

Российская академия наук  
Сибирское отделение  
Институт вычислительных технологий

"УТВЕРЖДАЮ"  
Директор ИВТ СО РАН

академик \_\_\_\_\_ Ю. И. Шокин

29 июня 2012 года

**«Моделирование и анализ характеристик проявления удаленных  
цунами у защищаемых пунктов Дальневосточного побережья  
Российской Федерации»**

**ОТЧЕТ**

по второму этапу договора на выполнение НИОКР  
для государственных нужд по Федеральной целевой программе  
«Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций  
природного и техногенного характера  
в Российской Федерации до 2015 года»

*(договор № 03н-11 от 01 октября 2011 г.)*

Руководитель работ

г.н.с., д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_

Л.Б. Чубаров

Новосибирск, 2012г.

Исполнители:

н.с., к.ф.-м.н.

С.А. Бейзель,

---

в.н.с., д.ф.-м.н.

В.К. Гусяков,

---

зав.лаб., к.т.н.

В.С. Стогниенко,

---

м.н.с.

Д.Л. Чубаров

---

## **Содержание**

|   |                               |    |
|---|-------------------------------|----|
| 1 | Аннотация.....                | 4  |
| 2 | Введение .....                | 5  |
| 3 | Результаты моделирования..... | 6  |
| 4 | Заключение.....               | 13 |
| 5 | Литература.....               | 14 |

# 1 Аннотация

Согласно Техническому заданию, за отчетный период исполнителями выполнены следующие работы:

1. **Уточнен** набор модельных удаленных очагов цунамигенных землетрясений магнитудой  $M_w = 9.0$ , потенциально опасных для Дальневосточного побережья России.
2. На основании результатов моделирования в наиболее цунамиопасных для побережья России сейсмических зонах к системе модельных очагов **добавлены** очаги меньших магнитуд –  $M_w = 8.4$ ,  $M_w = 8.6$  и  $M_w = 8.8$
3. В ходе вычислительных экспериментов определены характеристики проявления в акватории Тихого океана и на защищаемом побережье волн цунами, вызванных полученной системой модельных удаленных сейсмических источников и рассчитанных по результатам численного моделирования за период 48 часов физического времени распространения волны с использованием расчетной сетки с пространственным шагом 2 угловые минуты.
4. Заполнена специализированная База данных характеристик проявления в акватории Тихого океана и на защищаемом побережье волн цунами, вызванных системой модельных удаленных сейсмических источников и рассчитанных по результатам численного моделирования за период 48 часов физического времени распространения волны с использованием расчетной сетки с пространственным шагом 2 угловые минуты. База данных содержит:
  - мареограммы, рассчитанные в наборе виртуальных мареографов, установленных на защищаемом побережье (включая защищаемые пункты, входящие в составленный Заказчиком перечень), а также в местах расположения прибрежных гидрофизических датчиков Тихоокеанской системы предупреждения о цунами (PTWS) и глубоководных датчиков системы DART;
  - распределения экстремальных (максимальных и минимальных) значений высот волн цунами в мареографных точках;
  - распределения времен регистрации экстремальных значений высот волн цунами в мареографных точках;
  - распределения времен регистрации первых возмущений в мареографных точках и в акватории всего Тихого океана;
  - распределения максимальных и минимальных высот волн цунами в акватории Тихого океана (картины свечения).
5. Выполнена интерпретация результатов моделирования, материалы которой представлены в настоящем отчете.

К отчету прилагаются:

1. **Приложение 1. Параметры модельных очагов.**
  - Таблица 1 – список параметров модельных удаленных очагов цунамигенных землетрясений с магнитудой  $M_w = 9.0$ .
  - Таблица 2 – список параметров модельных удаленных очагов цунамигенных землетрясений с магнитудой  $M_w = 8.4$ ,  $M_w = 8.6$  и  $M_w = 8.8$
2. **Приложение 2. Списки точек записи мареограмм.**
  - Таблица 1 – список 82 защищаемых пунктов;
  - Таблица 2 – список 75 прибрежных датчиков Тихоокеанской системы предупреждения о цунами (PTWS);
  - Таблица 3 – список 35 автономных глубоководных датчиков DART;
  - Таблица 4 – список 20 дополнительных виртуальных датчиков DART.
  - Таблица 5 – список 693 виртуальных мареографов, расположенных вдоль защищаемого побережья, из которых 82 соответствуют защищаемым пунктам (см. Таблицу 1), 611 – дополнительным.

В этих таблицах N – порядковый номер мареографа в соответствующей таблице, N-gl – номер мареографа в общем списке мареографов, Lat – географическая долгота реального мареографа, Long – географическая широта реального мареографа, Lat-2min – долгота виртуального мареографа на двухминутной расчетной сетке, Lat-2min – широта виртуального мареографа на двухминутной расчетной сетке, Depth-2min – глубина под виртуальным мареографом (в метрах).

### 3. Приложение 3. Визуальное представление результатов моделирования.

Для каждого модельного источника приведены:

- карты изохрон с шагом 1 час,
- картины максимальных положительных свечений,
- распределения (*гистограммы*) в точках на защищаемом побережье максимальных положительных и отрицательных высот волн (красные и синие столбцы соответственно, вертикальная ось слева, значения величин – в метрах), а также времена регистрации этих экстремальных значений высот волн и регистрации первых возмущений (розовые, голубые и черные линии соответственно, вертикальная ось справа, значения величин – в часах).

## 2 Введение

Для дальневосточного побережья России проблема оценки риска цунами от удаленных землетрясений требует особого рассмотрения (и в этом состоит ее существенное отличие от во многом аналогичной задачи оценки сейсмического риска), поскольку большая часть этого побережья открыта к воздействию волн практически от всех основных цунамигенных зон Тихого океана. Анализ исторических данных показывает, что наиболее опасной из них является южноамериканская зона. Благодаря специфике взаимного расположения области источника и области воздействия (удаленность почти точно на 180°, в силу чего происходит заметная конвергенция фронта цунами при распространении на сфере) и малому затуханию с расстоянием (в пределе по закону  $1/\sqrt{r}$ , минимально возможному с точки зрения закона сохранения энергии), сильнейшие южноамериканские цунами оказывают разрушительное воздействие на побережье Японии, Курильских остров и Камчатки. Дополнительным фактором усиления является также наличие обрывистого побережья и крутого континентального склона у берегов Южной Америки, который служит весьма эффективным отражателем энергии цунами, сравнительно со всеми другими цунамигенными зонами Тихого океана. Однако цунами из других сейсмических зон Тихого океана не должны исключаться из рассмотрения. Отсутствие исторических данных по таким событиям не означает отсутствие реального риска и может быть следствием только временной ограниченности имеющихся рядов наблюдений. С особой силой этот факт проявился во время цунами 2004 года в Индийском океане, когда разрушительные волны от очага землетрясения вблизи побережья Суматры достигли побережья тех стран региона (Кения, Сомали, Мадагаскар), где они никогда не наблюдались прежде.

Для конкретного побережья катастрофическое воздействие волн цунами, возникших в удаленных зонах, является весьма редким событием. В общей статистике цунамигенных событий разрушительные трансокеанские цунами составляют не более 0.5% случаев (Gusiakov, 2009). Для Дальневосточного побережья РФ за все XX столетие реально опасными были только два случая удаленных цунами – Чилийское 1960 года (высоты до 3-4 м по всему Охотскому побережью, 5-6 м на Курилах и восточном побережье Камчатки) и Аляскинское 1964 года (высота до 1 м на о-ве Парамушир). Третье сильнейшее тихоокеанское цунами XX столетия (Аляскинское 1946 года) никак не проявилось на Дальневосточном побережье РФ. Также отсутствуют данные о проявлении другого трансокеанского цунами XX века – Алеутского 1957 года. Между тем, тревоги цунами от удаленных землетрясений за период с 1958 года по 2010 год объявлялись 19 раз, в 16 из которых они оказались ложными. Эта статистика показывает, что проблема удаленных цунами требует тщательного рассмотрения с привлечением всех доступных материалов исторических наблюдений и численного моделирования.

В отчете 2011 года (С.А.Бейзель, В.К.Гусяков, Л.Б.Чубаров и др., 2011) были подробно рассмотрены результаты моделирования распространения цунами в бассейне Тихого океана от системы удаленных модельных очагов с магнитудой  $M_w=9.0$ . Такая система очагов представляет собой предельно возможные по силе тектонические землетрясения на периферии Тихоокеанской сейсмогенной зоны. До 26 декабря 2004 года такие сильные мега-землетрясения были известны только для Тихого океана (1952 г., Камчатка; 1957, Алеуты; 1960, Чили; 1964, Аляска). На основе имеющейся статистики таких землетрясений за весь инструментальный период сейсмологических наблюдений (примерно с 1900 года) сформировалось мнение о том, что такие землетрясения возможны лишь в некоторых особых местах Тихоокеанской сейсмогенной зоны, характеризующихся высокими скоростями субдукции и относительно молодым (менее 40 млн. лет) возрастом океанической литосферы (Ruff, Kanamori, 1980). Индонезийское землетрясение 26.12.2004 продемонстрировало, что другие зоны субдукции также способны генерировать подобные мега-землетрясения. Землетрясение в Тохоку 11.03.2011 превратило это предположение в уверенность. Следовательно, система сейсмических очагов с магнитудой  $M_w=9.0$ , рассмотренная в отчете 2011 года, является весьма реалистичной с точки зрения потенциала возникновения таких землетрясений в основных цунамигенных зонах Тихого океана.

### 3 Результаты моделирования

На предыдущем этапе работ по настоящему договору (см. упомянутый выше отчет 2011 г.) были выполнены вычислительные эксперименты для определения характеристик проявления у побережья России волн цунами от 94 модельных источников магнитуды  $M_w = 9.0$ , с некоторой дискретизацией покрывающих весь Тихоокеанский сейсмический пояс. Соответствующие расчеты проводились с использованием батиметрии, оцифрованной с пространственным шагом 5 угловых минут. В отчетный период такие расчеты были проведены уже с использованием двухминутной сетки. По результатам этих расчетов в зонах, представляющих наибольшую цунамиопасность для дальневосточного побережья России, были добавлены модельные очаги младших магнитуд, для которых также было рассчитано их воздействие на защищаемое побережье, что позволило определить нижние магнитудные пороги цунамиопасных очагов в рассмотренных сейсмических зонах.

Построенный ранее набор из 94 модельных очагов цунамигенных землетрясений магнитудой  $M_w = 9.0$  (см. Рис. 1) можно условно разбить на группы, соответствующие географическим зонам их расположения (в скобках указаны идентификаторы источников, соответствующие их перечислению в Приложении 1):

1. группа Алеут и Северной Америки (1а – 17а),
2. Центрально-американская группа (18а – 30а),
3. Южно-американская группа (31а – 46а),
4. группа Новой Зеландии – Тонга (47а – 65а),
5. группа Папуа-Новой Гвинеи – Соломоновых островов (66а – 73а),
6. Филиппинская группа (74а – 79а),
7. Японская группа (80а – 85а),
8. Курило-Камчатская группа (86а – 90а),
9. группа Гуама (91а – 94а).

Очаги землетрясений 1а, 2а, 86а – 90а фактически являются для Дальневосточного побережья России «пограничными» и «близкими» и были включены в построенную систему для полного покрытия всех возможных сейсмически активных зон Тихого океана, возникновение цунами в которых может угрожать Дальневосточному побережью РФ.

Типичный модельный очаг подводного цунамигенного землетрясения с магнитудой  $M_w = 9.0$  представляет собой площадку разрыва длиной  $L = 430$  км и шириной  $W = 150$  км с величиной подвижки по ней  $D_0 = 11.6$  м. Его сейсмический момент равен  $M_0 = 3.6 \cdot 10^{22}$  н·м,

что по корреляционному соотношению (Kanamori, 1977)  $M_w = (\lg M_0 - 16.1)/1.5$  соответствует заданной магнитуде  $M_w = 9.0$ .

Остальные параметры очагов модельных землетрясений выбирались из соображений соответствия сеймотектоническим особенностям конкретного сейсмогенного региона, вытекающим из концепции поддвига океанических плит под континентальные в районах активных континентальных окраин. При этом азимут простирания очага в большинстве случаев определялся контуром береговой (островной) линии, а угол падения площадки разрыва (угол DE) выбирался совпадающим с главной литосферной границей раздела между надвигающейся континентальной и поддвигающейся океанической корой, меняясь в диапазоне от  $10^\circ$  до  $45^\circ$ . Направление подвижки по плоскости разрыва (угол LA) во всех случаях, кроме очагов западной оконечности Алеуто-Аляскинской группы, имеющих существенную сдвиговую компоненту, принимался равным  $90^\circ$ , что соответствует наиболее цунамиопасному варианту.

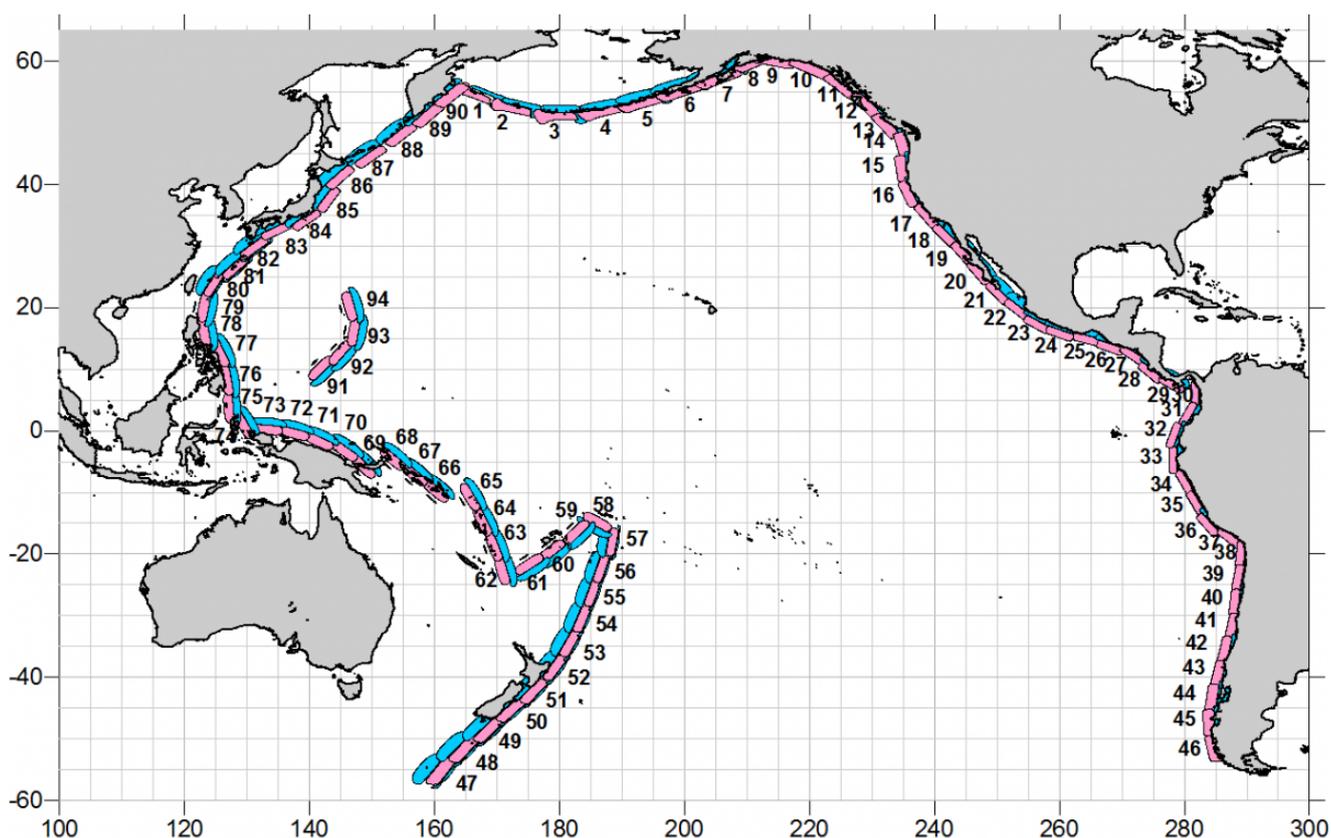
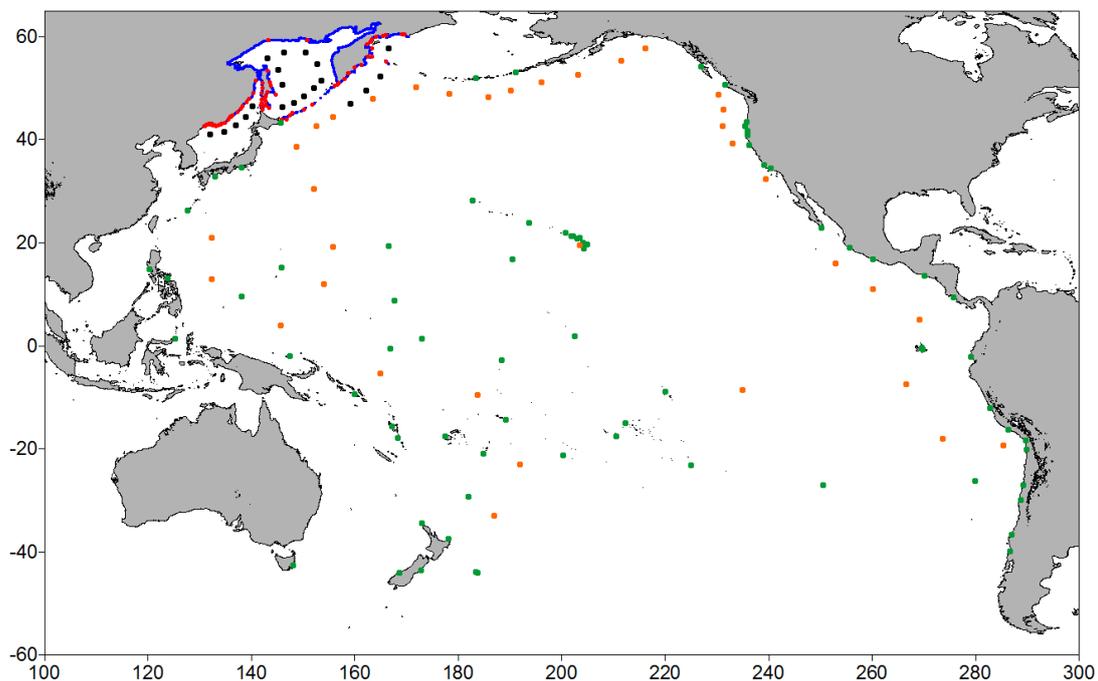


Рис. 1. Схема размещения потенциально опасных очагов цунамигенных землетрясений с магнитудой  $M_w = 9.0$ .

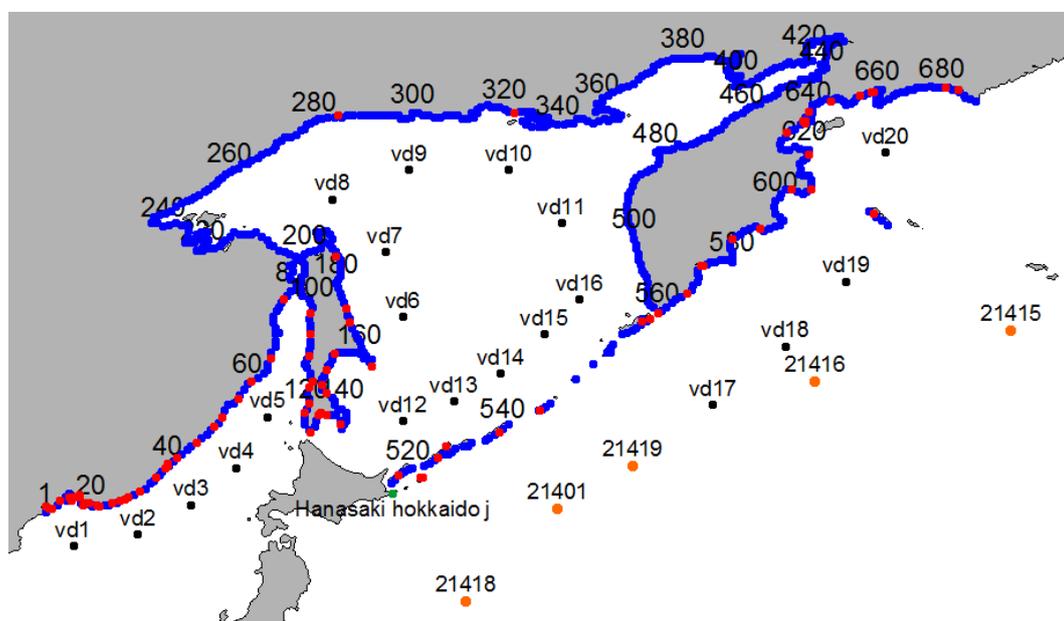
В расчетной области были расставлены 823 виртуальных мареографа – точек записи уровня свободной поверхности, в их числе:

- 82 защищаемых пункта (в числе которых пункты Приморья, западного и восточного побережья Сахалина, Курильских островов, восточного побережья Камчатки, Охотск и Магадан),
- 611 дополнительных виртуальных пунктов, размещенных вдоль всего защищаемого побережья с шагом 20 – 30 км; таким образом, вместе с защищаемыми пунктами виртуальных мареографов на защищаемом побережье оказалось 693;
- 75 виртуальных прибрежных датчиков Тихоокеанской системы предупреждения о цунами (PTWS);
- 35 виртуальных глубоководных датчиков DART;
- 20 дополнительных виртуальных глубоководных датчиков DART, расположенных вблизи защищаемого побережья.

Ниже на рисунках (Рис. 2, Рис. 3) показана схема расположения виртуальных мареографов в расчетной области, а в Приложении 2 (таблицы 1 – 5) приведены их номера (по группам и в общей нумерации), географические координаты (отсутствуют у дополнительных виртуальных мареографов на защищаемом побережье и вблизи него), координаты на расчетной сетке и значения глубин под ними.



**Рис. 2.** Схема расположения виртуальных мареографов в расчетной области. Красные точки – «защищаемые» пункты, синие – дополнительные виртуальные мареографы на защищаемом побережье, зеленые – «прибрежные» датчики, оранжевые – виртуальные датчики DART, черные – дополнительные виртуальные датчики DART.



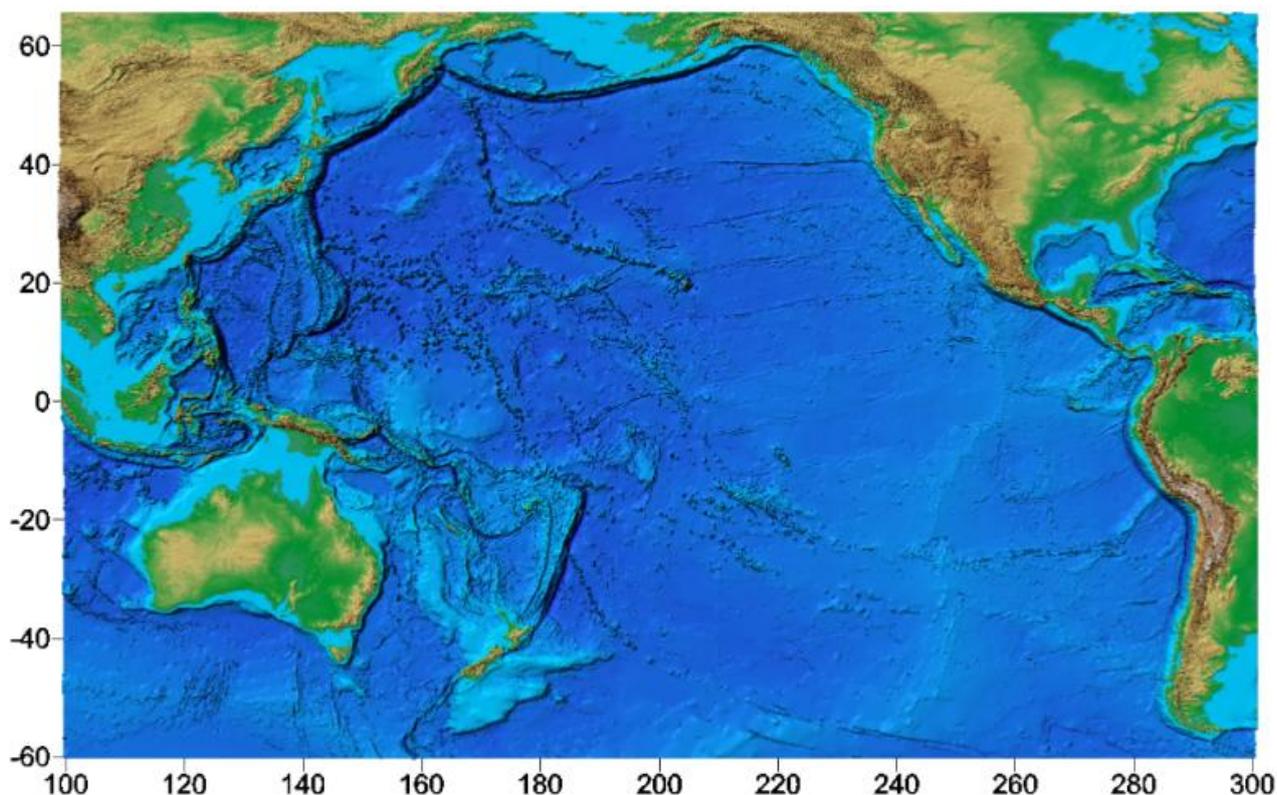
**Рис. 3.** Схема расположения мареографов вблизи защищаемого побережья. Красные точки – «защищаемые» пункты, синие – дополнительные виртуальные мареографы на защищаемом побережье, зеленые – прибрежные датчики PTWS, оранжевые – виртуальные датчики DART, черные – дополнительные виртуальные датчики DART.

Моделирование трансформации удаленных относительно Дальневосточного побережья РФ цунами проводилось в расчетной «тихоокеанской» акватории, ограниченной с запада 100° В.Д., с востока 60° З.Д., с юга 60° Ю.Ш. и с севера 65° С.Ш. (Рис. 4). Соответствующий массив

цифровой батиметрической информации был получен прореживанием одноминутной батиметрии «GEBCO-2009» на регулярную сетку с шагом 2 угловые минуты. Физическое время распространения волны составляло 48 часов.

В результате серийных вычислительных экспериментов были рассчитаны:

- a. мареограммы в точках размещения виртуальных мареографов;
- b. распределения экстремальных (максимальных положительных и отрицательных) значений высот волн цунами в точках размещения виртуальных мареографов;
- c. распределения максимальных положительных и отрицательных высот волн цунами в расчетной акватории (картины свечения).
- d. распределения времен регистрации экстремальных значений высот волн цунами в точках размещения виртуальных мареографов;
- e. распределения времен регистрации первых возмущений в точках размещения виртуальных мареографов и во всех узлах расчетной акватории (ETA (Expected Tsunami Arrival)).



**Рис. 4.** Рельеф дна расчетной области, использованной для расчетов трансформации волн цунами, порожденных удаленными относительно Дальневосточного побережья РФ потенциально опасными очагами цунамигенных землетрясений.

Важной характеристикой, позволяющей наглядно сравнивать различные цунамигенные зоны по степени их опасности для защищаемого побережья в целом, является так называемая интегральная энергетическая характеристика воздействия волн цунами на выбранные точки побережья. Она определяется по формуле

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^N A_i^2},$$

где  $N$  – число «контрольных» расчетных точек,  $A_i$  – размах максимальных колебаний (сумма абсолютных величин максимальных и минимальных значений уровня за все время колебаний, порожденных модельным очагом в  $i$ -ой «контрольной» точке). Ниже на рисунке (Рис. 5) показано распределение такой характеристики по всем 693 виртуальным мареографам ( $N = 693$ ), распределенным вдоль защищаемого побережья, рассчитанное от модельных

источников с магнитудой  $M_w = 9.0$  на сетке с пространственным шагом 5 угловых минут (на предыдущем этапе), а на следующем рисунке (Рис. 6) – на сетке с шагом 2 угловые минуты.

Графики, отрисованные на этих рисунках, убедительно показывают, что наиболее опасными для Дальневосточного побережья России являются волны, порожденные в районах Южной Америки и Папуа Новой Гвинеи и способные проявляться у этого побережья высотами до 2-3 метров. Все другие цунамигенные зоны, в силу их географического расположения и отсутствия выраженных волноводов (подводных хребтов) вдоль трасс распространения цунами, не являются опасными даже при предельно возможной магнитуде подводных субдукционных землетрясений.

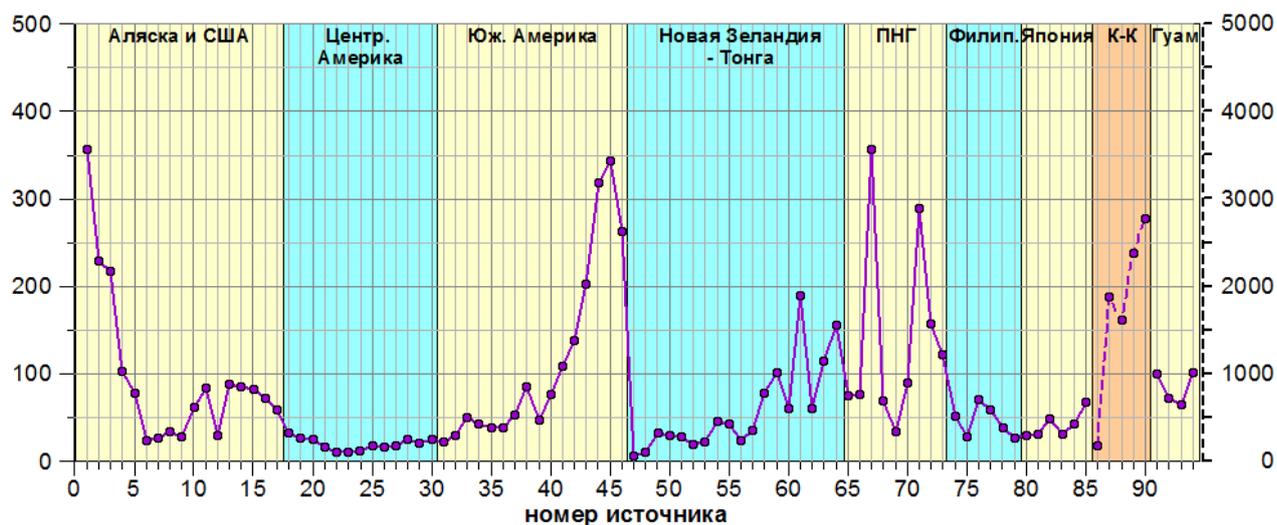


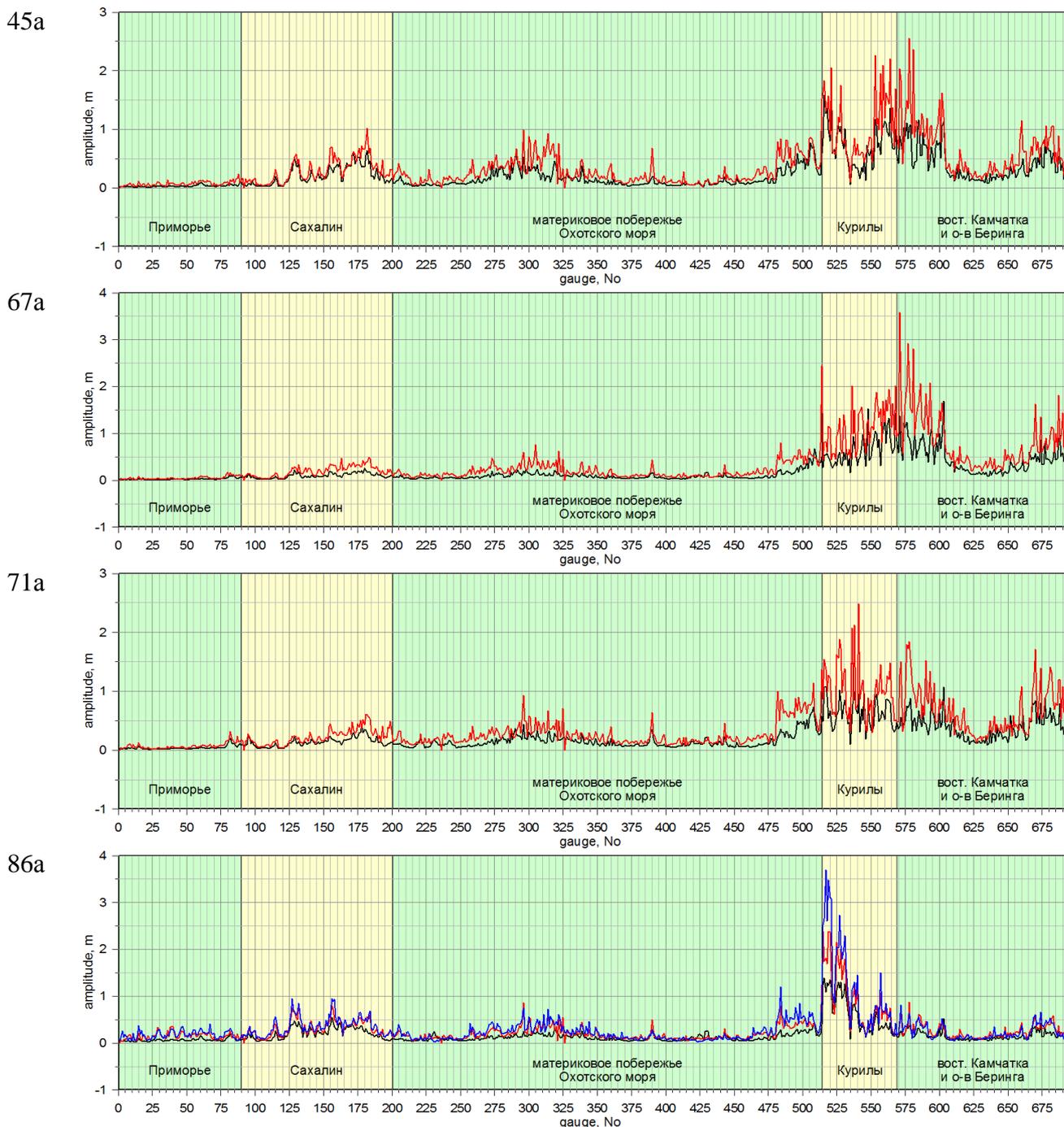
Рис. 5. Интегральная характеристика воздействия различных групп очагов цунамигенных землетрясений на защищаемый участок Дальневосточного побережья РФ, полученная с использованием пятиминутной сетки. На горизонтальной оси отложен номер очага, на левой вертикальной – интегральная характеристика, на правой – эта же характеристика в другом масштабе для очагов Курило-Камчатской группы.



Рис. 6. Интегральная характеристика воздействия различных групп очагов цунамигенных землетрясений на защищаемый участок Дальневосточного побережья РФ, полученная с использованием двухминутной сетки. На горизонтальной оси отложен номер очага, на левой вертикальной – интегральная характеристика, на правой – эта же характеристика в другом масштабе для очагов Курило-Камчатской группы.

Проявление эффекта уточнения расчетной сетки при переходе с пятиминутной сетки на двухминутную выражается в случае моделирования трансокеанских цунами так же, как и в расчетах для модельных акваторий и для малых акваторий (см отчеты по НИР за 2008 г.). Как

показывают распределения **максимальных** значений высот волн в мареографных пунктах вдоль защищаемого побережья, этот эффект состоит в заметном увеличении высот волн при измельчении сетки (Рис. 7, Приложение 4).



**Рис. 7.** Сравнение распределений высот волн цунами, рассчитанных на сетках различной детальности вдоль защищаемого Дальневосточного побережья России от «экстремальных» гипотетических цунамигенных землетрясений: 45а (южноамериканская группа), 67а, 71а (группа Папуа – Новой Гвинеи – Соломоновых островов). Идентификаторы модельных очагов цунамигенных землетрясений указаны слева, красные линии соответствуют расчету на двухминутной сетке, черные – на пятиминутной. Для «ближнего» очага 86а (Курило-Камчатская группа) приведены также результаты, рассчитанные на одноминутной сетке в «малой» расчетной области.

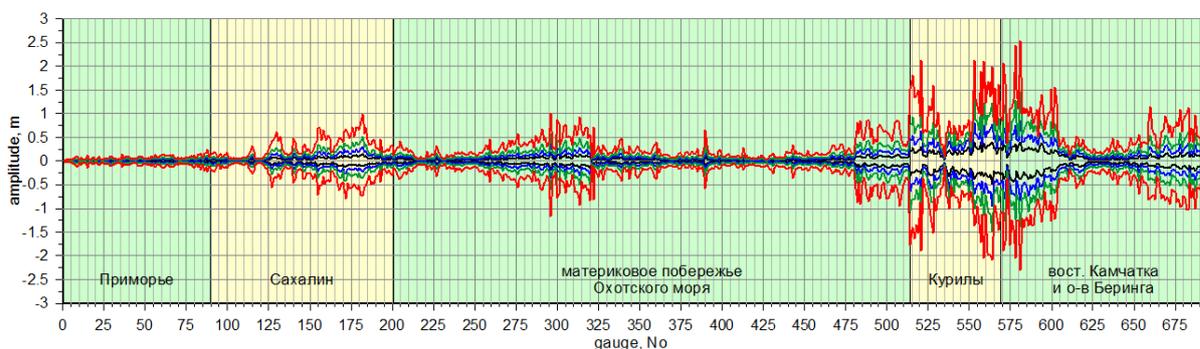
Содержание работ отчетного этапа включало также поиск ответа на вопрос о величине нижней границы магнитуд южноамериканских и новогвинейских землетрясений, опасных для Дальневосточного побережья РФ. С целью получения ответа на этот вопрос была проведена

серия расчетов для удаленных очагов с меньшими магнитудами, расположенных в наиболее опасных для защищаемого побережья зонах. Эпицентры таких «пробных» очагов совпадали с эпицентрами источников с магнитудой 9.0 (45а, 67а и 71а). Именно эти очаги порождали наибольшие среди удаленных очагов значения интегральной характеристики (Рис. 5, Рис. 6). Для источников с промежуточными магнитудами кроме координат эпицентра сохранялись определяющие углы механизма землетрясения, а значения размеров площадки, величин подвижки и глубин залегания изменялись в соответствии со следующей таблицей (Таблица 1). Расчеты проводились на сетке с шагом по пространству 2 угловые минуты, на 48 часов физического времени.

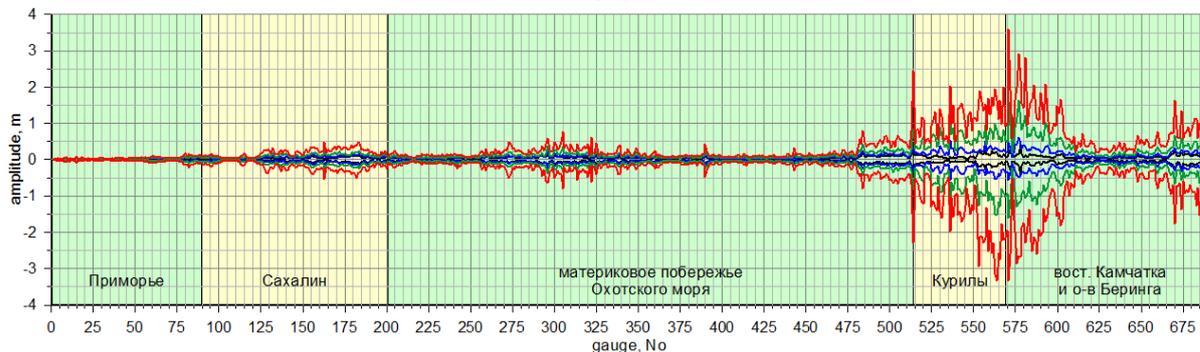
Таблица 1.

| Магнитуда<br>$M_w$ | Длина разрыва<br>$L$ (км) | Ширина разрыва<br>$W$ (км) | Величина подвижки<br>$D_0$ (м) | Глубина залегания<br>$H_{гор}$ (км) |
|--------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 8.4                | 215                       | 75                         | 6.1                            | 10                                  |
| 8.6                | 250                       | 100                        | 8.0                            | 10                                  |
| 8.8                | 300                       | 120                        | 10                             | 10                                  |

45а



67а



71а

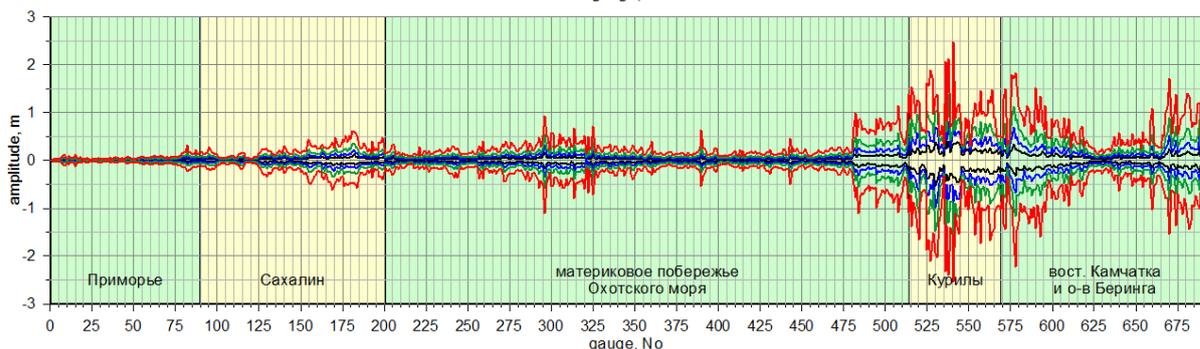


Рис. 8. Распределения высот волн цунами вдоль защищаемого Дальневосточного побережья России от «экстремальных» гипотетических цунамигенных землетрясений: 45а (южноамериканская группа), 67а, 71а (группа Папуа – Новой Гвинеи – Соломоновых островов). Идентификатор модельного очага цунамигенного землетрясения указан слева, красные линии соответствуют очагам с магнитудой 9.0, зеленые – 8.8, синие – 8.6, черные – 8.4.

Результаты этих расчетов представлены в виде распределений максимальных и минимальных высот волн вдоль защищаемого побережья (Ошибка! Источник ссылки не

**найден.)** от «экстремальных» гипотетических цунамигенных землетрясений: 45a (южноамериканская группа), 67a, 71a (группа Папуа – Новой Гвинеи – Соломоновых островов). На этом рисунке идентификаторы модельных очагов цунамигенных землетрясений указаны слева, красные линии соответствуют очагам с магнитудой 9.0, зеленые – 8.8, синие – 8.6, черные – 8.4. Из представленных результатов видно, что магнитуда 9.0 является своего рода пороговым значением для создания опасных волн цунами на всем протяжении Дальневосточного побережья РФ. Уже при снижении ее на 0.2 балла (до значения 8.8) расчетные высоты волн становятся менее 1 метра, а при дальнейшем снижении магнитуды падают до нескольких десятков сантиметров. Причем такие высоты получаются только для восточного побережья Курило-Камчатской зоны, открытого в сторону океана. Для всех других участков защищаемого побережья (Приморье, Сахалин, Охотское море, западное побережье Камчатки) расчетные высоты не превышают нескольких десятков сантиметров для всего рассмотренного набора магнитуд.

## 4 Заключение

1. Таким образом, можно сделать *вывод* о том, что даже в наиболее опасных по географическому расположению цунамигенных зонах (южноамериканской и новогвинейской) реальную опасность для Дальневосточного побережья России представляют **только предельно возможные по силе подводные землетрясения с малой глубиной очага и магнитудой 9.0** или выше, имеющие при этом механизм типа пологого надвига, при котором возбуждение цунами выполняется достаточно эффективно. Все другие типы механизма очага, а также глубокофокусные землетрясения (с глубинами более 100 км) не способны создать опасное для удаленных побережий цунами даже при предельно возможных магнитудах.
2. Учитывая возможную погрешность при оперативном определении магнитуды, которая может достигать 0.2-0.4 балла, на основании выполненных расчетов можно рекомендовать **магнитуду 8.5** в качестве порогового значения для введения тревожного режима при обработке удаленных землетрясений. Непосредственное же объявление тревоги цунами и выполнение защитных мероприятий, в частности, эвакуация населения из прибрежной зоны, должна выполняться при получении подтверждения от зарубежных служб предупреждения о цунами о реальных высотах волн, зарегистрированных достаточно плотной в настоящее время мареографной сетью международной СПЦ на Тихом океане. Приведенные выше выводы подтверждаются также анализом результатов наблюдения цунами от землетрясения с  $M_w=8.8$  возникшего 28.02.2010 в центральном Чили (район города Маулин). На ближайшем к очагу побережье это цунами было разрушительным с высотами волн, достигавшими 25-29 метров. Однако максимальная высота волн, достигших побережья Японии и Курило-Камчатской зоны, не превышала 0.5 метров, на Гавайях – 1 метра. Объявленная ЖМА тревога цунами была воспринята населением как ложная, что сыграло свою негативную роль при тревоге цунами от землетрясения Тохоку 11 марта 2011 года.
3. Учитывая хорошо известную и вновь подтвержденную тенденцию существенного роста расчетных амплитуд при измельчении, до известного предела, расчетных сеток, исполнителями настоятельно рекомендуется проведение **уточняющих расчетов** на по крайней мере одноминутных, а лучше полуминутных сетках.

## 5 Литература

1. Gusiakov V.K. Tsunami history – recorded // In: A.Robinson, E.Bernard (Eds.). The Sea, Vol.15, Tsunamis, Harvard University Press, Cambridge, USA, 2009, P. 23–53.
2. С.А.Бейзель, В.К.Гусяков, Л.Б.Чубаров и др. Моделирование и анализ характеристик проявления удаленных цунами у защищаемых пунктов Дальневосточного побережья Российской Федерации // Отчет по первому этапу договора на выполнение НИОКР для государственных нужд по Федеральной целевой программе «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года». ИВТ СО РАН, Новосибирск, 2011, 18 стр.
3. Ruff L., Kanamori H. Seismicity and subduction process // Phys. Earth Planet. Int., 1980, 23, P. 240–252.
4. Kanamori H. The energy released in great earthquakes // J.Geoph. Res., 1977, 82, P. 2981–2987.