/2h_0(h_0)_x u_t)_x - 1/2(h_0 B_{tt})_x. \end{cases}$$

Перезрин

$$\begin{cases} H_t + (Hu)_x = 0, \\ u_t + uu_x + g\eta_x = 1/2h_0^2 u_{txx} - 1/6h_0(h_0 u)_{xtt} - 1/6(h_0 B_{tt})_x. \end{cases}$$

Грин - Нагди
(слабо нелинейная модель)

$$\begin{cases} H_t + (Hu)_x + (h_0(h_0/2)B_{tx})_x = \left[h_0/6(h_0^2 - 3z_\alpha^2)u_{xx} - h_0(h_0/2 + z_\alpha)(h_0 u)_{xx} - h_0(z_\alpha)B_{tx} \right]_x, \\ u_t + uu_x + g\eta_x = - \left[z_\alpha^2 u_{xx} / 2 + z_\alpha (h_0 u)_{xx} + z_\alpha B_{tx} \right]_t. \end{cases}$$

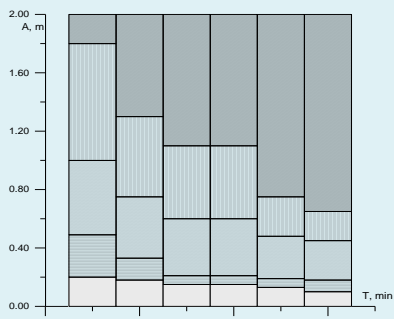
$$z_\alpha = z_\alpha(x, y, t) = \alpha h(x, y, t)$$

Нвогу (слабо нелинейная модель)

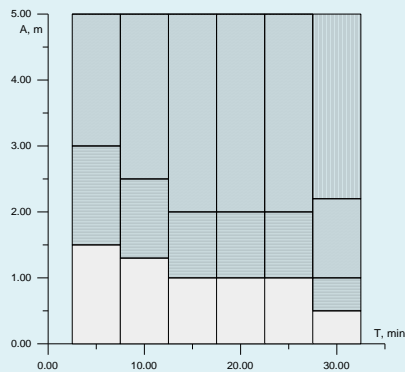
$$\alpha = -0.531$$



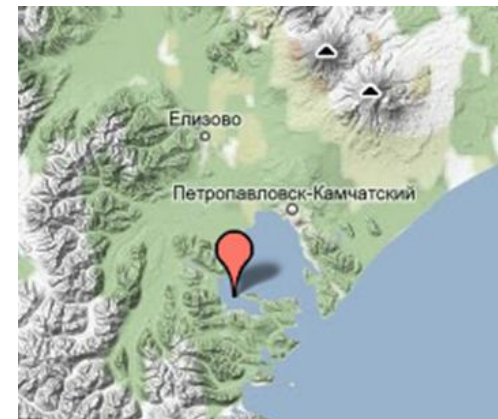
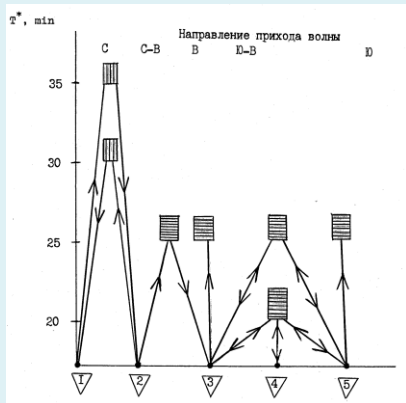
Совершенствование систем предупреждения о цунами



- Слабое цунами (0m < H < 1m) - ущерб практически отсутствует
- Заметное цунами (0.5m < H < 1m) - незначительный ущерб
- Умеренное цунами (1.0m < H < 2.0m) - вероятно ощутимый ущерб
- Интенсивное цунами (2.0m < H < 4m) - вероятно значительный ущерб
- Сильное цунами (H > 4.0m) - вероятно катастрофические последствия



- Слабое цунами (0m < H < 1m) - ущерб практически отсутствует
- Заметное цунами (0.5m < H < 1m) - незначительный ущерб
- Умеренное цунами (1.0m < H < 2.0m) - вероятно ощутимый ущерб
- Интенсивное цунами (2.0m < H < 4m) - вероятно значительный ущерб



Модель плавучей атомной теплоэнергетической станции (ПАТЭС) в масштабе 1:100

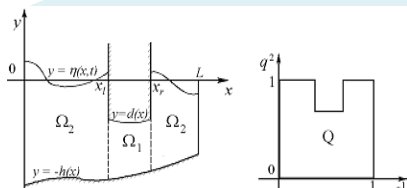
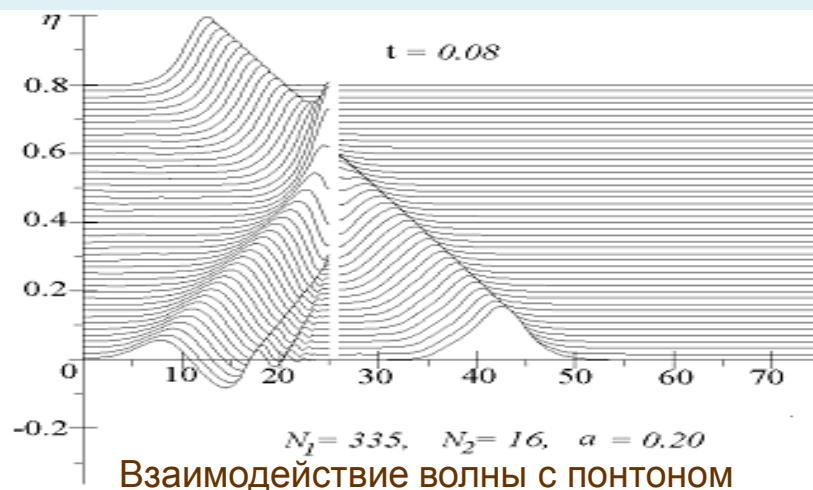
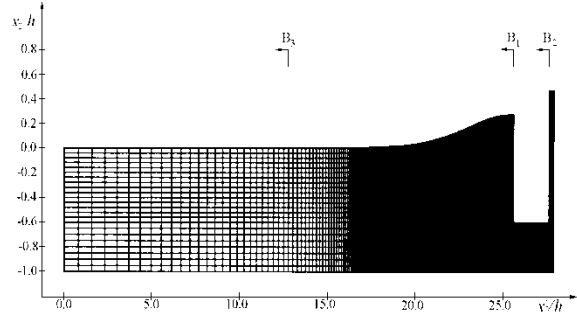


Схема расчетной области

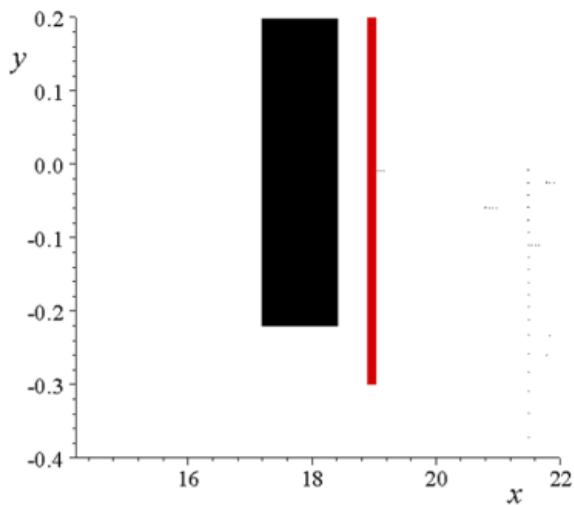
Исследование характеристик взаимодействия волн с частично погруженными сооружениями, защищенными специальными экранами (2010 г.)



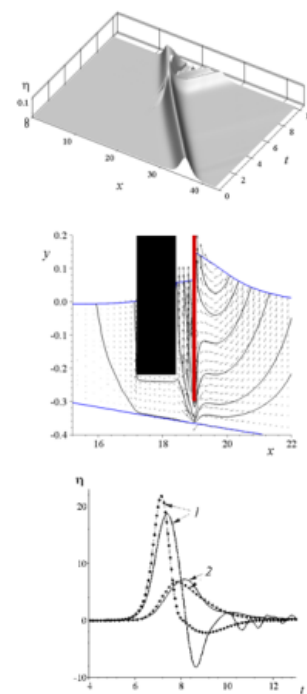
Взаимодействие волн с понтоном



Расчетная сетка

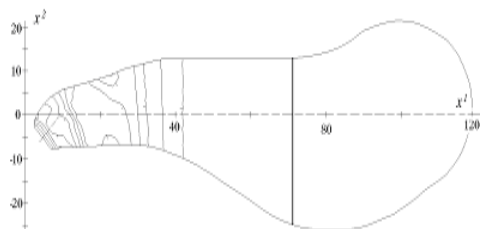


(полная 2D модель)

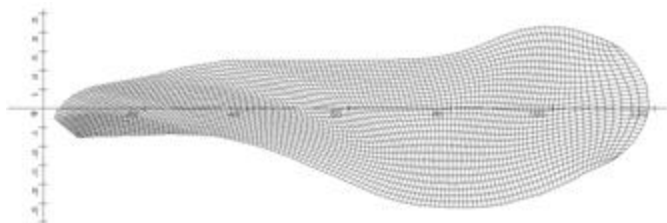




(полная 3D модель, адаптивные сетки)



Изолинии глубин



Расчетная сетка

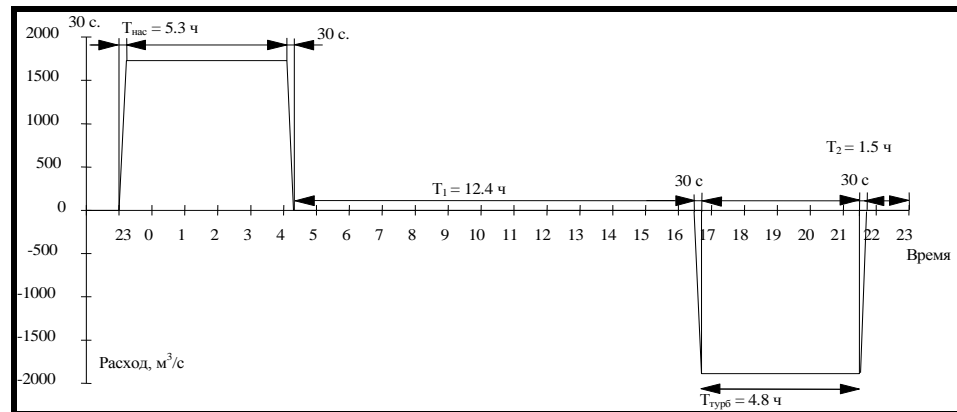
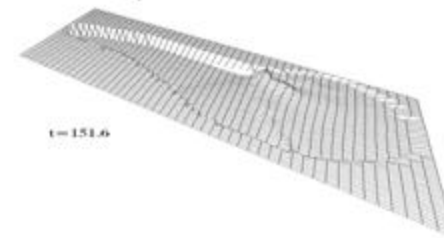
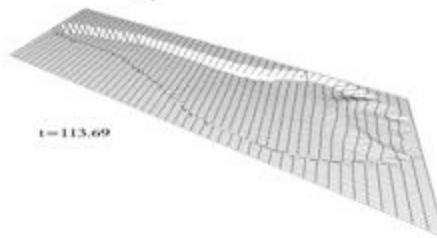
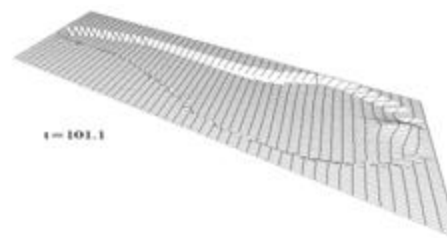
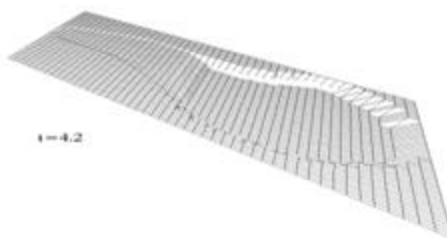
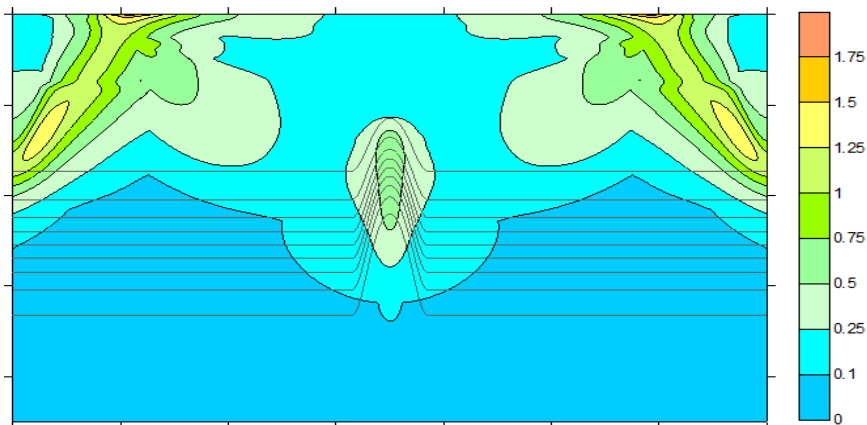


График изменения расхода

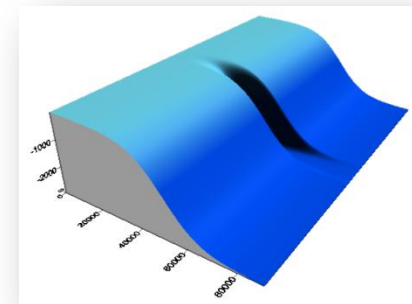




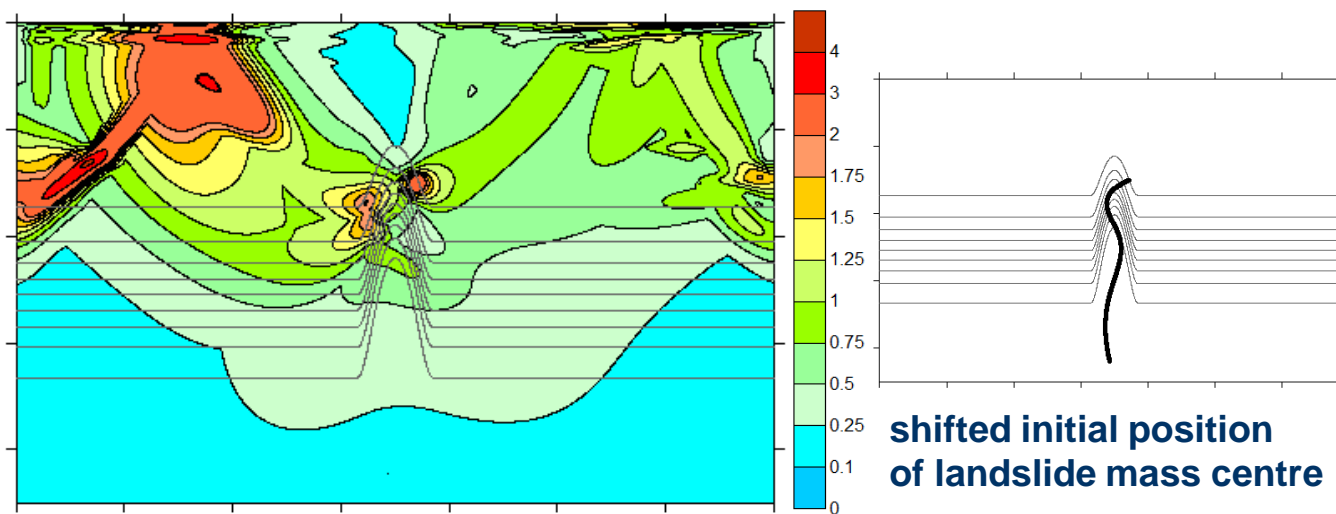
central initial position
of landslide mass centre



model bathymetry



landslide motion paths and corresponding wave energy distributions



shifted initial position
of landslide mass centre



$$m\ddot{x}_c = F_1, \quad m\ddot{y}_c = F_2, \quad m\ddot{z}_c = F_3$$

$$x = x(q^1, q^2), \quad y = y(q^1, q^2), \quad z = z(q^1, q^2)$$

$$m \frac{dv_\alpha}{dt} = \frac{m}{2} \left[(g_{11})_{q^\alpha} (v^1)^2 + 2(g_{12})_{q^\alpha} v^1 v^2 + (g_{22})_{q^\alpha} (v^2)^2 \right] + F_{\tau_\alpha} \sqrt{g_{\alpha\alpha}},$$

$$\frac{dq^\alpha}{dt} = v^\alpha.$$

$$m = (\rho_{sl} + C_w \rho_w) V, \quad F_{\tau_\alpha} = F_{g,b,\tau_\alpha} + F_{d,\tau_\alpha} + F_{n,\tau_\alpha}$$

$\alpha = 1, 2$

$$x = q^1, \quad y = q^2, \quad z = h_{bt}(x, y)$$

сила тяжести и выталкивания:

$$F_{g,b,\tau_\alpha} = - \iint_{D_t} g (\rho_{sl} - \rho_w) \frac{h_{sl}(q^1, q^2, t)}{\sqrt{g_{\alpha\alpha}}} \frac{\partial h_{bt}}{\partial q^\alpha} dq^1 dq^2$$

сила гидродин. сопротивления:

$$F_{d,\tau_\alpha} = - \frac{1}{2} C_d \rho_w \Pi v_c^2 \frac{v_\alpha}{v_c \sqrt{g_{\alpha\alpha}}}$$

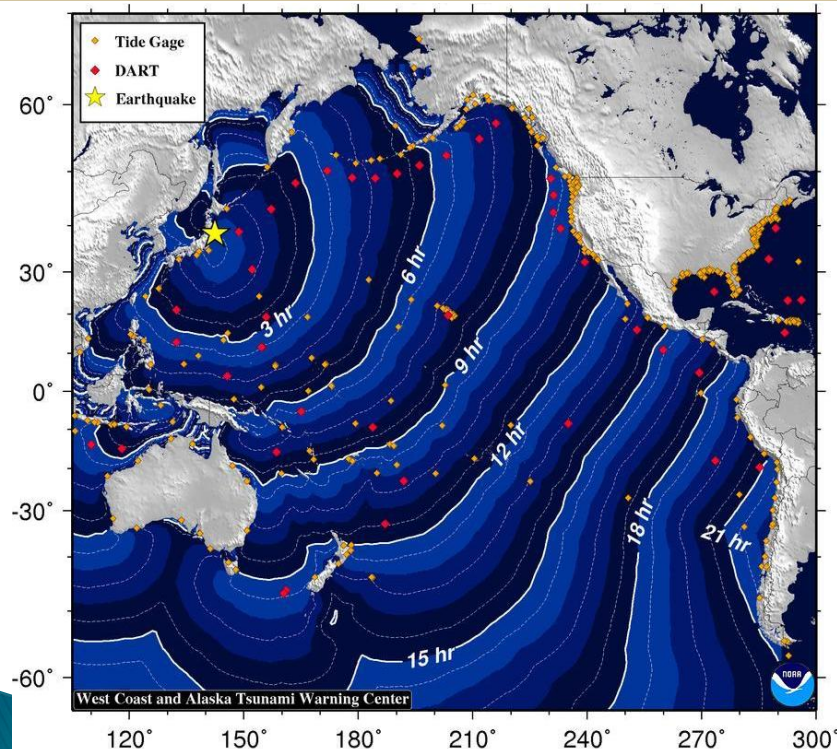
сила трения:

$$F_{n,\tau_\alpha} = C_f \frac{v_\alpha}{v_c \sqrt{g_{\alpha\alpha}}} \iint_{D_t} g (\rho_{sl} - \rho_w) \frac{h_{sl}(q^1, q^2, t)}{\sqrt{G}} \left[1 + \frac{1}{g} \left((v^1)^2 \frac{\partial^2 h_{bt}}{(\partial q^1)^2} + 2v^1 v^2 \frac{\partial^2 h_{bt}}{\partial q^1 \partial q^2} + (v^2)^2 \frac{\partial^2 h_{bt}}{(\partial q^2)^2} \right) \right] dq^1 dq^2$$

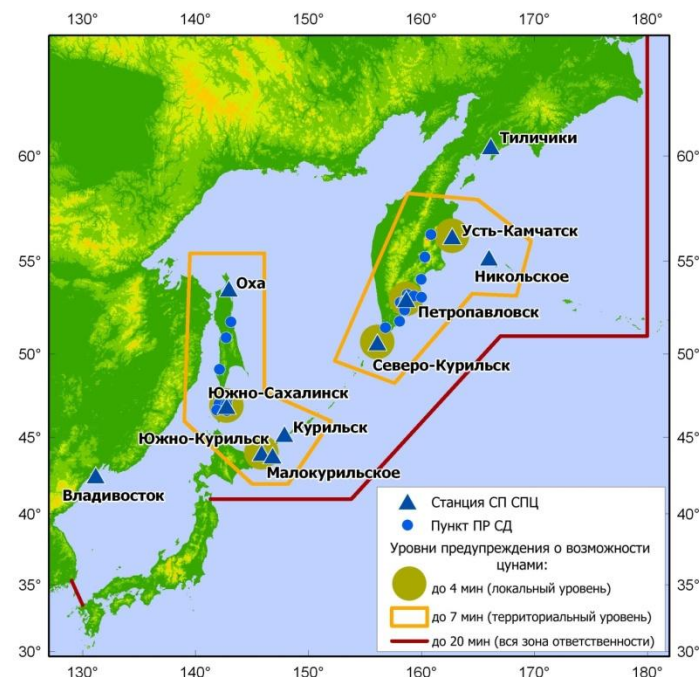


Национальные системы предупреждения о цунами:

- Австралия
- Индонезия
- Новая Зеландия
- Россия (СССР) после события 1952 г. в Северо-Курильске
- США (PTWS – Гонолулу и Анкоридж)
- Чили
- Япония (JMA) и др.



Гидрофизическая подсистема.
(В РФ – Росгидромет)
• мареографы и
• донные станции системы DART



Сейсмическая подсистема.
В РФ – ГС РАН



Действия Службы предупреждения о цунами в Японии, России и США

0 мин Момент землетрясения 05:46 UTC 14:46 JST

4 мин Первое сообщение ЯМА. Ms=7.9. Сигнал «Тревога цунами» для префектур Мияги, Ивате и Фукусима, сигнал «Цунами») для трех соседних префектур Аомори, Ибараки и Чiba. Сигнал «Возможное цунами» был выпущен для других 15 береговых префектур Японии

4 мин ЦЦ в Ю-Сахалинске получил сообщение ЯМА о тревоге цунами

5 мин Список ожидаемых времен прихода и высот цунами вдоль всего побережья Хонсю

6 мин ЦЦ в Ю-Сахалинске получил сообщение с/с ЮСХ о регистрации сильного землетрясения

9 мин Бюллетень №1 ТЦПЦ. Ms=7.9 Предупреждение о цунами для побережья Японии, России, Марианских островов и о-ва Маркус

12 мин ЦЦ в Ю-Сахалинске выпустил сигнал «Тревога цунами» для Курильских островов

28 мин ЯМА: расширение зоны сигнала «Опасное цунами», для префектур Аомори, Ибараки и Чiba

57 мин Бюллетень №2 ТЦПЦ. Ms=8.8 Зона тревоги расширена до о-вов Уэйк и Тайвань

1:44 мин Бюллетень №3 ТЦПЦ. Ms=8.8 Зона тревоги распространена на весь Тихий океан

.....
24:50 мин Бюллетень №27 ТЦПЦ. Отмена статуса тревоги для всего Тихого океана





Дальневосточный регион разделен на три отдельные зоны

- Курило-Камчатская зона,
- Японское море,
- Охотское море).

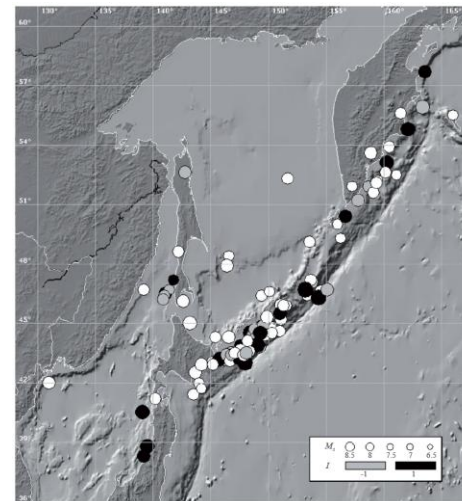
За весь исторический период наблюдений не было зарегистрировано случаев выхода опасного цунами за пределы его зоны возникновения.

Все подводные землетрясения с глубинами очагов более 100 км - нецунамигенные.

Землетрясения начинают возбуждать цунами на глубинах 70–80 км, а все действительно опасные цунами возникли от мелкофокусных землетрясений с глубинами гипоцентров в пределах верхних 50 км.

Основная масса подводных землетрясений, требующих оперативной обработки и оценки их цунамиопасности, происходит в **Курило-Камчатской зоне (77%)**.

На зону 2 (**Японское море**) приходится **11%** событий, на зону 3 (**Охотское море**) – **12%**, причем подавляющее большинство из них являются глубокофокусными землетрясениями с глубинами очагов в диапазоне 100–600 км.



- **разрушительные, опасные и ощутимые** цунами – **черный** цвет,
- **слабые** цунами – **серый**,
- **нецунамигенные** – **белый**.

В.К. Гусяков **Магнитудно-географический критерий прогнозирования цунами: анализ практики применения за 1958–2009 гг. // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46, № 3, с.5-21**



Период	N	T	T_0	W	W_0	W/N	W_0/W	T_0/N	W_0/T_0
1958–1983гг.	67	30	15	38	10	57%	26%	22%	67%
1984–2009 гг.	34	13	8	29	7	85%	24%	23%	87%
Весь период	101	43	23	67	17	67%	25%	23%	74%

N – общее число землетрясений с $M \geq M_{\text{пор}}$;

T – общее число цунами, наблюдавшихся на побережье РФ;

T_0 – число опасных цунами (с высотами $H_{\text{max}} > 0.5$ м);

W – число тревог, поданных службой предупреждения;

W_0 – число оправдавшихся тревог (поданных перед опасными цунами),

а также соотношения между этими параметрами, характеризующие:

W/N – **общая эффективность работы службы;**

W_0/W – **оправдываемость** тревог;

T_0/N – **ожидаемая эффективность прогноза;**

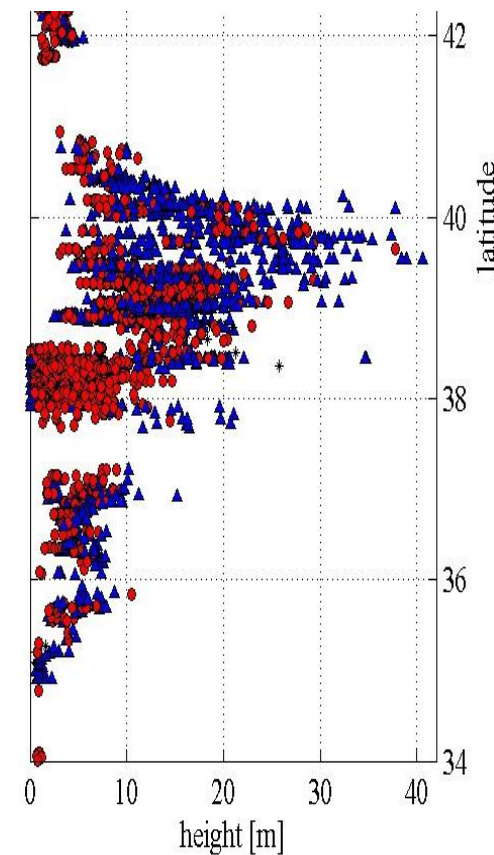
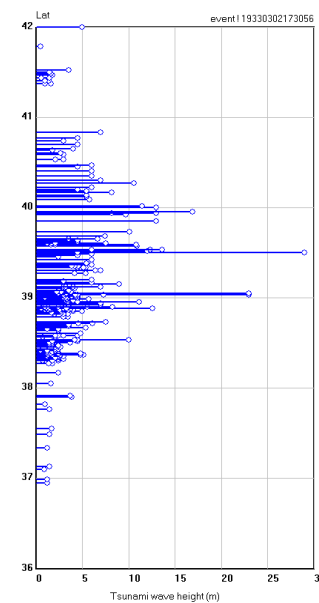
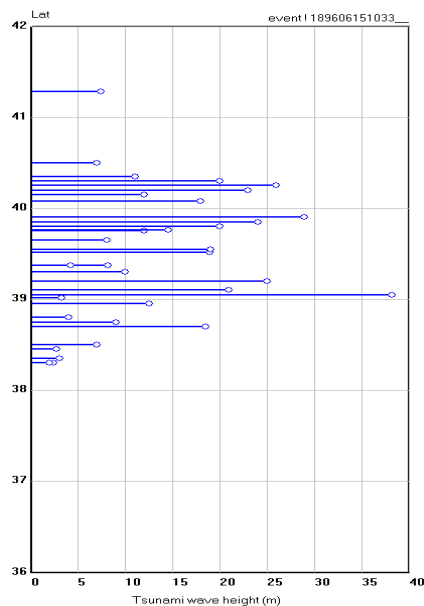
W_0/T_0 – **коэффициент предупреждаемости опасных цунами.**



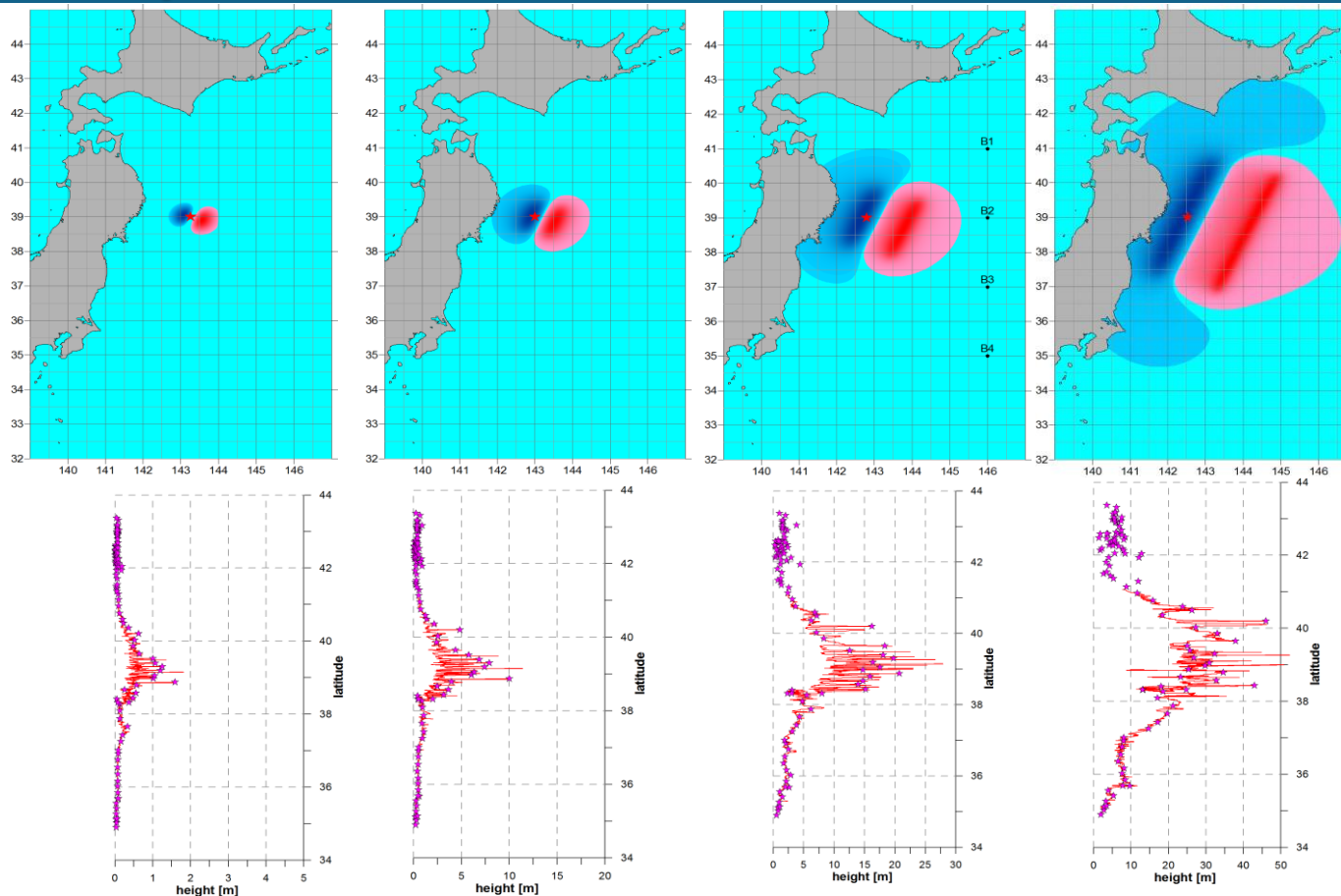
Главный резерв дальнейшего совершенствования службы – **в снижении числа ложных тревог** (при сохранении на разумно низком уровне риска пропуска сильного цунами)

- на основе привлечения **дополнительных критериев и признаков цунамигенности** (глубина очага и др.);
- за счет более точного определения границ зон для **объявления тревоги**.

Такой пересмотр должен быть сделан на основе анализа фактических наблюдений высот цунами и **численного моделирования распространения цунами внутри каждой из зон при различных положениях и размерах очагов**.



Распределение **измеренных** высот волн цунами вдоль побережья о-ва Хонсю при землетрясении 02.03.1933 с магнитудой $M=8.3$ (слева), при землетрясении 15.06.1896 с магнитудой $M=7.6$ (в центре) и при землетрясении 11.03.2011 с магнитудой $M=9.0$ (справа).

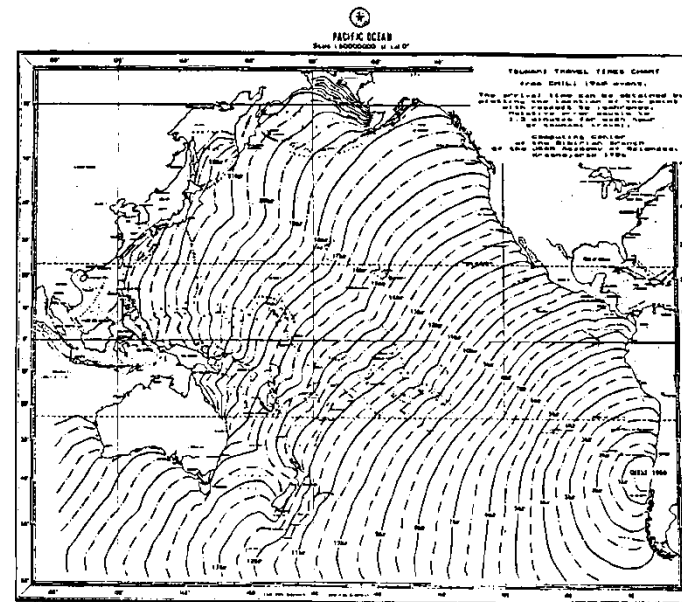
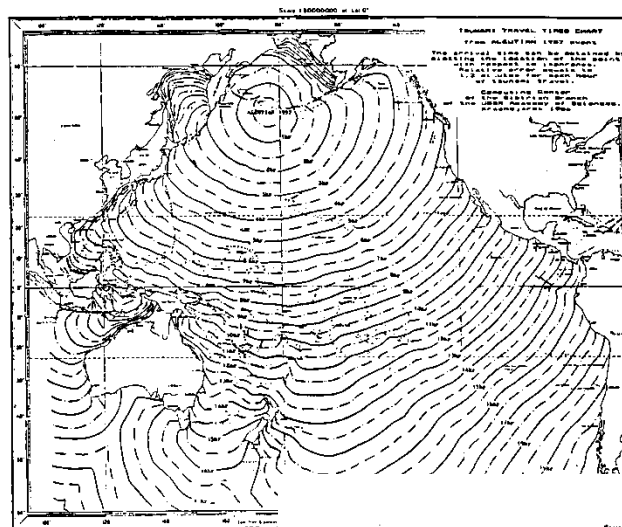
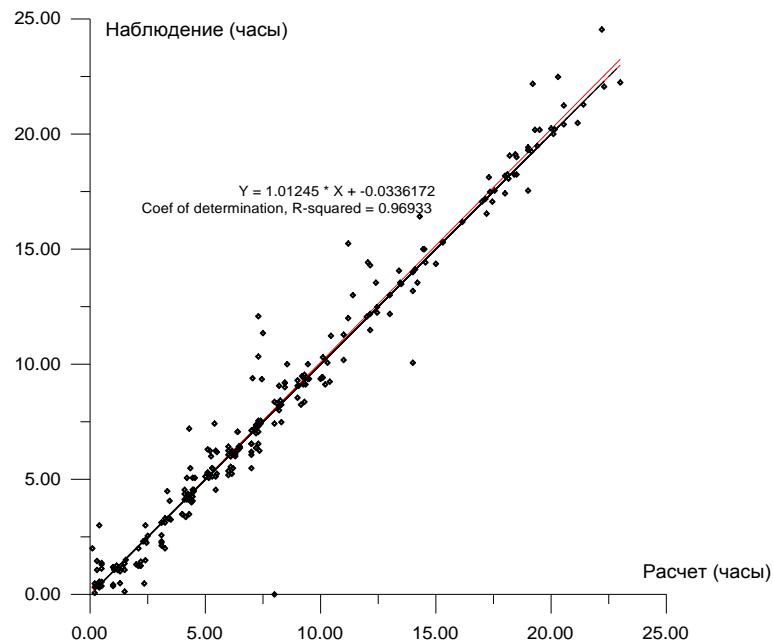


Распределение **рассчитанных** высот волн цунами вдоль побережья о-ва Хонсю при модельном землетрясении с магнитудой $M=7.2$, при модельном землетрясении с магнитудой $M=7.8$, при модельном землетрясении с магнитудой $M=8.4$, при модельном землетрясении с магнитудой $M=9.0$.



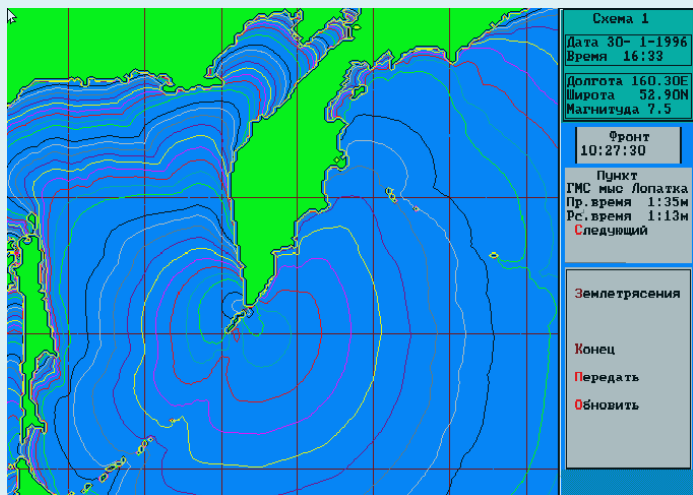
Совершенствование систем предупреждения о цунами

высокая точность даже на «грубой» сетке – 7 минут на час распространения волны





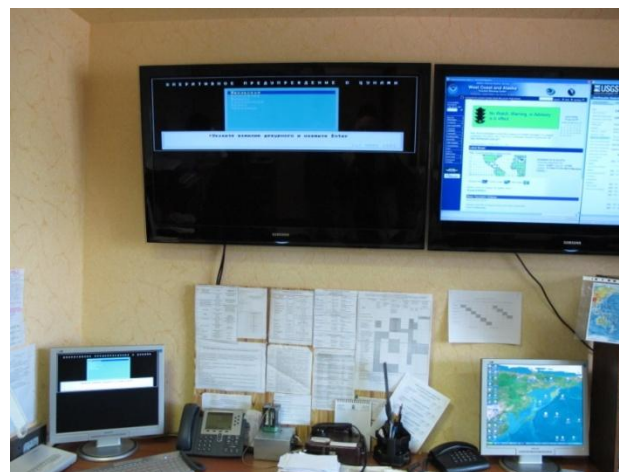
Совершенствование систем предупреждения о цунами



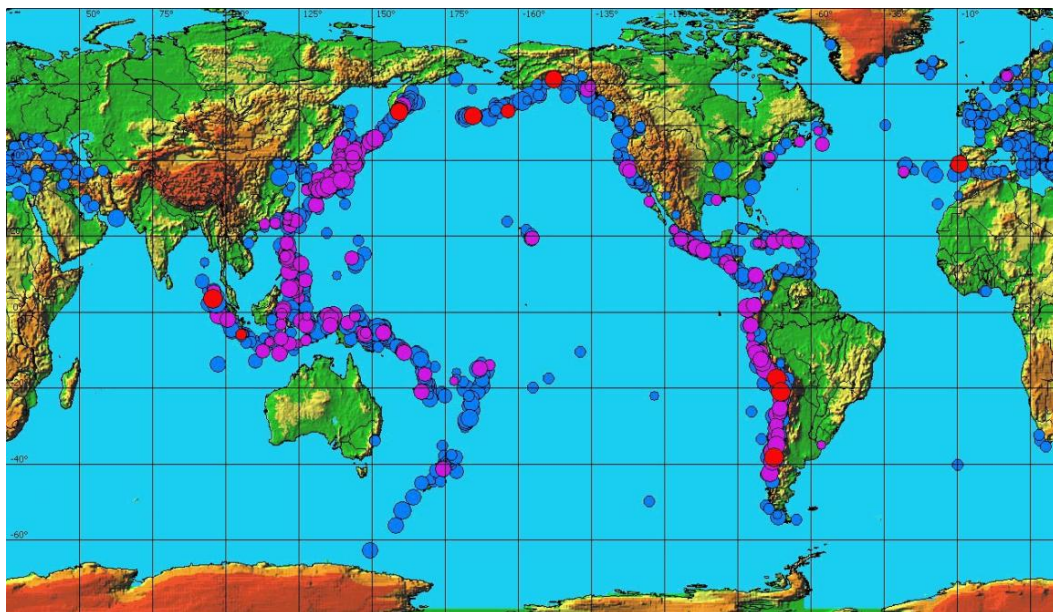
Создание подсистем ЕАСЦ, автоматизирующих деятельность персонала Служб предупреждения о цунами (Сахалин – версии 1, 2; Камчатка) контракты с ЦКБ ГМП (начало 90-х годов)

- # Оригинальная архитектура системы;
- # Использование распределенных информационно-вычислительных ресурсов;
- # Формулировка и реализация алгоритмов «предварительного» и «оперативного» расчета,
- # Включение в систему перспективных решений, рассчитанных на технические возможности «завтрашнего» дня;

	Date	Time	Warning Procedure 4	Travel Times			
Greenwich	20-01-93	14:49	Severo-Kurilsk	7h 54m			
			Matua	6h 43m			
Sakhalin	21-01-93	01:49	Burevestnik	6h 32m			
			Yuzhno-Kurilsk	6h 39m			
			Malokurilskoe	6h 32m			
			Urup	6h 37m			
			Shumshu	7h 05m			
			Simushir	6h 35m			
Preliminary results							
Duty oceanologist							
Ivanov I. I.							
N	Sakhalin	Date Time	Magnitude	Latitude	Longitude	Hypocentre Depth	
12		19.03.1993	18:51	7.5	2.9N	170.3E	999
[F4] Verification		[F9] Tide Calculations		[F2] Save		[Esc] Exit	

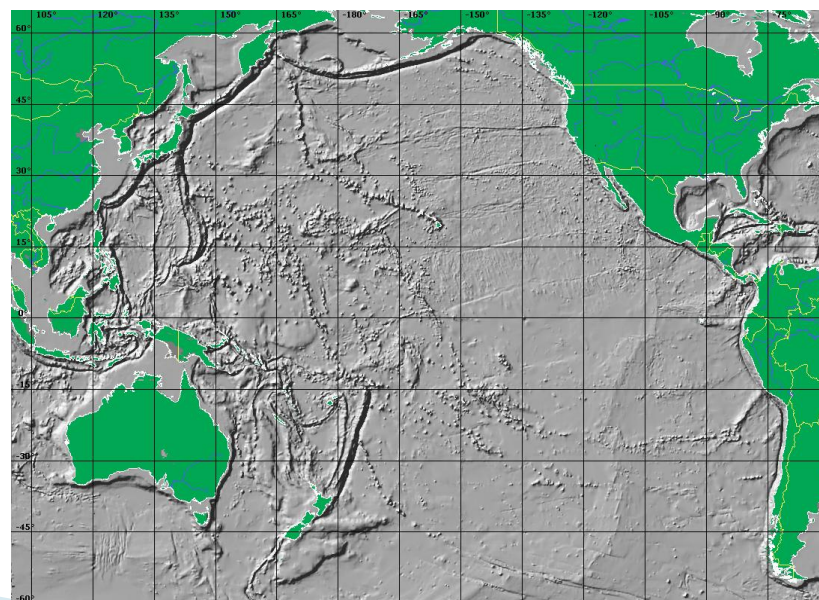


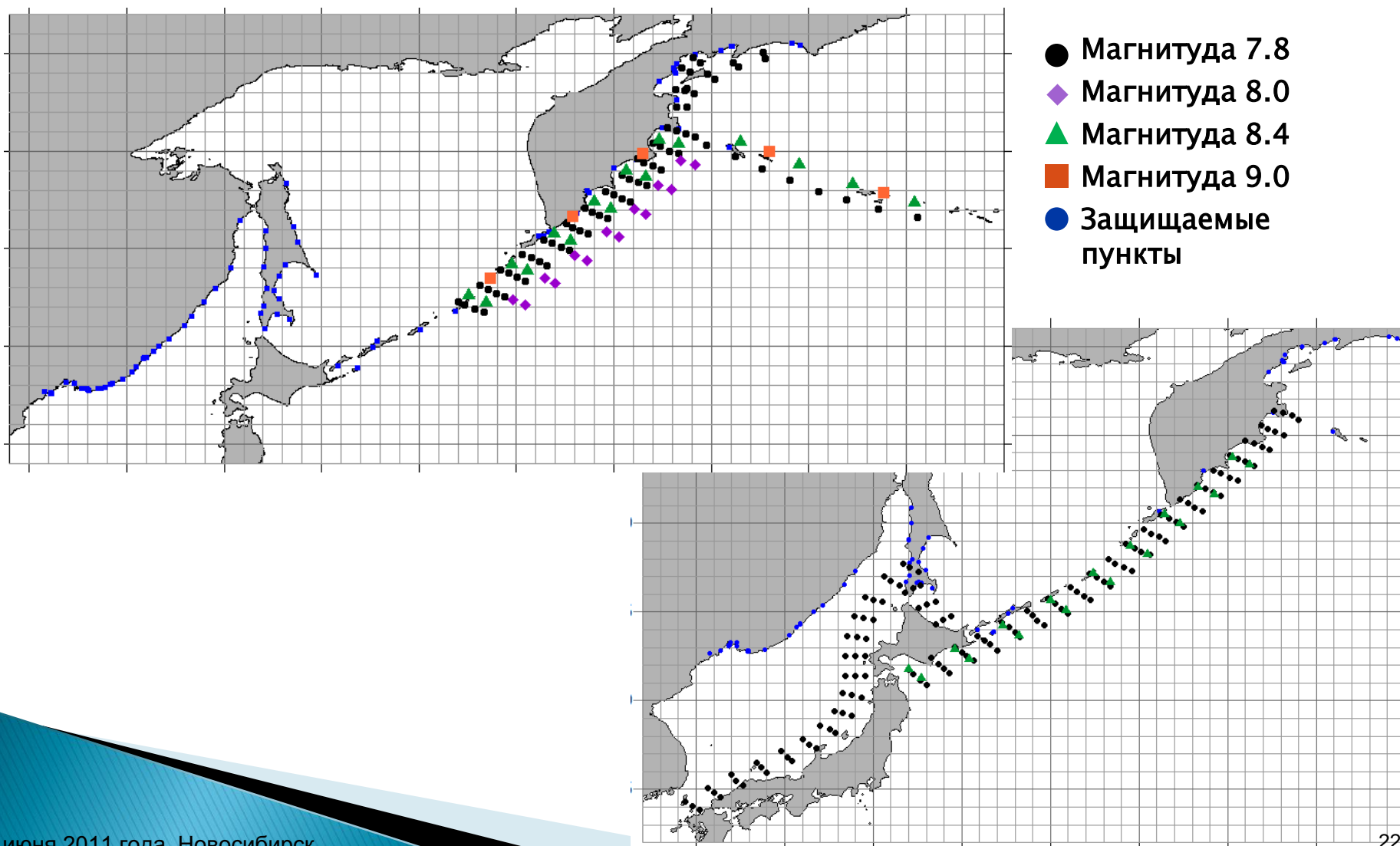
Операционный зал Сахалинского центра цунами (июнь 2010 г.). Система на боевом дежурстве.

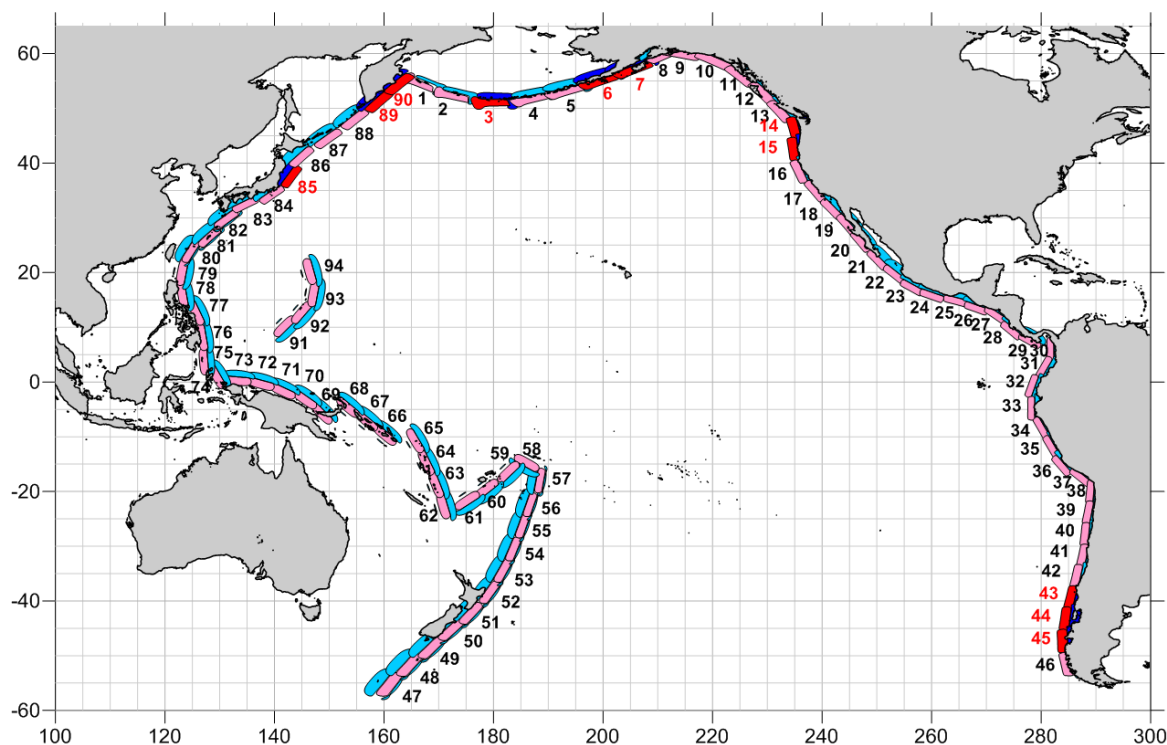


Карта исторических источников цунами в Мировом океане (1965 событий за период с 1628 г. д.н.э. до 2006 г.). Размер кружочка пропорционален магнитуде соответствующего цунамигенного землетрясения, цвет соответствует типу события: красный – трансокеанские цунами (11), лиловый – региональные, приведшие к жертвам (223), голубые – все остальные (1731).

Рельеф дна расчетной области, использованной для предварительных расчетов трансформации волн цунами, порожденных удаленными относительно Дальневосточного побережья РФ потенциально опасными очагами цунамигенных землетрясений.



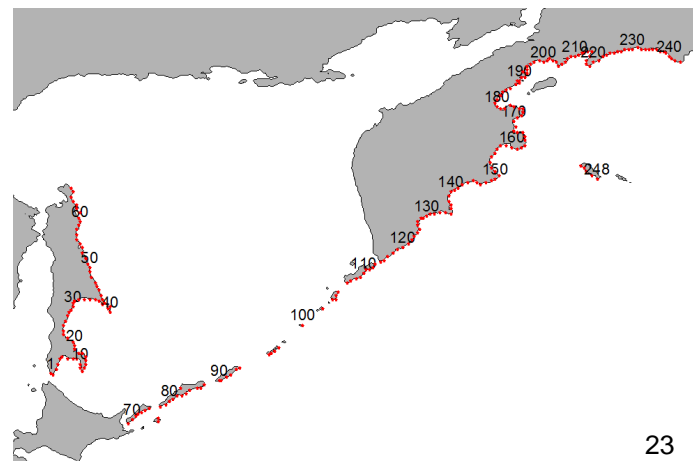




Виртуальные мареографы вдоль защищаемого побережья: восточное побережье о-ва Сахалин, Курильских островов, п-ва Камчатка ●

Система модельных цунамигенных землетрясений с магнитудой 9.0

- *Алеуто-Аляскинская группа (1а – 8а),*
- Североамериканская группа (9а – 22а),
- Центральноамериканская группа (23а – 29а),
- Южноамериканская группа (30а – 46а),
- группа Новой Зеландии – Тонга (47а – 57а),
- группа Папуа-Новой Гвинеи – Соломоновых островов (58а – 74а),
- Филиппинская группа (75а – 86а),
- *Курило-Камчатская группа (87а – 90а),*
- Группа Гуама (91а – 94а).





Совершенствование систем предупреждения о цунами

Предложена и реализована для Дальневосточного побережья РФ методика разработки баз данных о проявлении волн цунами для защищаемых пунктов побережья, предназначенных для информационного обеспечения экспертных оценок динамического воздействия волн цунами, выполняемых региональными фрагментами национальных систем предупреждения о цунами.

Скриншоты рабочего окна информационной подсистемы «Камчатка».

Таблица источников:

Название	Широта	Долгота	Магнитуда	Длина (км)	Ширина (км)
2b-84	48.95	155.58	8.4	215.0	75.0
2d-84	49.30	154.75	8.4	215.0	75.0
3b-84	50.50	157.75	8.4	215.0	75.0
3d-84	50.85	156.95	8.4	215.0	75.0
4b-84	52.13	159.83	8.4	215.0	75.0
4d-84	52.50	158.98	8.4	215.0	75.0
5b-84	53.78	161.63	8.4	215.0	75.0
5d-84	54.10	160.65	8.4	215.0	75.0
6b-84	55.45	163.30	8.4	215.0	75.0
6d-84	55.70	162.30	8.4	215.0	75.0
7d-84	55.55	166.50	8.4	215.0	75.0
8d-84	54.40	169.50	8.4	215.0	75.0
9d-84	53.43	172.25	8.4	215.0	75.0
10d-84	52.45	175.40	8.4	215.0	75.0
1d-90	48.50	153.65	9.0	430.0	150.0
2d-90	51.65	157.90	9.0	430.0	150.0
3d-90	54.90	161.50	9.0	430.0	150.0
4d-90	55.00	167.95	9.0	430.0	150.0
5d-90	52.90	173.83	9.0	430.0	150.0

Всего 107 источников.

Источники 1d-90:

1d-90 с центром в 48.50 с.ш., 153.65 в.д.
 Магнитуда 9.0, размеры площадки 430х150 км, величина подвижки 15 м, глубина залегания 5 км.
 Угол подвижки в плоскости разрыва 90, азимут 58, угол падения разрыва 11.60.

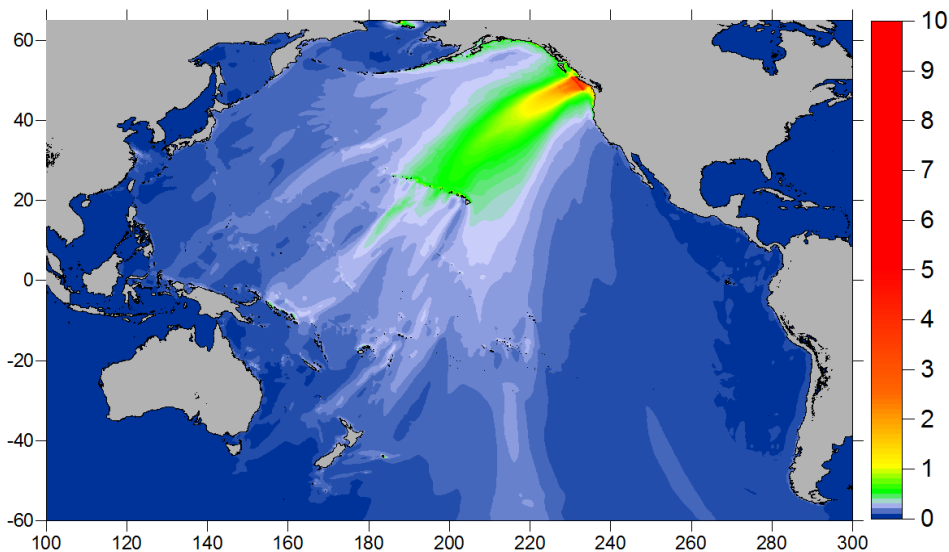
Амплитуды волн от источника:
 Максимальная 7.92 метров. Наблюдалась в пункте Okeanskij (о. Paramushir) через 7843 секунды.
 Минимальная -5.43 метров. Наблюдалась в пункте Okeanskij (о. Paramushir) через 13032 секунды.
 Максимальный размах 6.68 метров. Наблюдалась в пункте Okeanskij (о. Paramushir).

Таблица Диаграмма

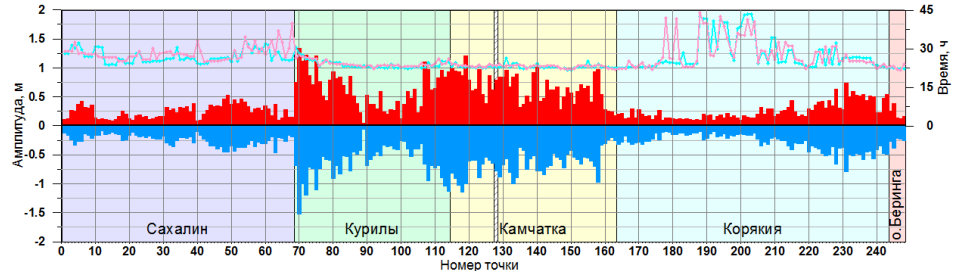
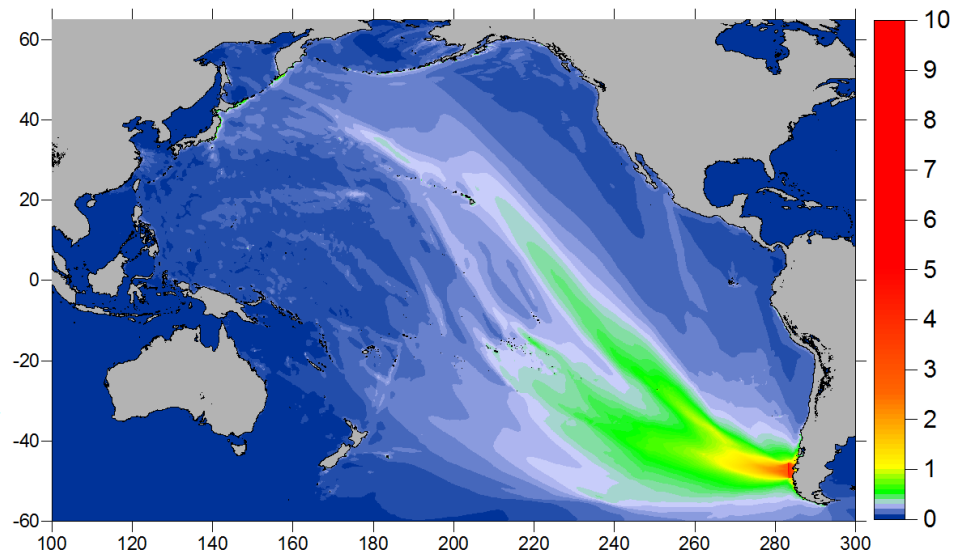
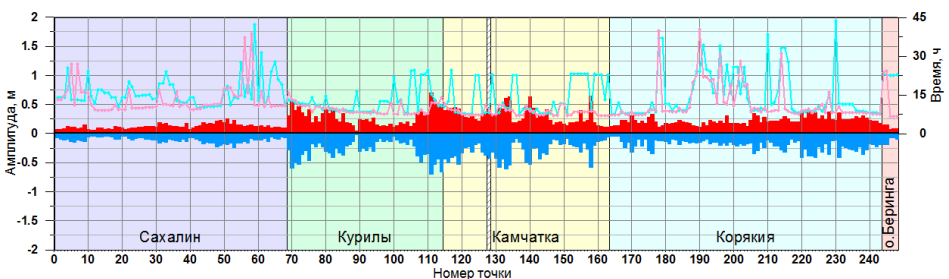
КНП м. Zhelkuj
 Максимум: 3.74 достигнут в 15515 секунд.
 Минимум: -4.00 достигнут в 10321 секунд.
 Размах: 3.87.

Мареограмма: Защищаемый пункт КНП м. Zhelkuj. Источник 1d-90. Ось Y: 10.00 м, 0, -10.00 м. Ось X: 24000 с.

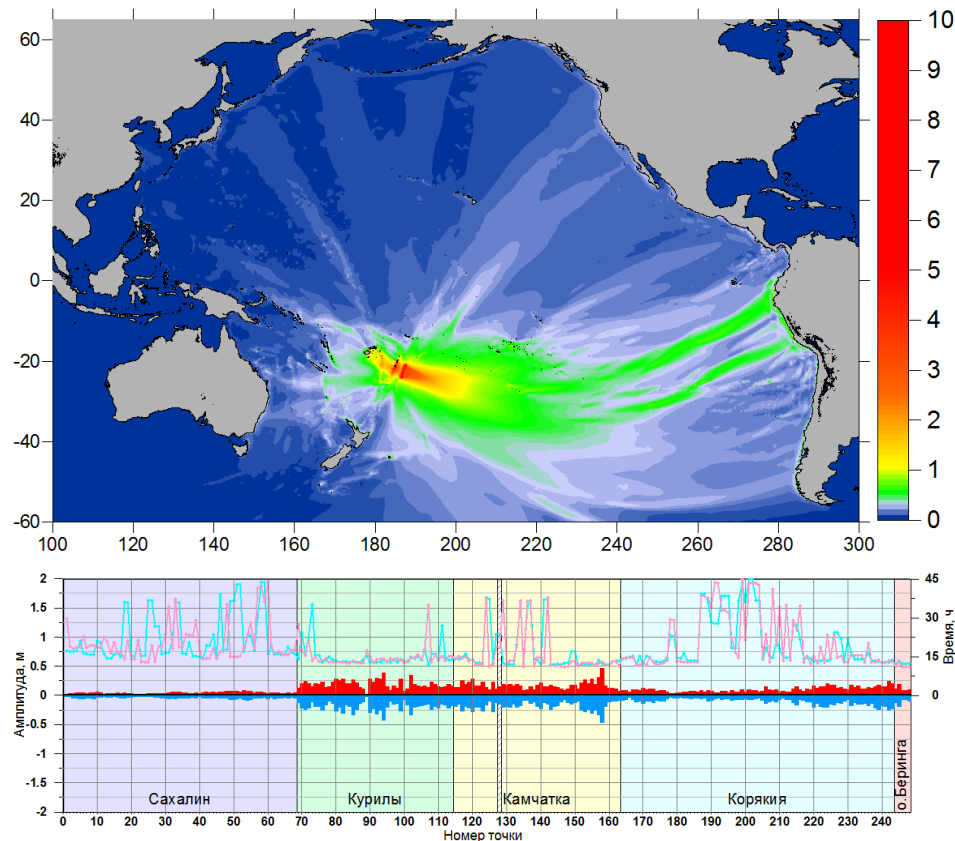
Рабочие окна информационной подсистемы «Камчатка»



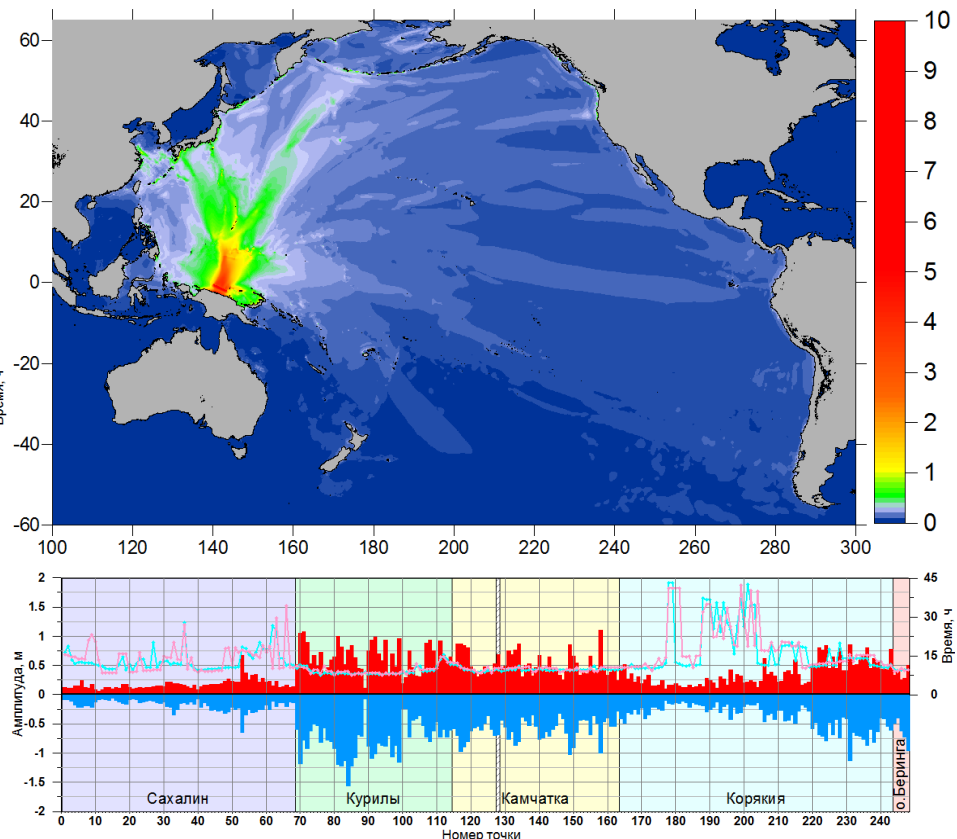
Распределение максимальных высот волн цунами, порожденных цунамигенным землетрясением «13а», входящим в Североамериканскую сейсмическую зону. Исторический аналог - «Cascadia; 1700»



Распределение максимальных высот волн цунами, порожденных цунамигенным землетрясением «45а», входящим в Южноамериканскую (Чили) сейсмическую зону. Исторические аналоги – «Chile; 1960, 2010»



Распределение максимальных высот волн цунами, порожденных цунамигенным землетрясением «56а», входящим в Североамериканскую зону «Новая Зеландия – Тонга».

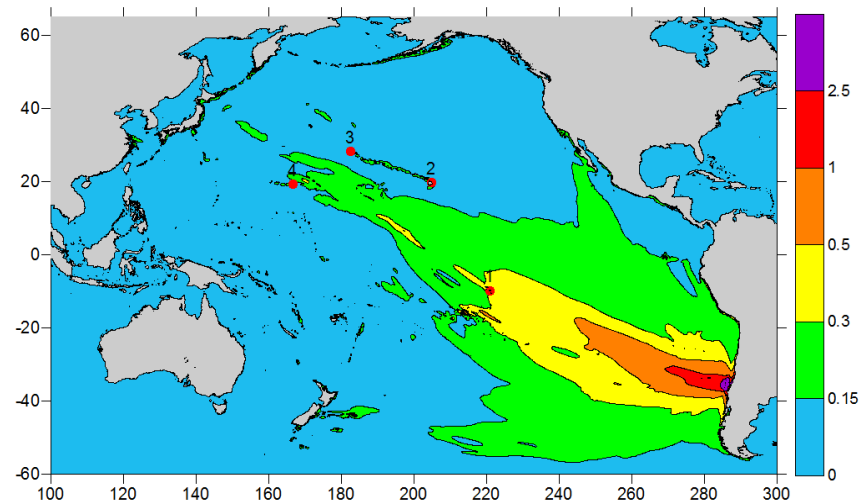


Распределение максимальных высот волн цунами, порожденных цунамигенным землетрясением «71а», входящим в сейсмическую зону «Папуа-Новая Гвинея – Соломоновы острова».



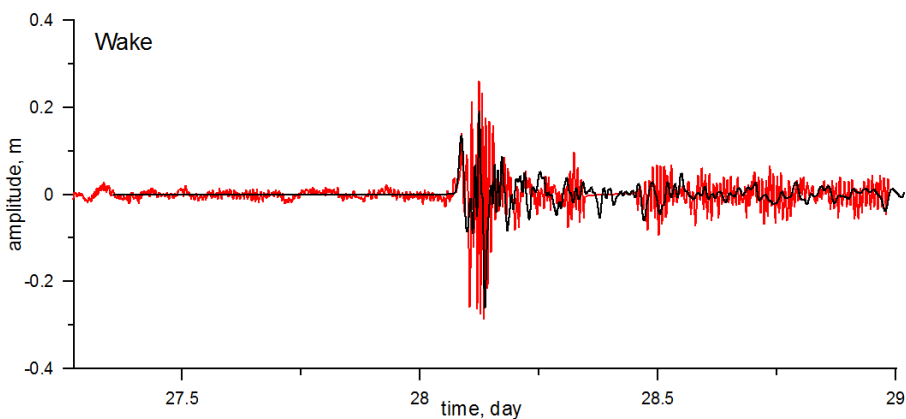
Распределение максимальных высот волн цунами, порожденных цунамигенным землетрясением «42а», входящим в Южноамериканскую (Чили) сейсмическую зону.

Красными кружочками отмечены мареографные пункты Niva (1), Hilo (2), Midway (3) и Wake (4).

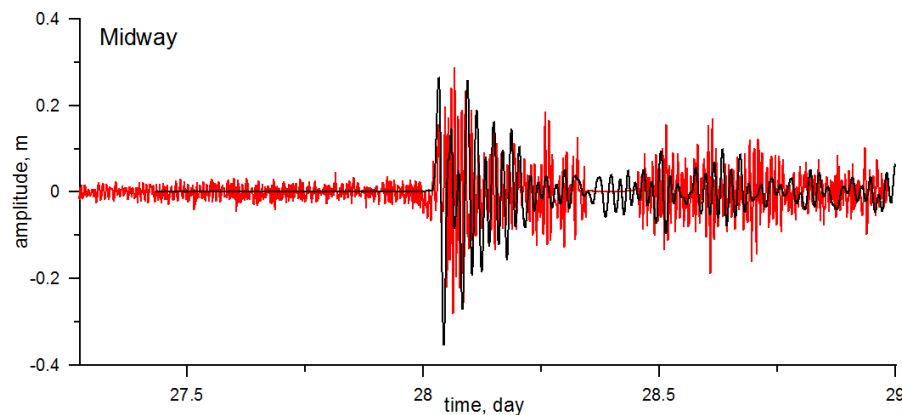


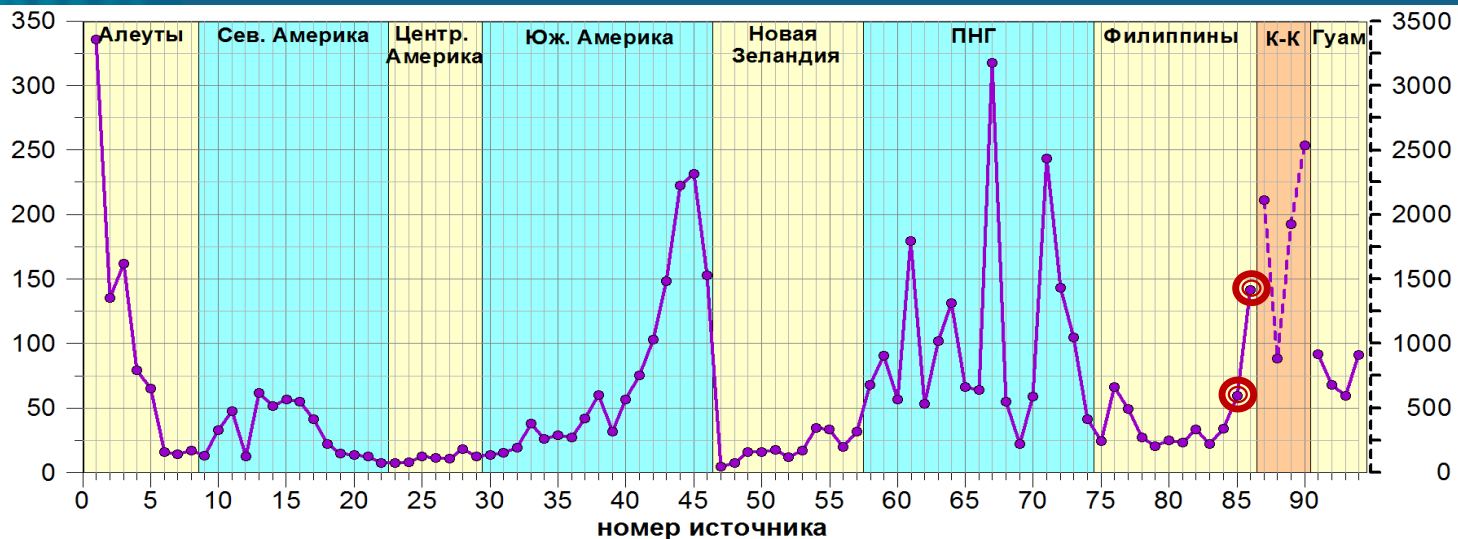
Сравнение расчетной (черная кривая, модельный очаг «42а») и реальной (красная, чилийское 2010 г. цунами, порожденное сейсмическим очагом с магнитудой $M_w = 8.8$) мареограмм для мареографного пункта Midway (3).

Глубина под виртуальным мареографом – 531 м.

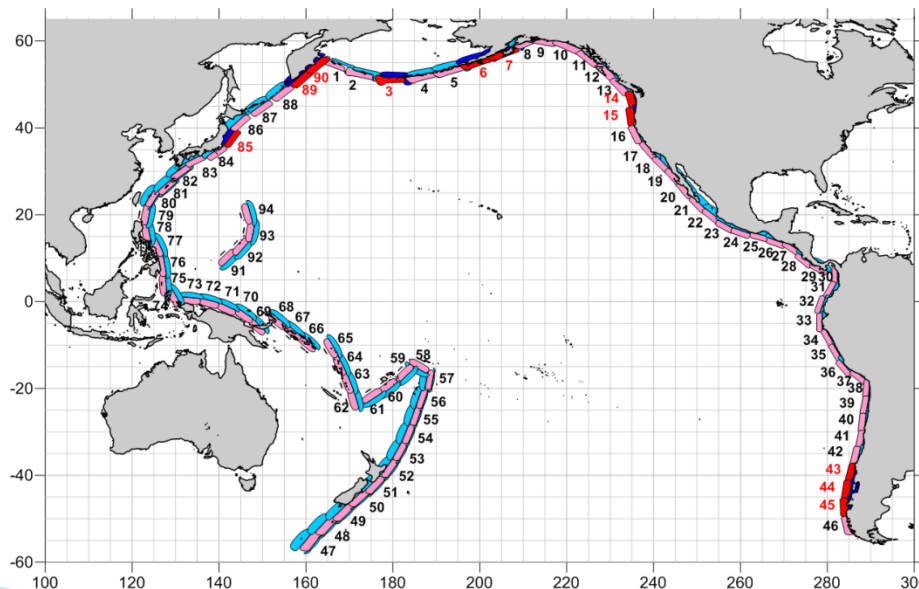


То же для мареографного пункта Wake (4).
Глубина под виртуальным мареографом – 1037 м.





Интегральная характеристика энергетического воздействия цунамигенных землетрясений на защищаемое Дальневосточное побережье России







ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ О ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ И ЦУНАМИ

11 марта 2011 года в **05:46 GMT (14:46 JST)** вблизи восточного побережье о-ва Хонсю произошло подводное землетрясение с магнитудой **Mw=9.0**
Энергия землетрясения - **3.9×10^{22} Дж** (9.3 Тераватт-час или 186500 50Мт бомб, также равна энергии падения 1.2-км астероида)

Погибших **12157 чел**

Пропавших без вести **15496 чел**

Всего **27653 чел** (1896 год – 27122 чел)

Раненых **5000 чел**

Эвакуированных **223000 чел**

Материальный ущерб **250 млрд. долл** (Кобэ 1995 год – 95 млрд. долл.)

Максимальная высота цунами **25.5м** (на 4.04.11)

Тревога цунами была объявлена по всему бассейну Тихого океана

Цунами вызвало тяжелую аварию на атомной станции Фукусима-I





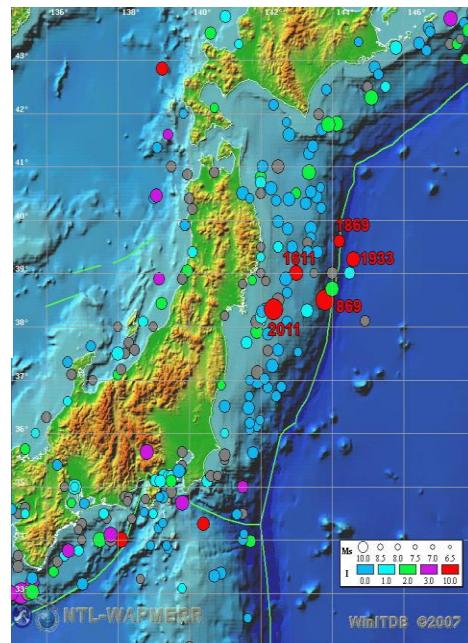
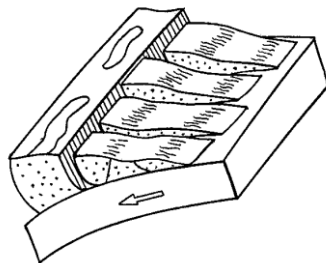
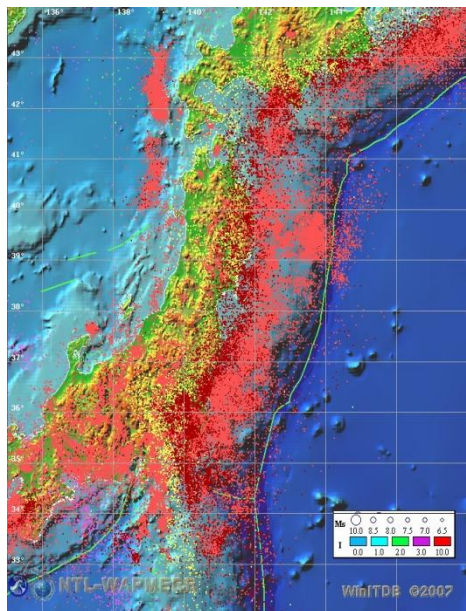
被災前(昭和52年10月撮影)



被災後(平成23年3月13日撮影)

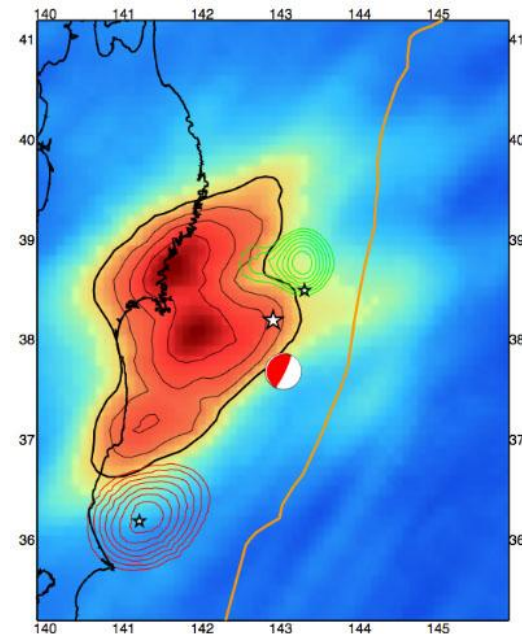


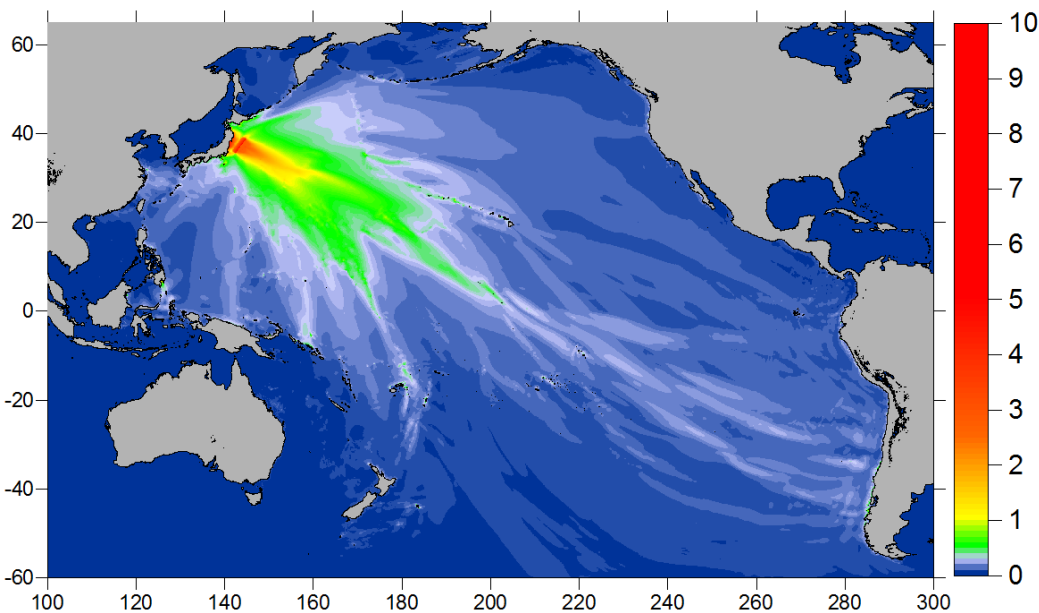
Таро-таун, префектура Мияги



Карта сейсмичности

Очаги цунамигенных землетрясений





Распределение максимальных высот волн цунами, порожденных цунамигенным землетрясением «85а», входящим в Филиппинскую сейсмическую зону.

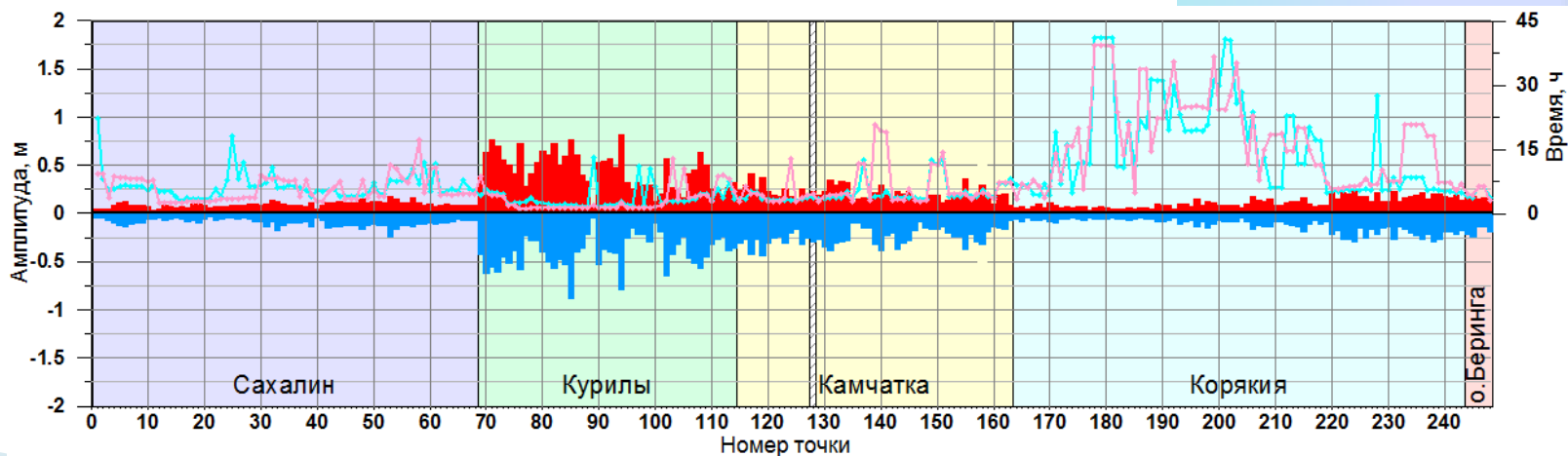
Исторический аналог «Sendai; 2011»

Источник №85:

- магнитуда – 9.0
- долгота – 142.2
- широта – 37.9

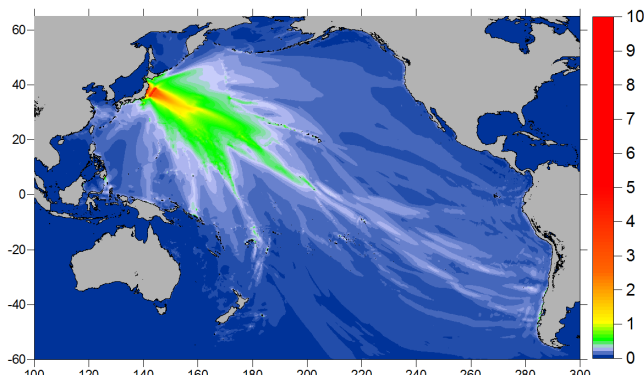
Реальный источник:

- магнитуда – 9.0
- долгота – 141.5
- широта – 38.0



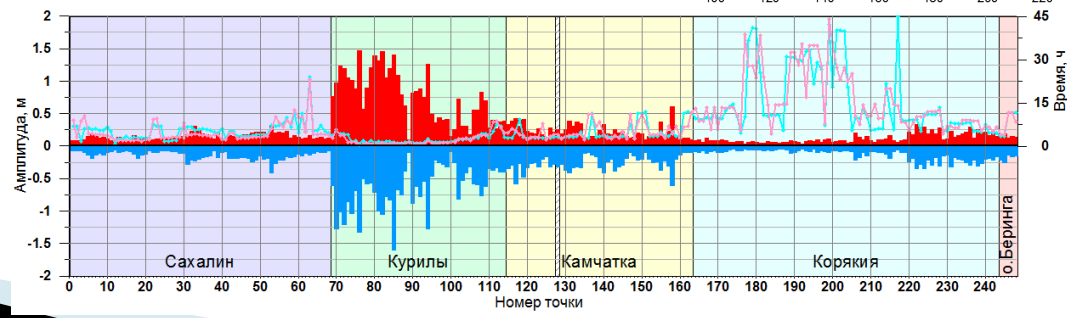
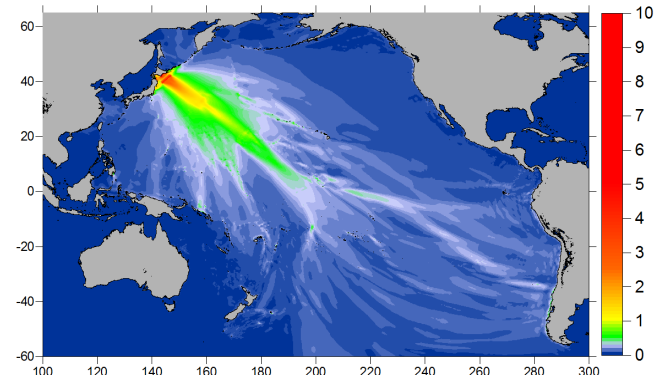
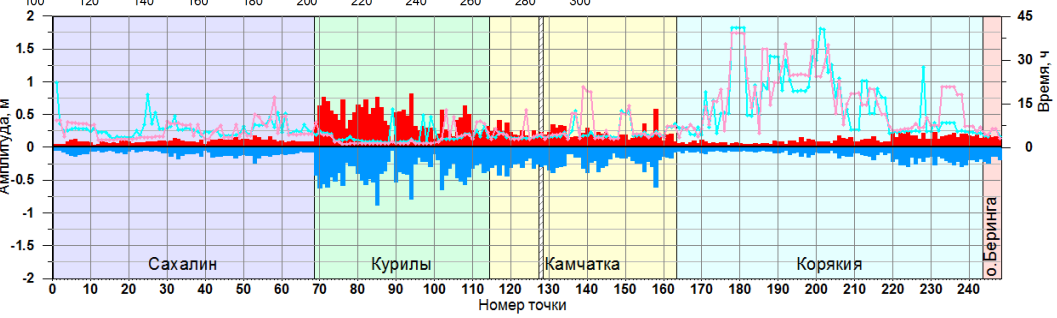
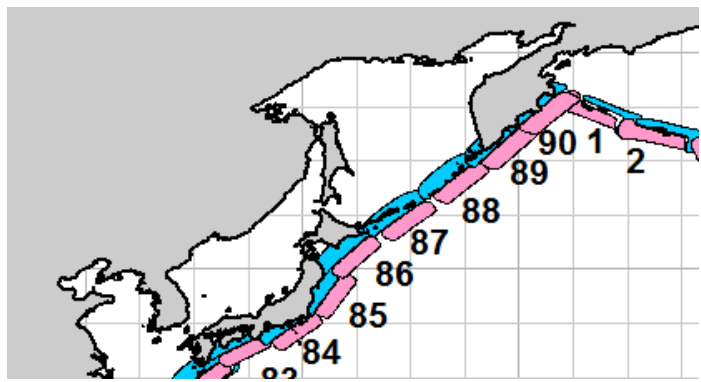


Распределение максимальных высот волн цунами, порожденных цунамигенными землетрясениями «85а» и «86а», входящими в Филиппинскую сейсмическую зону.



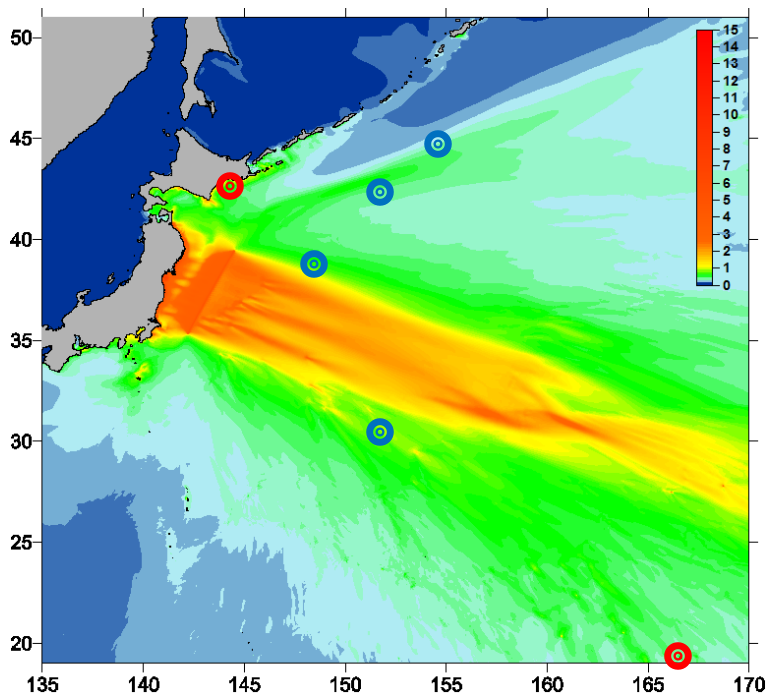
Источник №85:

- магнитуда – 9.0
- долгота – 142.2
- широта – 37.9



Источник №86:

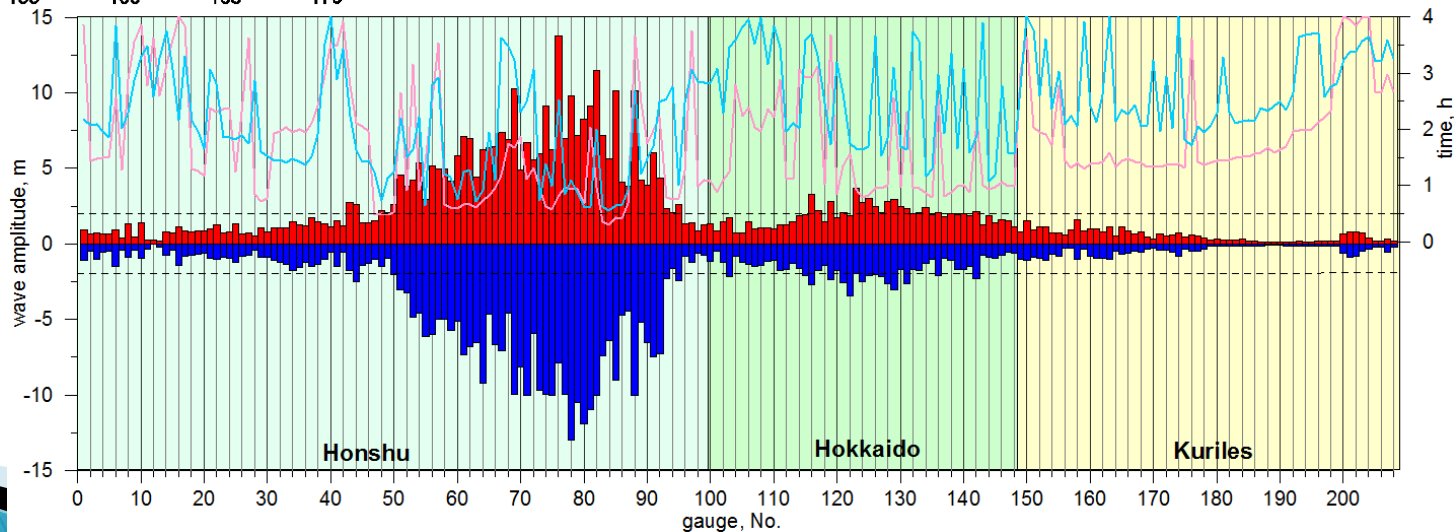
- магнитуда – 9.0
- долгота – 142.2
- широта – 37.9

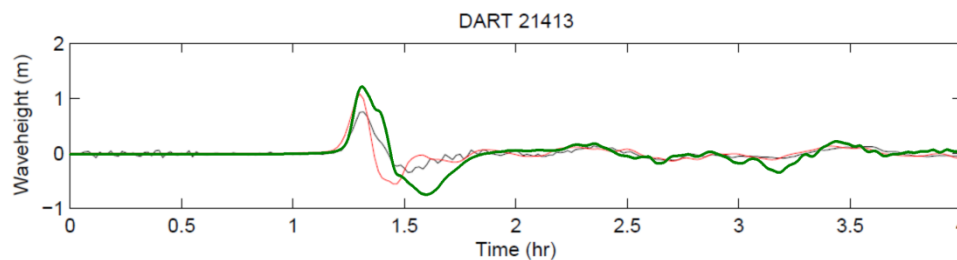
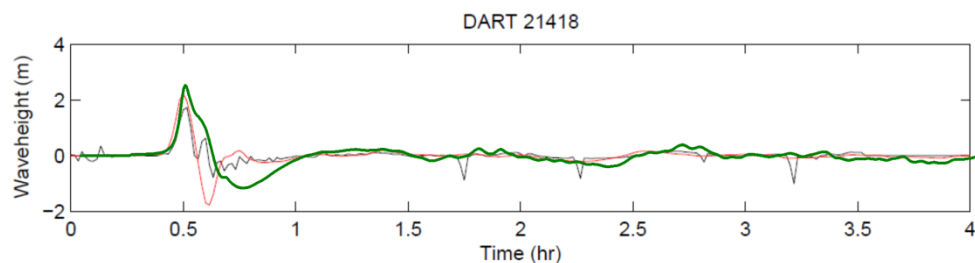
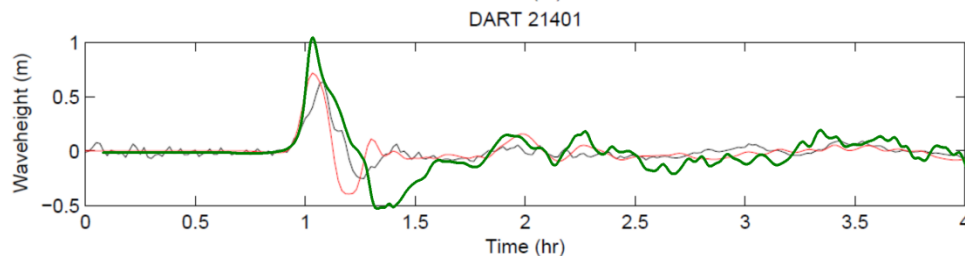
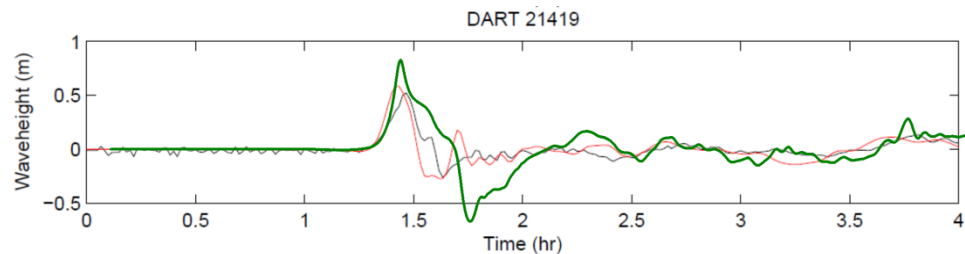
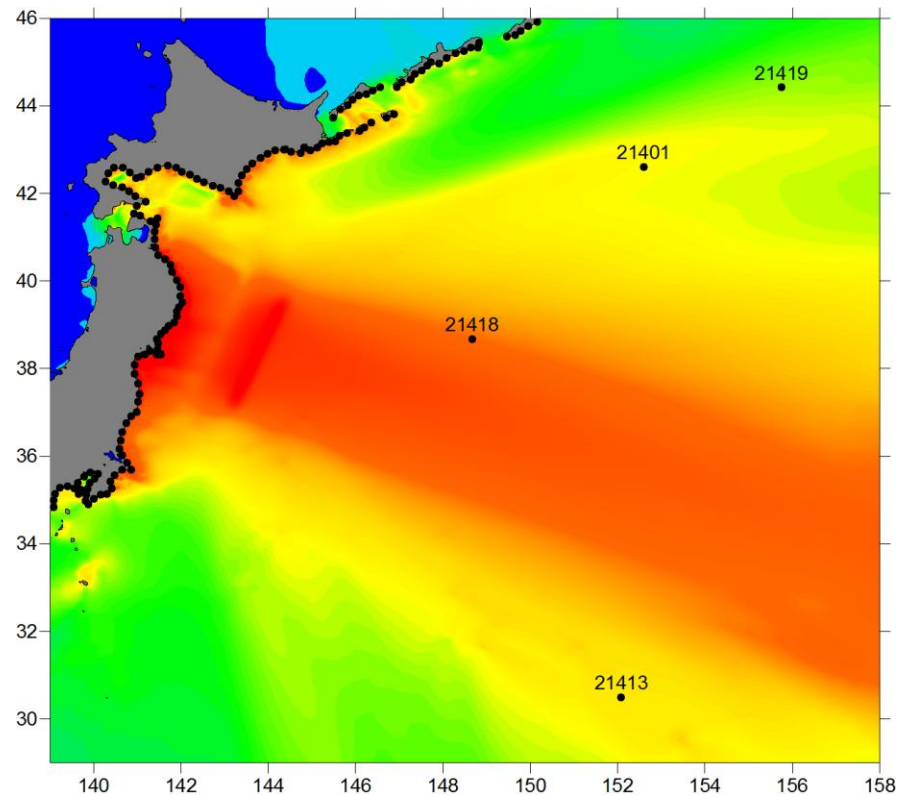


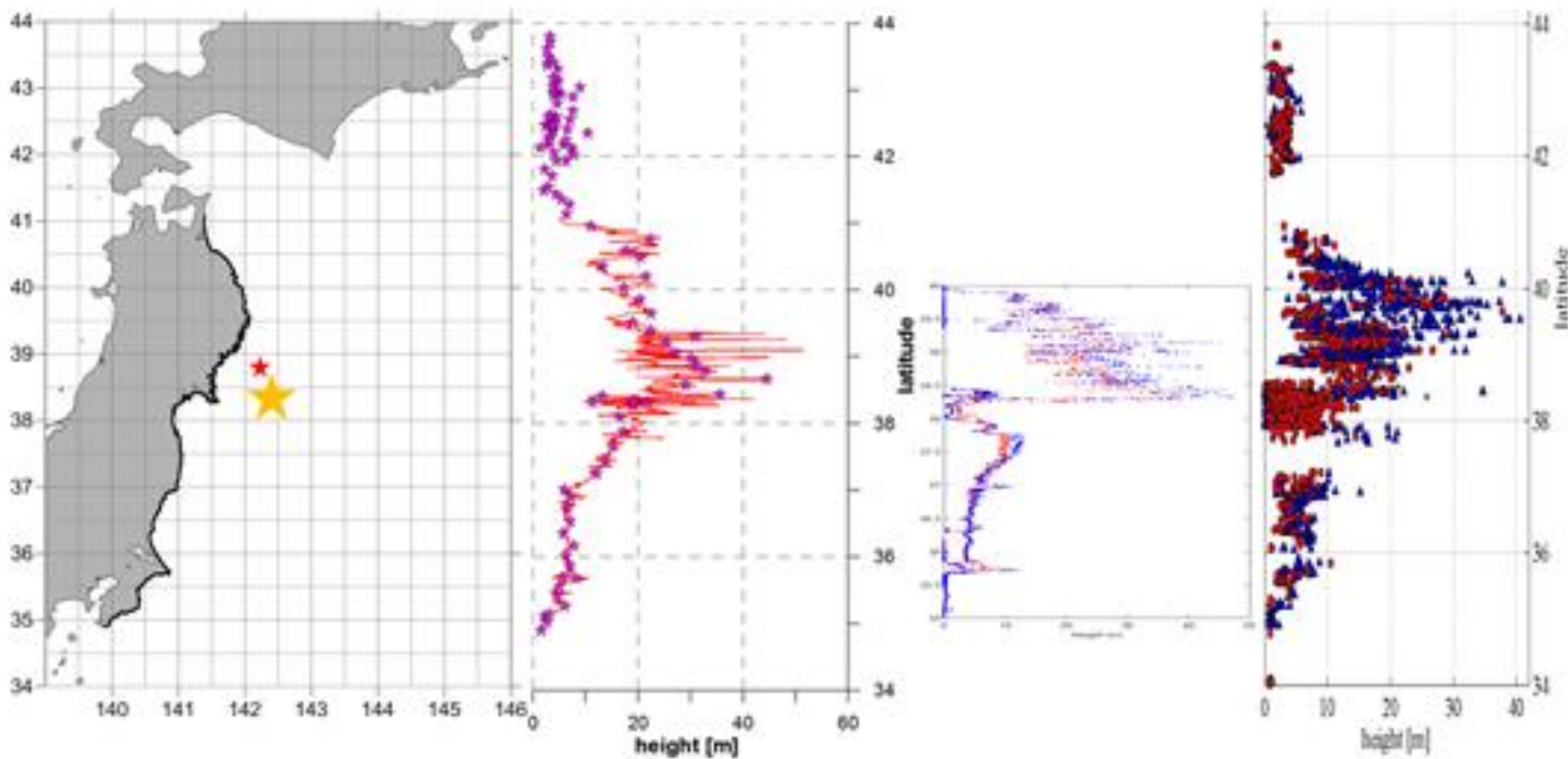
Реальный источник:

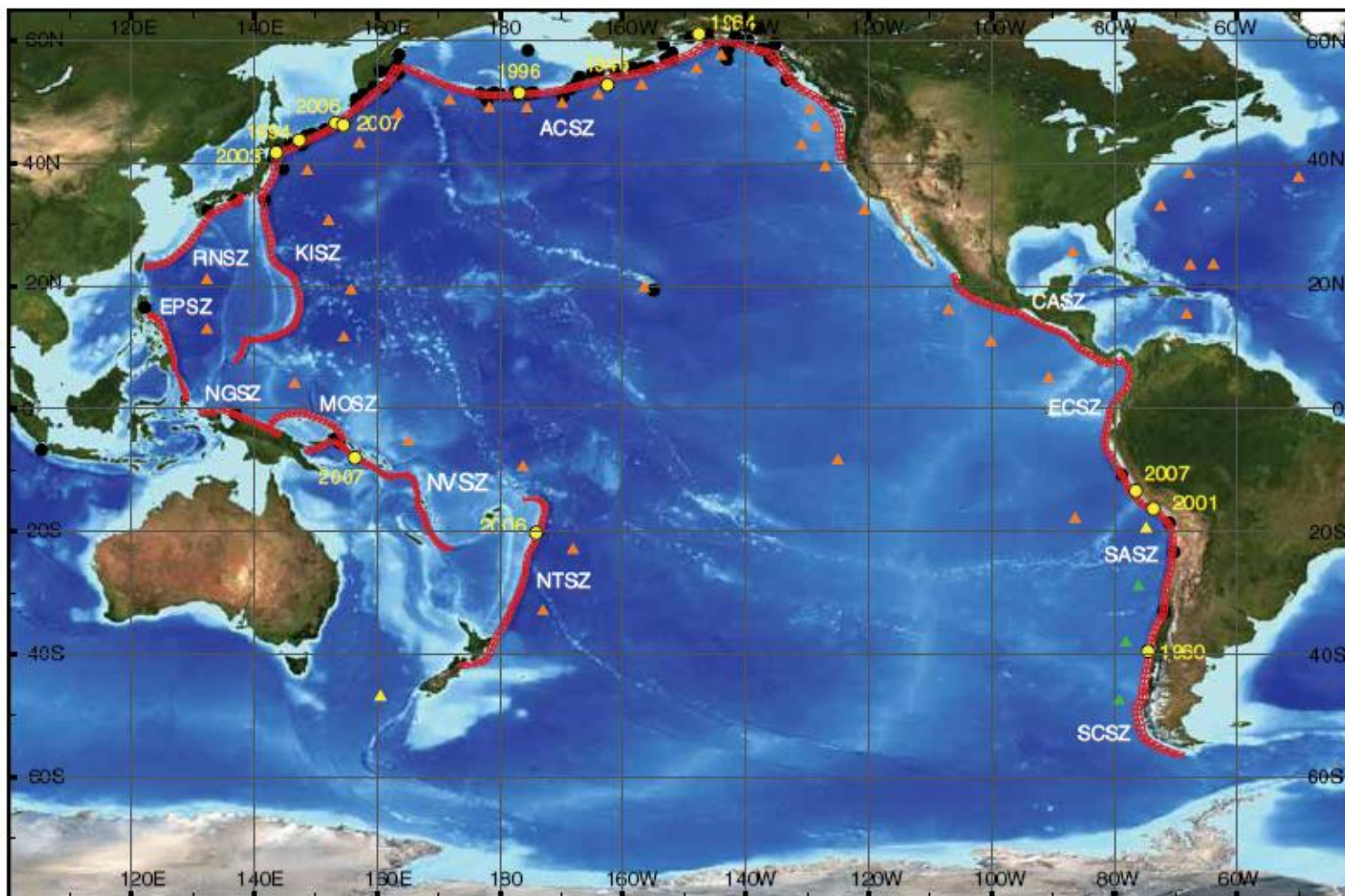
- магнитуда – 9.0
- долгота – 141.5
- широта – 38.0

<i>LOCATION</i>	<i>LAT</i>	<i>LON</i>	<i>OBS</i>	<i>COMP</i>
HANASAKI	43.3N	145.6E	1.83M	1.72M
WAKE	19.3N	166.6E	0.39M	0.39M
DART 21419	44.5N	155.7E	0.40M	0.37M
DART 21413	30.5N	152.1E	0.76M	0.85M
DART 21401	42.6N	152.6E	0.67M	0.37M
DART 21418	38.7N	148.7E	1.08M	0.62M







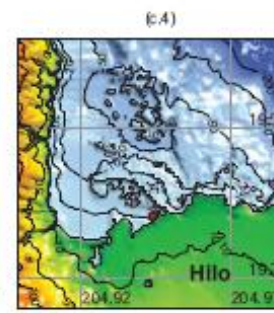
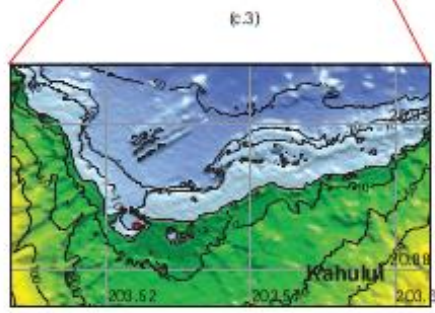
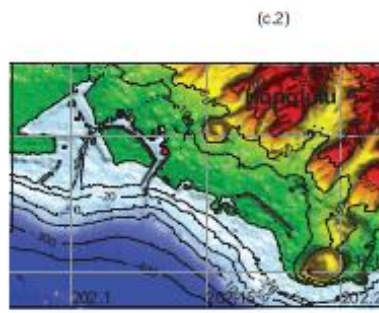
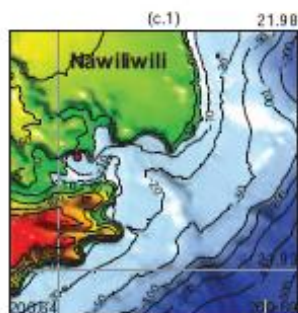
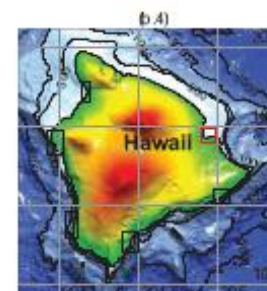
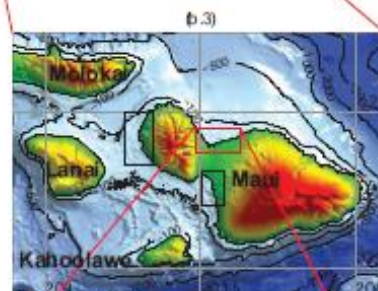
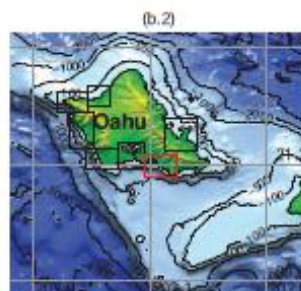
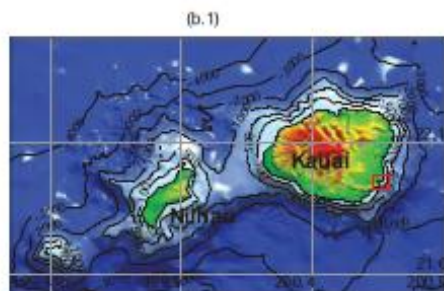


Американская система очагов в Тихом океане включает 899 базовых источников магнитудой 7.5.

Figure 2: Significant tsunami events of the last century in the Pacific. Black dots = epicenter locations of the earthquakes; Yellow circles = significant tsunami events used for validation in this study; Red blocks = SIFT unit source in the Pacific; Orange triangles = U.S. tsunameters; Green triangles = U.S. tsunameters in plan; Yellow triangles = non-U.S. tsunameters.



Для каждого защищаемого пункта расчет наката волн производится отдельно, на наборе из трех вложенных сеток – региональной (regional), прибрежной (coastal) и береговой (nearshore).
 Размерность самой мелкой береговой сетки для отдельных защищаемых пунктов доходит до 1/3 угловой секунды (~10 метров).





В работе [Соловьев, Шебалин, 1959] было предложено **пороговое значение магнитуды** для объявления тревоги цунами по Курило-Камчатской зоне, равное **7.0**, которое фактически используется до сих пор.

- В «переходной» $M_{пор} = 7.5$
- В «дальней» $M_{пор} = 8.0$

Главной причиной «пропусков тревоги» явились

- систематическое занижение оперативной оценки магнитуды,
- несвоевременность ее определения,
- ошибки в определении координат и
- другие недостатки в организации работы службы.

Среди **40 «пропущенных»** землетрясений:

- большинство (**31**) **нецунамигенные**,
- **6 – слабое цунами** ($H =$ несколько десятков см., тревога при которых была бы «**ложной**»;
- **3 сильных** цунами - **жертв не было** (Урупское 20.10.1963 г., Монеронское 05.09.1975 г. и Шикотанское 10.06.1975 г.).

С 1958 по 1980 год по данным групповой обработки сети станций ЕССН было определено **76 региональных** землетрясений с $M \geq 7.0$.

Только 13 вызвали **опасное** ($H > 0.5$ м) цунами на Дальневосточном побережье, **в 20 случаях** цунами было **слабым**, наблюдавшимся только на записях мареографов, **в 43 случаях** цунами **не было** совсем. **Тревоги были поданы только для 36 землетрясений.**

Неудовлетворительный результат:

Из 36 поданных тревог

- **10 «оправдавшихся»** ($H > 0.5$ м),
- **26 «ложных».**

Оправдавшиеся тревоги составили 28% от числа поданных, которые, в свою очередь, подавались лишь в 47% случаев подводных землетрясений с магнитудой выше пороговой.