

ОТЧЕТ ЗА 2012 ГОД ПО ПРОЕКТУ РФФИ 12-05-00894-а

РАСШИРЕННАЯ АННОТАЦИЯ ОТЧЕТА

Исследования, выполненные в 2012 г. по проекту, были связаны с получением новых знаний о характеристиках проявления у Дальневосточного побережья РФ катастрофических волн цунами, вызванных удаленными от этого побережья цунамигенными землетрясениями.

Оценка риска цунами от удаленных землетрясений для Дальневосточного побережья России требует особого рассмотрения, поскольку большая часть этого побережья открыта к воздействию волн практически от всех основных цунамигенных зон Тихого океана. Вместе с тем, имеющиеся исторические каталоги наблюдений цунами на Дальневосточном побережье России и построенные на их основе базы данных дают весьма ограниченный набор сведений о проявлениях цунами на Дальневосточном побережье России от удаленных очагов. Эти обстоятельства убедительно обосновывают необходимость и актуальность предусмотренных проектом работ и высокую значимость использования методов математического моделирования для восполнения пробелов, имеющих в исторических данных. Прежде всего нам потребовалось определить перечень потенциально опасных для Дальневосточного побережья России модельных удаленных очагов цунамигенных землетрясений. Наиболее опасные из них имели магнитуду $M_w = 9.0$. Такой перечень был составлен нами ранее и включил 94 модельных очага, условно разбитых на группы, соответствующие географическим зонам их расположения:

1. группа Алеут и Северной Америки,
2. Центрально-американская группа,
3. Южно-американская группа,
4. группа Новой Зеландии – Тонга,
5. группа Папуа-Новой Гвинеи – Соломоновых островов,
6. Филиппинская группа,
7. Японская группа,
8. Курило-Камчатская группа,
9. группа Гуама.

Результаты вычислительного моделирования показали, 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.

Дополнительные исследования были проведены для того, чтобы определить величину нижней границы магнитуд южноамериканских и новогвинейских землетрясений, опасных для Дальневосточного побережья РФ. При этом начальный перечень был дополнен расположенными в наиболее цунамиопасных для побережья России сейсмических зонах очагами меньших магнитуд – $M_w = 8.4$, $M_w = 8.6$ и $M_w = 8.8$. Оказалось, 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 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.

Адекватная интерпретация результатов численного моделирования требует анализа их зависимости от параметров вычислительного алгоритма, из которых очень важным является шаг дискретизации расчетной области. Модельные расчеты показали, что при измельчении сетки (с шага 5 угловых минут на шаг 2 угловые минуты) наблюдается заметное увеличение высот волн. В связи с этим было выполнено обновление содержания специализированной Базы 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.

На заключительном этапе исследований с использованием исторических сведений, натуральных данных и результатов вычислительных экспериментов был проведен анализ проявления удаленных и ближних цунами на охотоморском побережье. В ходе постановки задач для вычислительных экспериментов были выбраны модельные землетрясения, близкие по характеру Камчатским (1737 и 1952 гг.) цунами, Чилийскому, Аляскинскому и Японскому (Тохоку) цунами (соответственно 1960, 1964 и 2011 гг.). Вместе с этими историческими цунами были рассмотрены также гипотетические цунами, очаги которых были расположены вблизи Папуа-Новой Гвинеи и Соломоновых островов. Анализ распределений экстремальных характеристик волн цунами, порожденных удаленными относительно защищаемого побережья цунамигенными землетрясениями, вдоль побережья Охотского моря выполнялся по результатам моделирования наиболее опасных источников с магнитудой $M_w = 9.0$ – «чилийского» и «гвинейского» очагов и очага из группы Соломоновых островов. Этот анализ показал, что наибольшую опасность для охотоморского побережья представляют источники, расположенные у тихоокеанского побережья Чили вблизи очага исторического цунами 1960 г.

Наличие ледяного покрова может усиливать эффект воздействия цунами на берег (увеличение дальности заливания, вынос тяжелого льда на берег). Дополнительные опасности возникают при взломе берегового припая в периоды нахождения там людей (подледный лов рыбы). Этот эффект может иметь место при очень незначительной высоте самого цунами (первые десятки сантиметров).

Редкость (малая повторяемость) цунамигенных явлений в Охотском море (сравнительно с соседней Курило-Камчатской зоной) порождает недооценку реальной опасности цунами в этом регионе. Следствием этого является беспечность населения при нахождении в береговой зоне и нежелание местных властей заниматься разработкой превентивных мероприятий по защите от цунами. Для получения оценок реальной угрозы цунами в Охотском море необходимо выполнение целенаправленных исследований по поиску и систематизации исторических сведений о проявлениях цунами, полевых экспедиционных работ по поиску следов палеоцунами на охотоморском побережье, идентификации и оценке сейсмогенного потенциала активных разломов в прибрежной зоне, а также численное моделирование распространения цунами в бассейне Охотского моря, порождаемого сейсмогенными, вулканогенными и обвальными источниками.

Форма 501. КРАТКИЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ

1.1. Номер проекта	12-05-00894
1.2. Руководитель проекта	Чубаров Леонид Борисович
1.3. Название проекта	Оценка воздействия удаленных цунами на Дальневосточное побережье России
1.4. Вид конкурса	а - Инициативные проекты
1.5. Год представления отчета	2013
1.6. Вид отчета	этап 2012 года
1.7. Аннотация	

Перечень важнейших результатов, полученных на первом году выполнения проекта, самым непосредственным образом связан с исследованиями, начатыми исполнителями на предыдущем этапе работ, частично поддерживавшихся РФФИ в 2009 – 2011 гг.

В этот перечень входят

* построение уточненного набора модельных удаленных очагов цунамигенных землетрясений магнитудой $M_w = 9.0$, потенциально опасных для Дальневосточного побережья России, дополненный на основании результатов моделирования в наиболее цунамиопасных для побережья России сейсмических зонах очагами меньших магнитуд – $M_w = 8.4$, $M_w = 8.6$ и $M_w = 8.8$;

* уточнение за счет применения более детальной сетки с пространственным шагом 2 угловые минуты характеристик проявления в акватории Тихого океана и на защищаемом побережье волн цунами, вызванных построенной системой модельных удаленных сейсмических источников и рассчитанных по результатам численного моделирования за период 48 часов физического времени распространения волны;

* обновление содержания специализированной Базы 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;

* анализ проявления удаленных и ближних цунами на охотоморском побережье.

В частности, анализ проявлений в Охотском море сильнейших трансокеанских цунами показывает, что опасными для него могут быть только очаги цунамигенных землетрясений класса M_9 , расположенные непосредственно у южного побережья Камчатки и в районе Курильской гряды. Что касается удаленных очагов сильнейших землетрясений, то из всего тихоокеанского сейсмического пояса наиболее опасны южно-американские землетрясения, способные вызвать колебания уровня с размахом до 5 м по всему побережью Охотского моря. Результаты численного моделирования удаленных цунами обнаруживают еще одну зону (Новая Гвинея, Соломоновы острова), очаги в которой могут быть опасны для нашего охотоморского побережья, так как в силу особенностей распространения энергии цунами, один из боковых лепестков диаграммы направленности при этом оказывается ориентирован в сторону Курильских проливов. Эти результаты, полученные в ходе расчетов на сетке с шагом 2 угловые минуты, приводят к выводу о том, что наибольшую опасность представляют источники, расположенные у тихоокеанского побережья Чили вблизи очага исторического цунами 1960 г.

1.8. Полное название организации, где реализуется проект

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук

"Исполнители проекта согласны с опубликованием (в печатной и электронной формах) аннотаций научных отчетов и перечня публикаций по проекту в авторской редакции"

Подпись руководителя проекта

Форма 502. КРАТКИЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

2.1. Номер проекта

12-05-00894

2.2. Руководитель проекта

Chubarov Leonid Borisovich

2.3. Название проекта

Assessment of impact of far-field tsunamis on the Far-East coast of Russia

2.4. Год представления отчета

2013

2.5. Вид отчета

этап 2012 года

2.6. Аннотация

The most important results obtained in the first year of the project, include:

- * construction of an improved set of model sources of remote tsunamigenic earthquakes with magnitude $M_w = 9.0$, which are potentially dangerous for the Far East coast of Russia; this set was completed by sources with smaller magnitude - $M_w = 8.4$, $M_w = 8.6$ and $M_w = 8.8$ from the seismic zones with the greatest tsunami risk;

- * refinement (through using more detailed spatial grid with a step of 2 arc minutes) of characteristics of manifestation in the Pacific Ocean and on the protected coast of tsunami waves caused by constructed system of model remote seismic sources and calculated within the numerical simulation for the period 48 hours of physical time of wave propagation;

- * Update of the specialized database of tsunami manifestation in the Pacific Ocean and on the protected coast, calculated within the numerical simulation for the period 48 hours of physical time propagation using the computational grid with a spatial step of 2 arc minutes;

- * Analysis of remote and nearby tsunami manifestation on the coast of the Sea of Okhotsk.

In particular, the analysis of the strongest transoceanic tsunami manifestation in the Sea of Okhotsk shows that it is only class M9 tsunamigenic earthquakes located just off the southern coast of Kamchatka and the Kuril Islands, that can be dangerous in this Sea. As for remote strong earthquakes, the most dangerous sources of the Pacific seismic belt are the South American earthquakes that can cause way fluctuations up to 5 m along the coast of the Okhotsk Sea. The results of numerical modeling distant tsunamis show another area (New Guinea and Solomon Islands), tsunamigenic sources of which can be dangerous to Okhotsk Sea coast, since one of the side-lobe of distribution of tsunami energy is found to be oriented in the direction of the Kurile islands. These results, obtained within the calculations on the grid with a 2-arcmin step, lead to the conclusion that the most dangerous remote sources for Russian coast are located on the Pacific coast of Chile near the source of the historical tsunami in 1960.

2.7. Полное название организации, где реализуется проект

Institute of Computational Technologies SB RAS

Подпись руководителя проекта

Форма 503. РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ

3.1. *Номер проекта*

12-05-00894

3.2. *Название проекта*

Оценка воздействия удаленных цунами на Дальневосточное побережье России

3.3. *Коды классификатора, соответствующие содержанию фактически проделанной работы (в порядке значимости)*

05-513 01-223

3.4. *Объявленные ранее цели проекта на 2012 год*

Интерпретация проведенных ранее результатов вычислительных экспериментов с целью формирования необходимых наборов батиметрической информации, оптимальных наборов параметров вычислительных алгоритмов и программ.

Сбор и систематизация исторических сведений об очагах удаленных цунамигенных землетрясений.

Определение основного набора магнитуд для описания удаленных цунамигенных землетрясений различной силы и выбор модельных механизмов очагов для каждого магнитудного диапазона.

Создание сеймотектонической схемы расположения очагов удаленных цунамигенных землетрясений в основных сейсмогенных зонах акватории Тихого океана, угрожающих защищаемому побережью России.

Проведение при необходимости отдельных модельных уточняющих расчетов, в том числе, с использованием нелинейно-дисперсионных моделей.

3.5. *Степень выполнения поставленных в проекте задач*

Цели этапа 2012 г. в целом достигнуты, сформулированные планом задачи решены.

3.6. *Полученные важнейшие результаты*

Перечень важнейших результатов, полученных на первом году выполнения проекта, самым непосредственным образом связан с исследованиями, начатыми исполнителями на предыдущем этапе работ, частично поддерживавшихся РФФИ в 2009 – 2011 гг.

В этот перечень входят

* построение уточненного набора модельных удаленных очагов цунамигенных землетрясений магнитудой $M_w = 9.0$, потенциально опасных для Дальневосточного побережья России, дополненный на основании результатов моделирования в наиболее цунамиопасных для побережья России сейсмических зонах очагами меньших магнитуд – $M_w = 8.4$, $M_w = 8.6$ и $M_w = 8.8$;

* уточнение за счет применения более детальной сетки с пространственным шагом 2 угловые минуты характеристик проявления в акватории Тихого океана и на защищаемом побережье волн цунами, вызванных построенной системой модельных удаленных сейсмических источников и рассчитанных по результатам численного моделирования за период 48 часов физического времени распространения волны;

* обновление содержания специализированной Базы 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;

* анализ проявления удаленных и ближних цунами на охотоморском побережье.

Заметим, что цельность изложения требует от авторов использования некоторых рисунков, из отчетов по выполнявшимся ранее исследовательским проектам.

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

показанные также на рисунке):

10. группа Алеут и Северной Америки (1а – 17а),
11. Центрально-американская группа (18а – 30а),
12. Южно-американская группа (31а – 46а),
13. группа Новой Зеландии – Тонга (47а – 65а),
14. группа Папуа-Новой Гвинеи – Соломоновых островов (66а – 73а),
15. Филиппинская группа (74а – 79а),
16. Японская группа (80а – 85а),
17. Курило-Камчатская группа (86а – 90а),
18. 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.

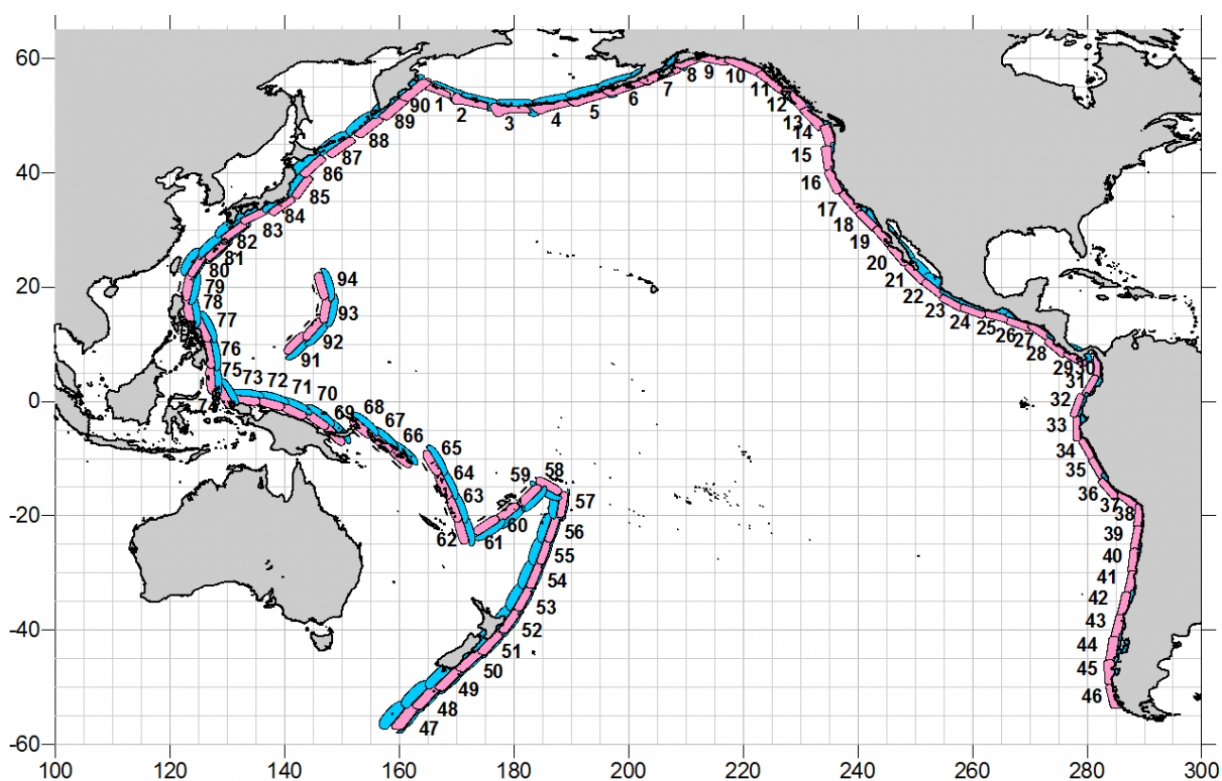


Рисунок 1. Схема размещения потенциально опасных очагов цунамигенных землетрясений с магнитудой $M_w = 9.0$.

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 линии, а угол падения площадки разрыва (угол δ) выбирался совпадающим с главной литосферной границей раздела между надвигающейся

континентальной и поддвигающейся океанической корой, меняясь в диапазоне от 10° до 45° . Направление подвижки по плоскости разрыва (угол λ) во всех случаях, кроме очагов западной оконечности Алеуто-Аляскинской группы, имеющих существенную сдвиговую компоненту, принимался равным 90° , что соответствует наиболее цунамиопасному варианту.

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 (Рисунок 2, Рисунок 3) показана схема расположения виртуальных мареографов в расчетной области.

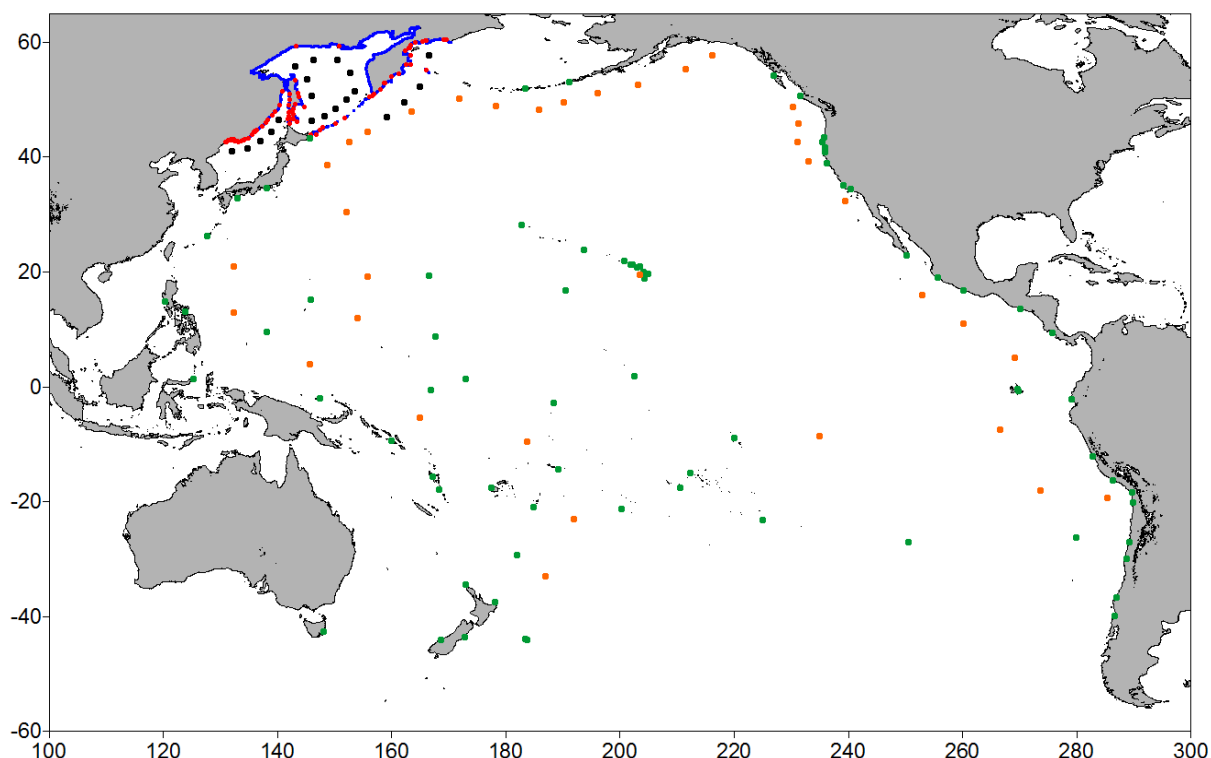


Рисунок 2. Схема расположения виртуальных мареографов в расчетной области. Красные точки – «защищаемые» пункты, синие – дополнительные виртуальные мареографы на защищаемом побережье, зеленые – «прибрежные» датчики, оранжевые – виртуальные датчики DART, черные – дополнительные виртуальные датчики DART.

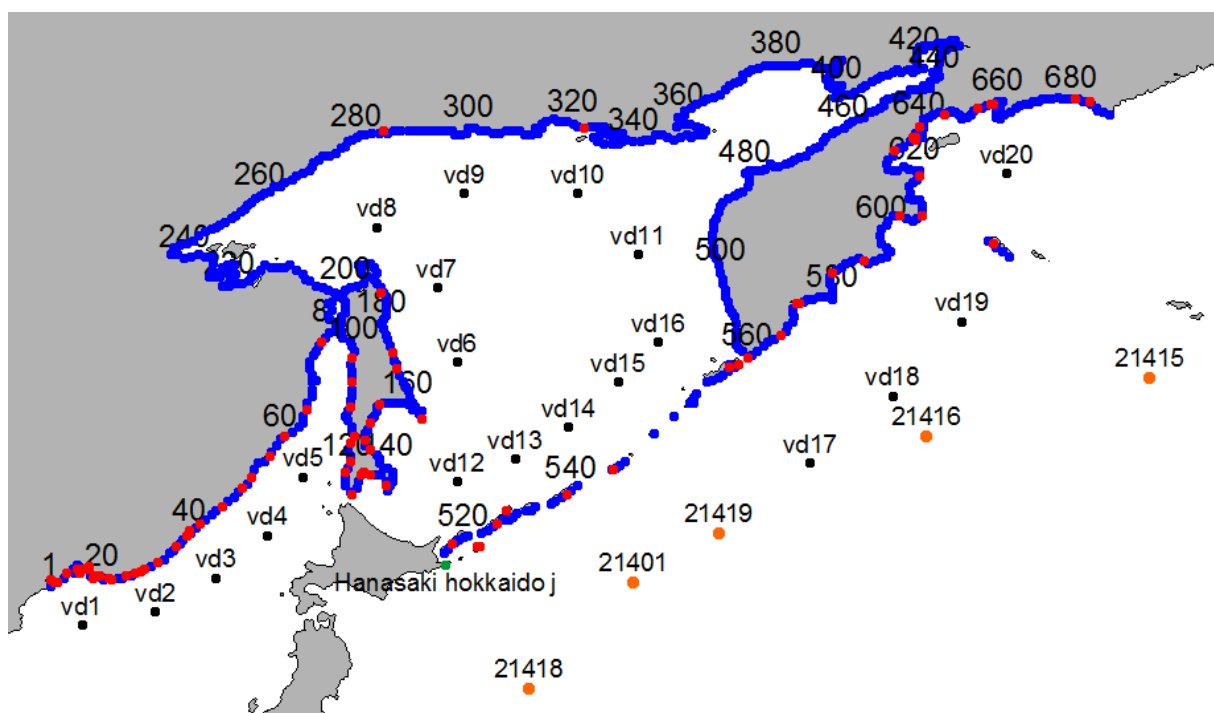


Рисунок 3. Схема расположения мареографов вблизи защищаемого побережья. Красные точки – «защищаемые» пункты, синие – дополнительные виртуальные мареографы на защищаемом побережье, зеленые – прибрежные датчики PTWS, оранжевые – виртуальные датчики DART, черные – дополнительные виртуальные датчики DART.

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 уже известном рисунке (Рисунок 4) 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 «новом» рисунке (Рисунок 5) – на сетке с шагом 2 угловые минуты, полученное в отчетный период.

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. 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.

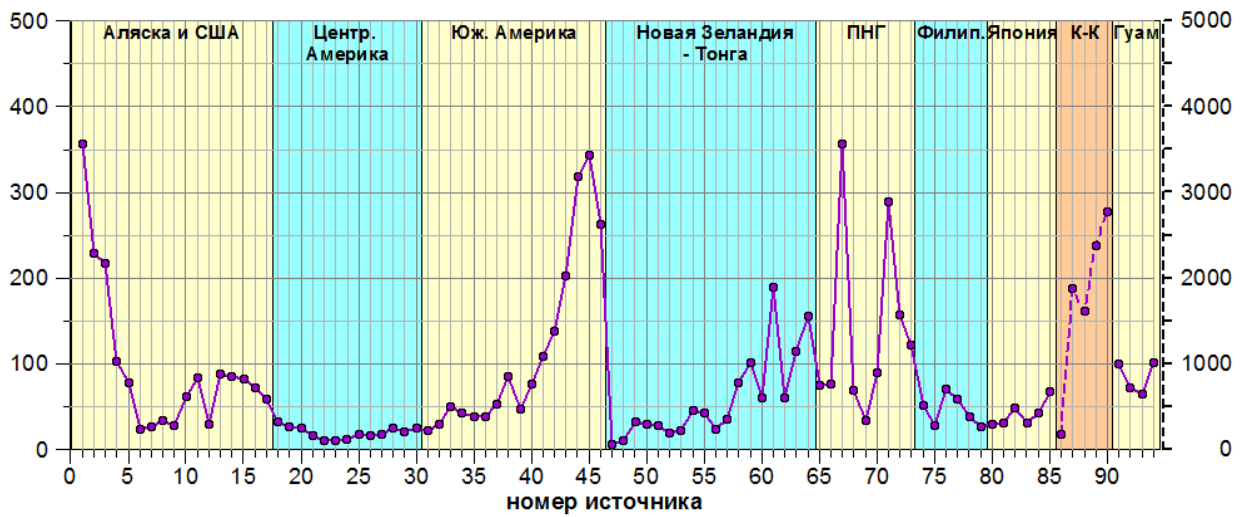


Рисунок 4. Интегральная характеристика воздействия различных групп очагов цунамигенных землетрясений на защищаемый участок Дальневосточного побережья РФ, полученная с использованием *пятиминутной* сетки. На горизонтальной оси отложен номер очага, на левой вертикальной – интегральная характеристика, на правой – эта же характеристика в другом масштабе для очагов Курило-Камчатской группы.

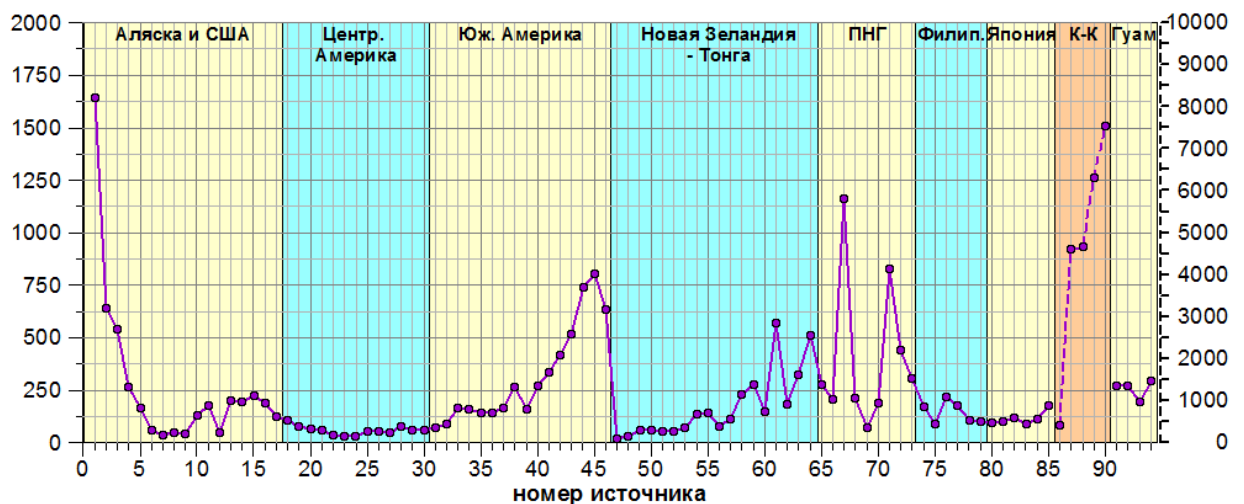


Рисунок 5. Интегральная характеристика воздействия различных групп очагов цунамигенных землетрясений на защищаемый участок Дальневосточного побережья РФ, полученная с использованием *двухминутной* сетки. На горизонтальной оси отложен номер очага, на левой вертикальной – интегральная характеристика, на 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. Как показывают распределения **максимальных** значений высот волн в мареографных пунктах вдоль защищаемого побережья, этот эффект состоит в заметном увеличении высот волн при измельчении сетки (Рисунок б).

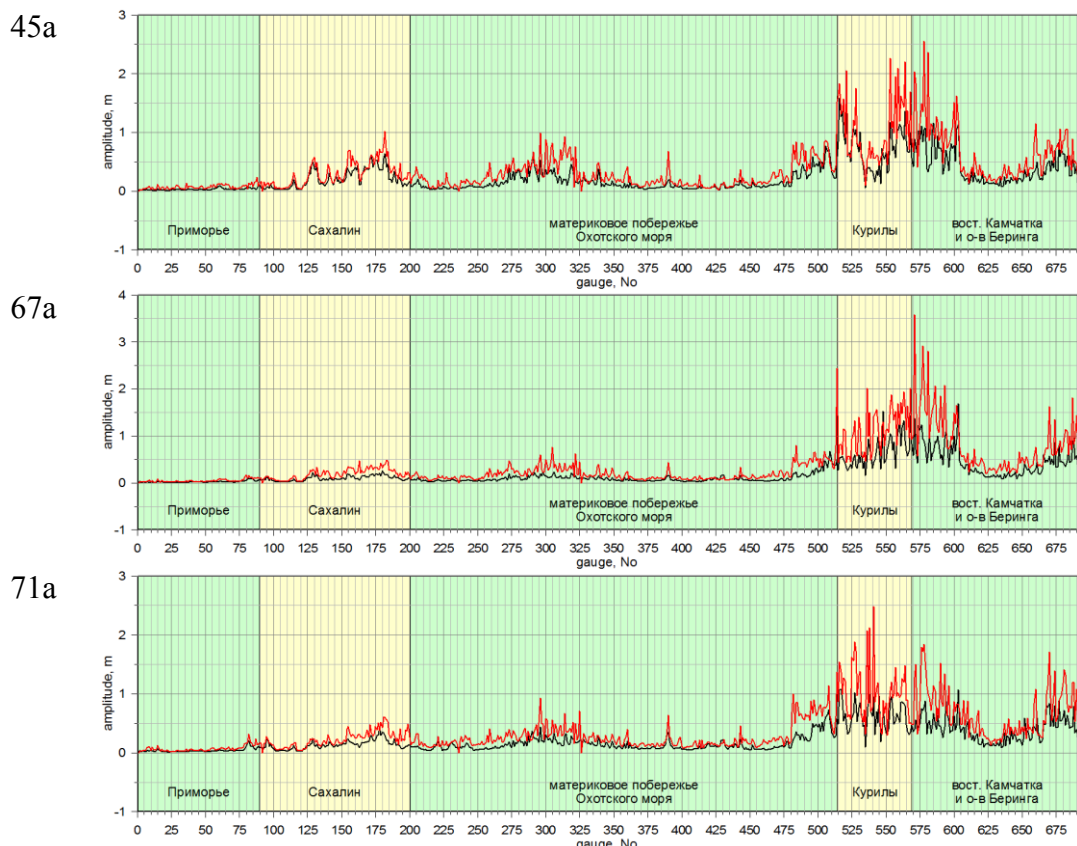


Рисунок 6. Сравнение распределений высот волн цунами, рассчитанных на сетках различной детальности вдоль защищаемого Дальневосточного побережья России от «экстремальных» гипотетических цунамигенных землетрясений: 45а (южноамериканская группа), 67а, 71а (группа Папуа – Новой Гвинеи – Соломоновых островов). Идентификаторы модельных очагов цунамигенных землетрясений указаны слева, красные линии соответствуют расчету на двухминутной сетке, черные – на пятиминутной.

Одним из вопросов, стоявших перед исполнителями проекта, был 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 (Рисунок 4, Рисунок 5).

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 (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Расчеты проводились на сетке с шагом по пространству 2 угловые минуты, на 48 часов физического времени.

Таблица 1.

Магнитуда M_w	Длина разрыва L (км)	Ширина разрыва W (км)	Величина подвижки D_0 (м)	Глубина залегания H_{top} (км)
8.4	215	75	6.1	10
8.6	250	100	8.0	10
8.8	300	120	10	10

Результаты этих расчетов представлены в виде распределений максимальных и минимальных высот волн вдоль защищаемого побережья (Рисунок 7) от «экстремальных»

гипотетических цунамигенных землетрясений: 45а (южноамериканская группа), 67а, 71а (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.

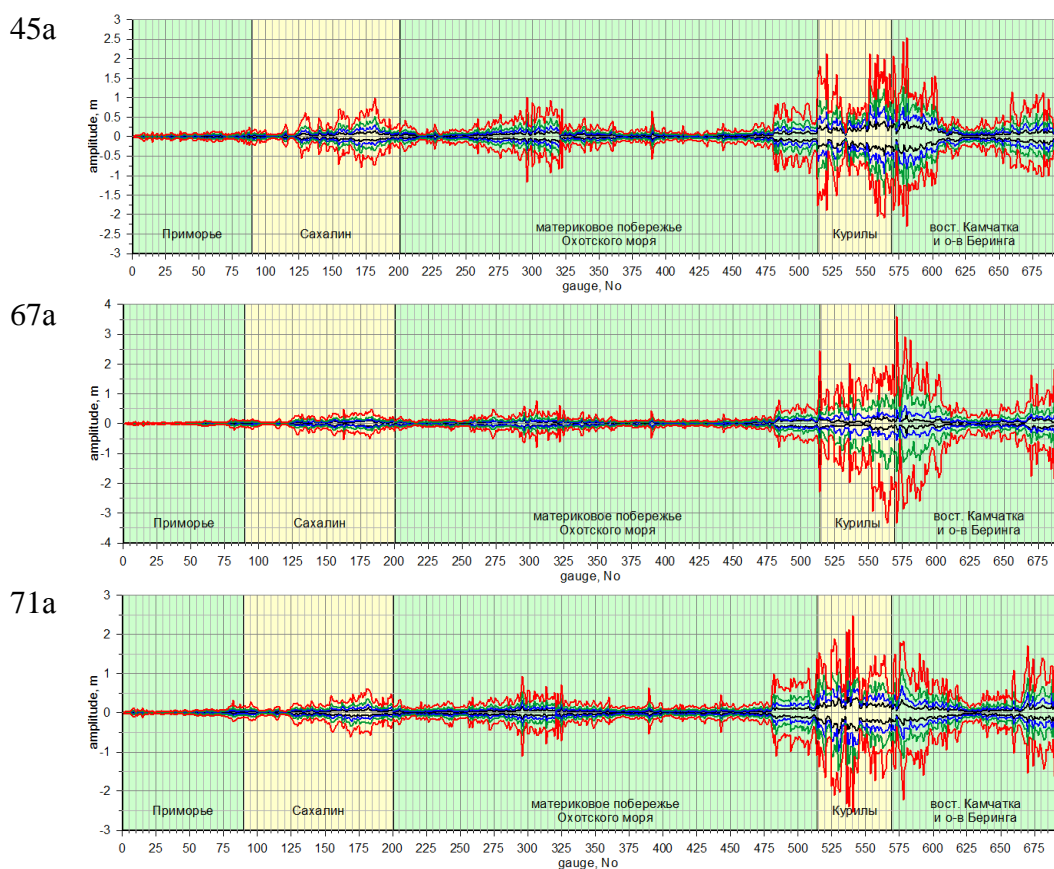


Рисунок 7. Распределения высот волн цунами вдоль защищаемого Дальневосточного побережья России от «экстремальных» гипотетических цунамигенных землетрясений: 45а (южноамериканская группа), 67а, 71а (группа Папуа – Новой Гвинеи – Соломоновых островов). Идентификатор модельного очага цунамигенного землетрясения указан слева, красные линии соответствуют очагам с магнитудой 9.0, зеленые – 8.8, синие – 8.6, черные – 8.4.

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.

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 JMA тревога цунами была воспринята населением как ложная, что сыграло свою негативную роль при тревоге цунами от землетрясения Тохоку 11 марта 2011 года.

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.

Работы по оценке цунамиопасности побережья Охотского моря состояли в подборе и анализе исторических сведений о проявлении у защищаемого побережья волн цунами, порожденных «ближними» и «удаленными» относительно этого побережья цунамигенными землетрясениями, в численном моделировании исторических событий, воздействие которых на побережье оказалось значительным, в конструировании набора модельных очагов гипотетических цунамигенных землетрясений и в воспроизведении соответствующих волн цунами с целью определения экстремальных характеристик воздействия таких цунами на берега. При этом под защищаемым побережьем понимались фрагменты, административно принадлежащие Хабаровской, Магаданской и Сахалинской областям, а также Камчатскому краю (западное побережье п-ва Камчатка). Схема расстановки виртуальных мареографов и их соответствие защищаемым пунктам показано на рисунках ниже (Рисунок 8, Рисунок 9).

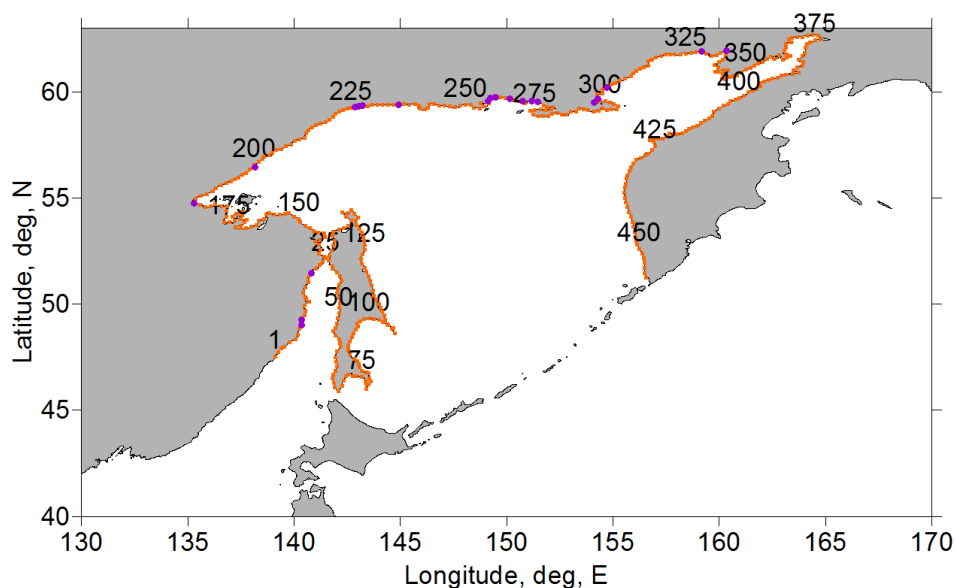


Рисунок 8. Схема размещения виртуальных мареографов вдоль защищаемого побережья Охотского моря и прилегающих акваторий.

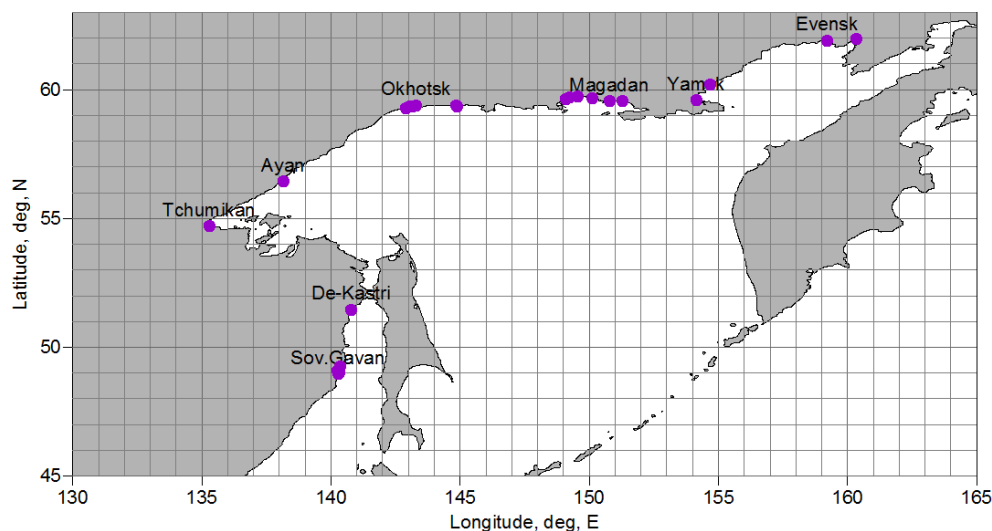


Рисунок 9. Схема соответствия виртуальных мареографов и защищаемых пунктов.

В ходе постановки задач для вычислительных экспериментов исполнителями были выбраны модельные землетрясения, близкие по характеру Камчатским (1737 и 1952 гг.) цунами, Чилийскому, Аляскинскому и Японскому (Тохоку) цунами (соответственно 1960, 1964 и 2011 гг.). Вместе с этими историческими цунами были рассмотрены также гипотетические цунами, очаги которых были расположены вблизи Папуа-Новой Гвинеи и Соломоновых островов. Перечисленные выше события были отнесены к группе «удаленных» и моделировались на расчетной сетке с шагом 2 угловые минуты. Камчатские цунами и другие гипотетические события, рассматриваемые ниже, считались «ближними» и соответствующие им сценарии воспроизводились на сетках с шагом 1 угловая минута.

По-видимому, самым первым известным упоминанием о проявлении цунами в Охотском море следует считать сообщения С.П.Крашенинникова о катастрофическом *Камчатском землетрясении 1737 года*, с которого начинается сейсмический каталог всего Дальнего Востока. Очаг землетрясения располагался у восточного побережья Камчатки, примерно в той же области, которая спустя 215 лет была активирована очагом *Камчатского землетрясения 1952 года* (Здесь и ниже изложение частично иллюстрируется картинками «свечений» от модельных источников с магнитудой $M_w = 9.0$, опубликованными исполнителями ранее). Оба события, несомненно, относятся к классу мега-землетрясений (с магнитудой 9.0 или выше) и оба вызвали разрушительные цунами на ближайших к очагу участках побережья. Сейсмический потенциал обоих событий (Рисунок 10) был достаточен для возбуждения трансокеанского цунами, и в 1952 году это действительно имело место – волна высотой до 9 м наблюдалась на восточной окраине о-ва Оаху (Гавайские острова), на побережье Южной Америки (Лос Вилос, Чили) волны достигали 3-метровой высоты. По 1737 году таких данных нет, хотя при целенаправленном поиске в местных архивах свидетельства о необычной волновой активности вполне могут быть обнаружены. Стоит напомнить, что локальные высоты цунами 1737 г. были втрое выше высот цунами 1952 года. По описаниям С.П.Крашенинникова (Крашенинников, 1994) в 1737 году максимальная высота заливания на острове Парамушир достигала 63 м (30 сажень). В районе Авачинского залива наблюдались волны высотой до 30 м. На западной стороне Камчатки цунами было, конечно, существенно слабее. В 25 км южнее Большерецка волны свободно перекатывались в озеро, соединенное протокой с р. Большой. Возможная высота волн 2 – 5 м.

Данных о проявлениях в Охотском море второго сильнейшего *Камчатского землетрясения 4 ноября 1952 года* несколько больше, но и они являются далеко не полными. На западной стороне мыса Лопатка (крайняя южная оконечность Камчатского

полуострова) высота волн достигала 5 м, при этом на океанском побережье мыса наблюдались волны высотой 10 м. В пос.Озерное – от 3 до 5 м, в пос.Колпаково – 0.5 м (Исторические сведения..., 1998).

На западном побережье мыса Васильева (о.Парамушир) наблюдались волны высотой до 4.5 м (с океанической стороны при этом – до 6.6 м), в поселке Шелехово на северном побережье острова – от 3 до 6 м, на о-ве Алаид высота волн достигала 1.5 м, на Сахалине (Корсаков) – 1 м, в Магадане – 2 м (Соловьев, 1978). Последнее наблюдение является очень важным, как с точки зрения оценки возможных высот на континентальном Охотском побережье при сильнейших региональных землетрясениях, так и с точки зрения проверки адекватности численных моделей региональных цунами. К сожалению, это наблюдение является единичным, неизвестно, к какому конкретно пункту в районе Магадана оно относится, какая конкретно величина была измерена (данные мареографа, высота заплеска на берегу или максимальная амплитуда на урезе). Между тем, тщательный поиск в местных архивах, а также сообщения очевидцев события, возможно еще живущих в Магадане, могли бы дополнить и уточнить эту критически важную информацию.

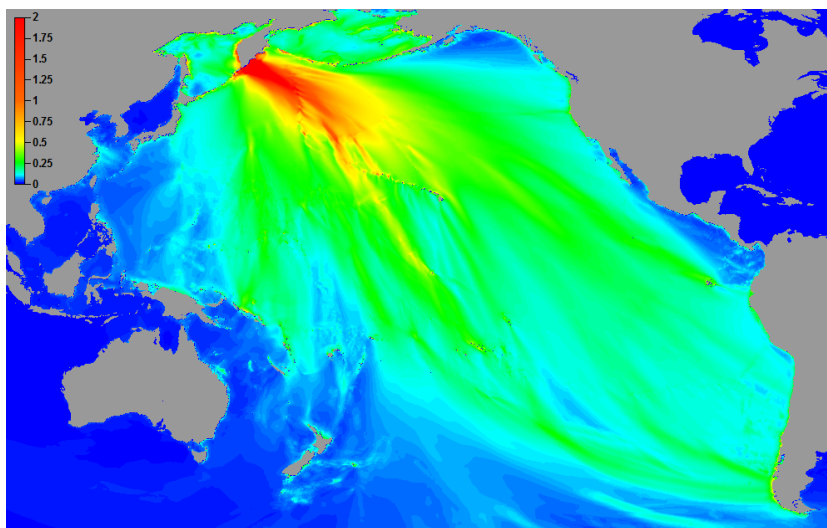


Рисунок 10. Распределение максимальных амплитуд (положительных), рассчитанных за 48 часов физического времени распространения волны цунами, порожденной источником модельного землетрясения с магнитудой $M_w = 9.0$, ближайшим к источникам исторических «камчатских» землетрясений 1737 и 1952 гг. Индекс модельного землетрясения – 89а.

Чилийское цунами 1960 года было вызвано сильнейшим ($M_w = 9.5$) за весь инструментальный период сейсмологических наблюдений землетрясением у побережья Чили (Рисунок 11). На самом чилийском побережье максимальные высоты волн составляли 15 – 20 м, т.е не достигали экстремальных значений 40 – 50 м, измеренных, например, на ближайших участках побережья после Индонезийского землетрясения 2004 года и землетрясения Тохоку 2011 года. Причиной этого, по-видимому, является расположение части очаговой области в пределах береговой черты. Максимальная высота наката в 25 м была измерена на расположенном в 50 км от побережья небольшом чилийском острове Моча. Землетрясение, однако, вызвало трансокеанское цунами, которое распространилось на весь Тихий океан и достигло его противоположных берегов, сохранив свой разрушительный потенциал. Средние высоты наката на всем протяжении восточного побережья Японии составляли 3 – 4 м, погибло 114 человек и 90 пропало без вести, 1 233 дома было полностью разрушено, свыше 3 500 серьезно повреждено (The Chilean Tsunami..., 1961).

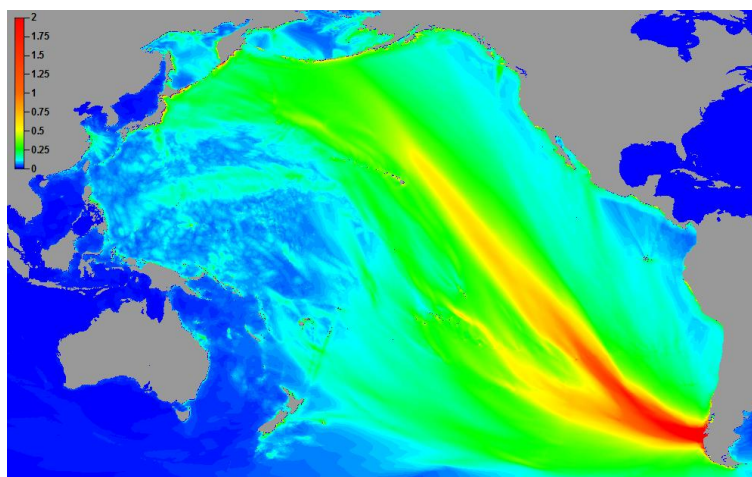


Рисунок 11. Распределение максимальных амплитуд (положительных), рассчитанных за 48 часов физического времени распространения волны цунами, порожденной источником модельного землетрясения с магнитудой $M_w = 9.0$ ближайшим к источнику исторического «чилийского» землетрясения 1960г. Индекс модельного землетрясения – 45а.

На Дальневосточном побережье РФ максимальные высоты заплеска, достигавшие 7 м, были измерены на восточном побережье Камчатки в бухтах Моржовая и Русская (Заякин, 1996). Наблюдатель в бухте Моржовой отметил, что максимальной по высоте была пятая волна. Перед ее приходом дно бухты обсохло на расстояние более 300 м от уреза. Отсюда можно заключить, что размах колебаний уровня в бухте Моржовой достигал как минимум 10 м.

Сквозь Курильские проливы цунами проникло в Охотское море и вызвало значительные колебание его уровня, продолжавшиеся более двух суток. Мареограф в бухте Нагаева зафиксировал пять волн высотой до 2.2 м (Важенин, 2010). Первое понижение уровня (на 50 см) было зафиксировано в 02 час 10 мин моск. времени. Затем наблюдалось резкое понижение уровня на 202 см с последующим подъемом в 04 час на 142 см. В дальнейшем в бухте Нагаева в течение двух суток (24 и 25 мая) происходили колебания уровня с периодом собственных колебаний бухты (около 1 час 10 мин) и амплитудой до 2 м. Максимальная положительная амплитуда (214 см) наблюдалась в 06 час 40 мин. 24 мая около 06 час катер, стоявший на якорю в вершине бухты, лег на грунт. Глубина в месте стоянки была 3.5 м. Стоявшие на якорях в морском порту катера и баржи поднимались и опускались на грунт. Был отмечен неестественно быстрый дрейф льда в сторону вершины бухты, несмотря на отлив и отсутствие ветра. Бухта и порт были заполнены крупнобитым льдом до 8 баллов (Исторические сведения..., 1998). На ГМС "Ушки" Колымского УГМС в 08 час 09 мин (мск) наблюдались две волны каждая амплитудой более м (Исторические сведения ..., 1998). В пос. Усть-Хайрюзово было отмечено долгое стояние воды на приливе (Заякин, 1996).

Высота волн этого цунами на побережье Сахалина оказалась существенно меньшей и составила в Корсакове 1.2 м, в Поронайске – 0.8 м, в Катангли – 0.6 м, на мысе Крильон – 0.4 м, в Холмске – 0.1 м (Соловьев, 1978).

Средние высоты чилийского цунами 1960 года по всей периферии Тихого океана были в диапазоне от 1,5 до 3 м. По сообщениям очевидцев, на побережье Корякии волны достигали высот 4 – 5 м. Учитывая, что все побережье Охотского моря находится в створе главного максимума распространения энергии этого цунами, можно полагать, что фактические высоты заливания на большом протяжении Колымского побережья могли достигать нескольких метров. Здесь также необходим целенаправленный поиск в архивах и расспросы очевидцев, находившихся в момент цунами в других точках побережья, которые могут позволить восстановить полную картину проявления на Охотоморском побережье России чилийского цунами 1960 года, крупнейшего за весь XX век во всем

Тихом океане.

Второе сильнейшее трансокеанское цунами XX века – *Аляскинское 1964 года* имело слабое проявление на дальневосточном побережье России. Максимальная высота подъема уровня составила 1 м (в Подгорном, на восточном побережье о-ва Парамушир), в Северо-Курильске мареограф записал волны высотой 0.8 м, на о-ве Шумшу (Бабушкино) – 0.7 м (Соловьев, 1978). Основной причиной этого является положение и ориентация очага этого землетрясения, при которой максимум энергии цунами распространялся в южном направлении (Рисунок 12). На Сахалине максимальная высота волн этого цунами была зарегистрирована в Корсакове (0.4 м). По охотскому побережью данных о проявлениях этого цунами нет.

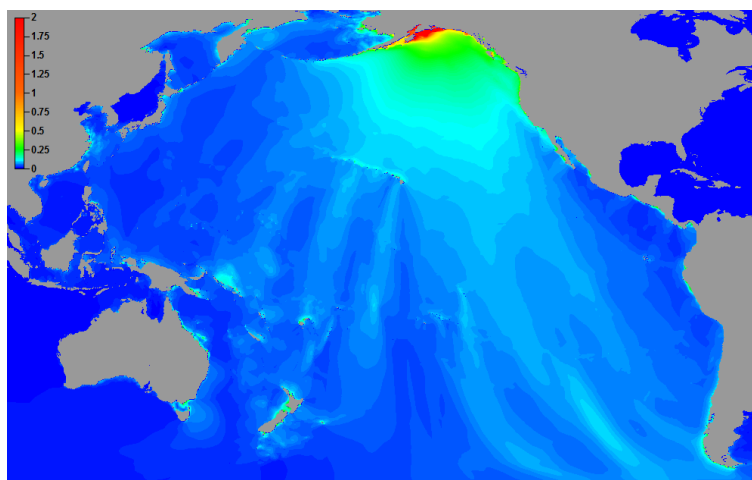


Рисунок 12. Распределение максимальных амплитуд (положительных), рассчитанных за 48 часов физического времени распространения волны цунами, порожденной источником модельного землетрясения с магнитудой $M_w = 9.0$, ближайшим к источникам исторического «алаяскинского» землетрясения 1964 г. Индекс модельного землетрясения – 8а.

Последнее по времени трансокеанское цунами – Тохоку 2011 года (Рисунок 13) – вызвало опасные колебания уровня на восточном побережье Курильских островов и Камчатки, продолжавшиеся в ряде мест более суток. Максимальные высоты волн (до 3 м) отмечены в бухте Крабовая на западном берегу о-ва Шикотан, при этом на его восточном побережье уровни заливания не превышали 1.5 м. В Мало-Курильске мареограф записал колебания с размахом до 2.3 м (Кайстренко и др., 2011). Максимальное заливание в Северо-Курильске достигало 2.5 м, в Буревестнике (о-в Итуруп) – 2 м. В бассейне Охотского моря наблюдались только фоновые колебания уровня – максимальные высоты волн по записям мареографов были 0.53 м (Курильск), 0.42 м (Корсаков), 0.44 м (Поронайск). По магаданскому побережью данных нет. В этом случае также причиной малых колебаний является нахождение всего бассейна далеко в стороне от главного максимума распространения энергии этого цунами, ориентированного в юго-восточном направлении.

Таким образом, анализ проявлений в Охотском море сильнейших трансокеанских цунами показывает, что опасными для него могут быть только очаги цунамигенных землетрясений класса M_9 , расположенные непосредственно у южного побережья Камчатки и в районе Курильской гряды. Что касается удаленных очагов сильнейших землетрясений, то из всего тихоокеанского сейсмического пояса наиболее опасны южно-американские землетрясения, способные вызвать колебания уровня с размахом до 5 м по всему побережью Охотского моря (что фактически и произошло в мае 1960 года).

Результаты численного моделирования удаленных цунами показывают, однако, что возможна еще одна зона (Новая Гвинея, Соломоновы острова), очаги в которой (Рисунок 14) могут быть опасны для нашего Дальневосточного побережья. В силу особенностей распространения энергии цунами, один из боковых лепестков диаграммы

направленности при этом оказывается ориентирован в сторону Курило-Камчатского побережья.

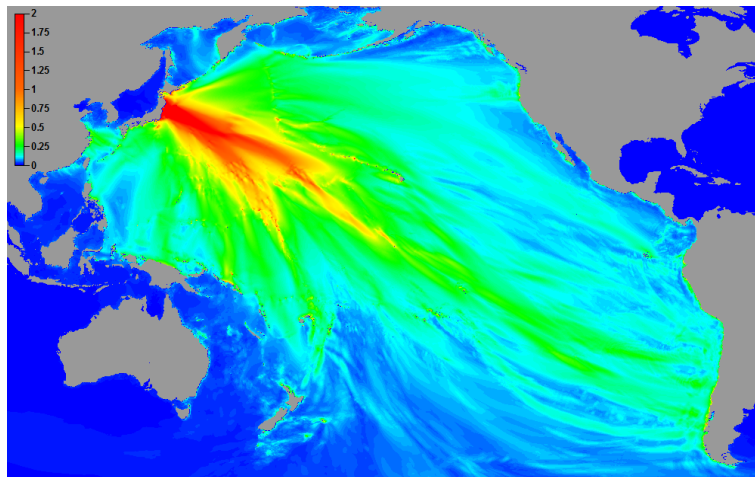
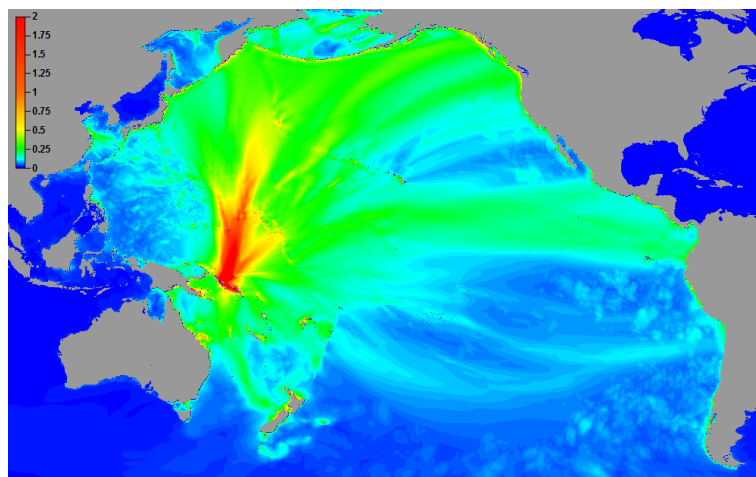
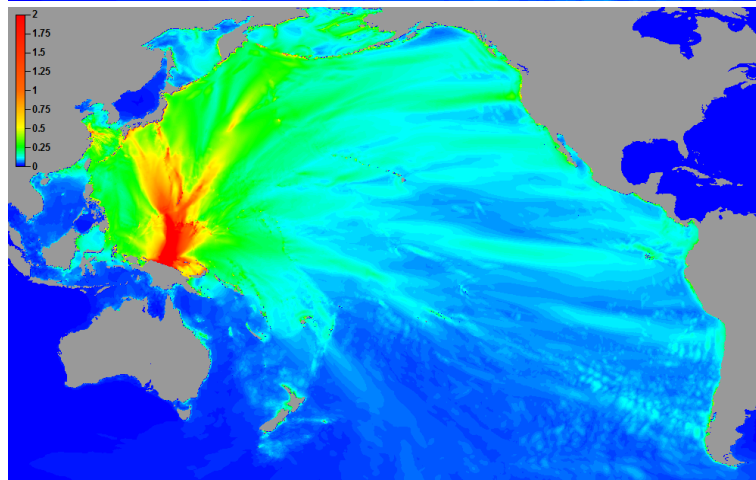


Рисунок 13. Распределение максимальных амплитуд (положительных), рассчитанных за 48 часов физического времени распространения волны цунами, порожденной источником модельного землетрясения с магнитудой $M_w = 9.0$, ближайшим к источнику исторического «японского» землетрясения (Тохоку) 2011 г. Индекс модельного землетрясения – 85a.



(a)

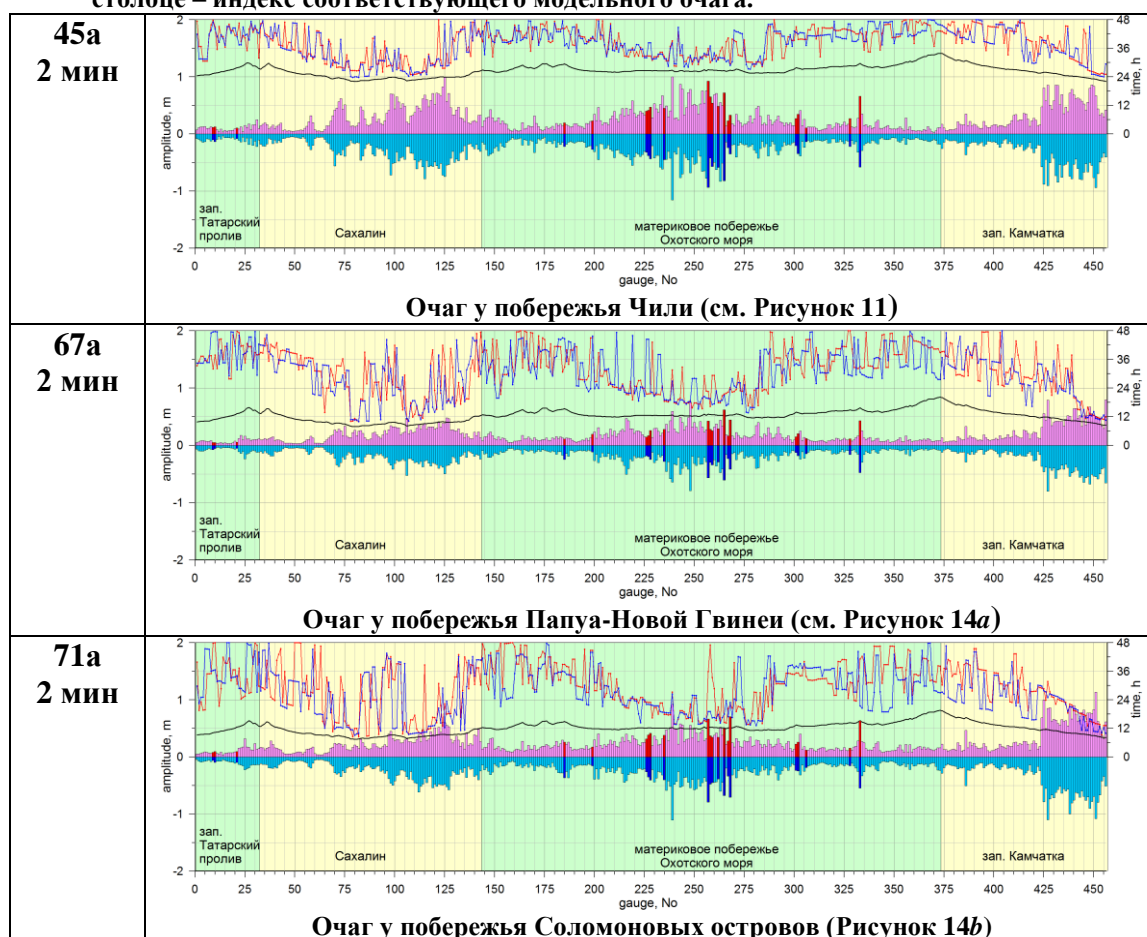


(b)

Рисунок 14. Распределения максимальных амплитуд (положительных), рассчитанных за 48 часов физического времени распространения волн цунами, порожденных источниками модельных землетрясений с магнитудой $M_w = 9.0$, расположенными вблизи Папуа-Новой Гвинеи (a) и Соломоновых островов (b). Индексы соответствующих модельных землетрясений – 67 и 71a.

Анализ распределений экстремальных характеристик волн цунами, порожденных удаленными относительно защищаемого побережья цунамигенными землетрясениями, вдоль побережья Охотского моря выполнялся по результатам моделирования наиболее опасных источников с магнитудой $M_w = 9.0$ – «чилийского №45а» и «гвинейского №67а» очагов и очага из группы Соломоновых островов №71а. Нумерация виртуальных мареографов указана вдоль горизонтальной оси гистограмм (Таблица 2), их соответствие точкам на побережье и защищаемым пунктам указаны на рисунках (см. Рисунок 8, Рисунок 9). Как следует из приведенных гистограмм, полученных в ходе расчетов на сетке с шагом 2 угловые минуты, наибольшую опасность представляют источники, расположенные у тихоокеанского побережья Чили вблизи очага исторического цунами 1960 г.

Таблица 2 Распределения (гистограммы) на защищаемом побережье Охотского моря и прилегающих акваторий максимальных положительных и отрицательных высот волн (красные и синие столбцы соответственно, вертикальная ось слева, значения величин), порожденных наиболее опасными удаленными цунамигенными землетрясениями, а также времена регистрации этих экстремальных значений высот волн и регистрации первых возмущений (розовые, голубые и черные линии соответственно, вертикальная ось справа). В первом столбце – индекс соответствующего модельного очага.



Наличие ледяного покрова может усиливать эффект воздействия цунами на берег (увеличение дальности заливания, вынос тяжелого льда на берег). Дополнительные опасности возникают при взломе берегового припая в периоды нахождения там людей (подледный лов рыбы). Этот эффект может иметь место при очень незначительной высоте самого цунами (первые десятки сантиметров).

Самые высокие (по всему охотоморскому побережью) волны цунами были зарегистрированы в Магадане в 1952 году (2 м) и в 1960 году (2,2 м). Одной из причин увеличенных колебаний уровня здесь могло быть резонансное усиление путем

взаимодействия проходящей волны с модами собственных колебаний бухты Нагаева.

Редкость (малая повторяемость) цунамигенных явлений в Охотском море (сравнительно с соседней Курило-Камчатской зоной) порождает недооценку реальной опасности цунами в этом регионе. Следствием этого является беспечность населения при нахождении в береговой зоне и нежелание местных властей заниматься разработкой превентивных мероприятий по защите от цунами. Для получения оценок реальной угрозы цунами в Охотском море необходимо выполнение целенаправленных исследований по поиску и систематизации исторических сведений о проявлениях цунами, полевых экспедиционных работ по поиску следов палеоцунами на охотоморском побережье, идентификации и оценке сейсмогенного потенциала активных разломов в прибрежной зоне, а также численное моделирование распространения цунами в бассейне Охотского моря, порождаемого сейсмогенными, вулканогенными и обвальными источниками.

Библиография:

1. Важенин Б.П. (2010) Проблемы исследования цунами в Северном Охотоморье // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды второй региональной научно-технической конференции. 11-17 октября 2009 г. Петропавловск-Камчатский, С. 312-317.
2. Заякин Ю.А. (1996) Цунами на Дальнем Востоке России // Петропавловск-Камчатский. 86 с.
3. Исторические сведения о цунами в Охотском море (1998) // Монографический справочник. Проект «Моря» Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. IX. Охотское море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. СПб: Гидрометеиздат. С. 225- 226.
4. Кайстренко В.М., Шевченко Г.В., Ивельская Т.Н. (2011) Проявления цунами Тохоку 11 марта 2011 года на тихоокеанском побережье России // Сейсм. приборы, Т.38, №1, С. 41-64.
5. Крашенинников С.П. (1994) Описание земли Камчатки, т.1, Санкт-Петербург: Наука, 438 с.
6. Соловьев С.Л. (1978) Основные данные о цунами на Тихоокеанском побережье СССР, 1937-1976 гг. // В кн.: Изучение цунами в открытом океане, М., Наука, С. 61-136.
7. Kanamori H. (1972) Mechanism of tsunami earthquakes. // Phys. Earth Planet. Inter. 6, P. 346-359.
8. The Chilean Tsunami of May 24, 1960 (1961) The Committee for Field Investigation of the Chilean Tsunami of 1960, 398 pp.

3.7. Степень новизны полученных результатов

Все результаты являются новыми и получены впервые. Наиболее интересными и безусловно оригинальными являются:

- построение уточненного набора модельных удаленных очагов цунамигенных землетрясений магнитудой $M_w = 9.0$, потенциально опасных для Дальневосточного побережья России, дополненный на основании результатов моделирования в наиболее цунамиопасных для побережья России сейсмических зонах очагами меньших магнитуд – $M_w = 8.4$, $M_w = 8.6$ и $M_w = 8.8$;
- уточнение за счет применения более детальной сетки с пространственным шагом 2 угловые минуты характеристик проявления в акватории Тихого океана и на защищаемом побережье волн цунами, вызванных построенной системой модельных удаленных сейсмических источников и рассчитанных по результатам численного моделирования за период 48 часов физического времени распространения волны;
- обновление содержания специализированной Базы 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.

- анализ проявления удаленных и ближних цунами на охотоморском побережье.

- 3.8. *Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем*
Все результаты соответствуют мировому уровню исследований в данной области. Материалы исследований по проекту представлялись на авторитетных научных форумах:
* Теоретический семинар «Нелинейные волны», посвященный памяти чл.-к. РАН В.М. Тешукова. 2 марта 2012, Новосибирск;
* XI Всероссийская конференция «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». 22 – 24 мая 2012, Санкт-Петербург;
* Научно-техническое совещание по фундаментальным и прикладным проблемам развития Российской системы предупреждения о цунами (8–12 октября 2012 года, г. Новосибирск)
* International Conference "Inverse Problems: Modeling and Simulation", May 21-26, 2012, Antalya, Turkey
- 3.9. *Методы и подходы, использованные в ходе выполнения проекта*
Все вычислительные эксперименты проводились с использованием созданного исполнителями программного инструментария, реализующего вычислительные схемы типа МакКормака, аппроксимирующие классические уравнения теории мелкой воды. Для расчета начального смещения свободной поверхности при моделировании трансформации волн цунами на трассах от зоны генерации к побережью использовалась модель Подъяпольского-Гусякова-Окады. Численное моделирование осуществлялось с использованием оригинального программного кода MGC (Свидетельство о государственной регистрации № 2011614598), для интерпретации результатов, их хранения и визуализации были разработаны оригинальные информационные системы «Комплекс визуализации результатов моделирования волн цунами «Wave on Water» (Свидетельство о государственной регистрации № 2012617648) и База данных результатов моделирования волн цунами «Wave on Water» (Свидетельство о государственной регистрации № 2012621201).
- 3.10.1.1. *Количество научных работ, опубликованных в ходе выполнения проекта*
6
- 3.10.1.2. *Из них включенных в перечень ВАК*
4
- 3.10.1.3. *Из них включенных в системы цитирования (Web of science, Scopus, Web of Knowledge, Astrophysics, PubMed, Mathematics, Chemical Abstracts, Springer, Agris, GeoRef)*
4
- 3.10.2. *Количество научных работ, подготовленных в ходе выполнения проекта и принятых к печати в 2012 г.*
2
- 3.11. *Участие в научных мероприятиях по тематике проекта, которые проводились при финансовой поддержке Фонда*
- 3.12. *Участие в экспедициях по тематике проекта, проводимых при финансовой поддержке Фонда*
- 3.13. *Финансовые средства, полученные от РФФИ*
375000 руб.
- 3.15. *Адреса (полностью) ресурсов в Internet, подготовленных авторами по данному проекту*
- 3.16. *Библиографический список всех публикаций по проекту за весь период выполнения проекта, предшествующий данному отчету, в порядке значимости: монографии, статьи в научных изданиях, тезисы докладов и материалы съездов, конференций и т.д.*
1. Викулин А.В., Мелекесцев И.В, Акманова Д.Р., Иванчин А.Г., Водинчар Г.М., Долгая

- А.А., Гусяков В.К. Информационно-вычислительная система моделирования сейсмического и вулканического процессов как основа изучения волновых геодинамических явлений // Вычислительные технологии, 2012, Т.17, №3, 34-54.
2. Федотова З.И., Хакимзянов Г.С. Анализ условий вывода нелинейно-дисперсионных уравнений // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17, № 5.
3. Гусев О.И. Об алгоритме расчета поверхностных волн в рамках нелинейно-дисперсионной модели на подвижном дне // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17, № 5. С. 46-64.
4. Denys Dutykh, Dimitrios Mitsotakis, Leonid B. Chubarov, Yuri I. Shokin On the contribution of the horizontal sea-bed displacements into the tsunami generation process // Ocean Modeling. 2012. Vol. 56. P. 43-56 (doi.org/10.1016/j.ocemod.2012.07.002).
5. Бейзель С.А., Гусяков В.К., Чубаров Л.Б., Шокин Ю.И. Моделирование воздействия удаленных цунами на Дальневосточное побережье России // Труды XI Всероссийской конференции "Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики", СПб.: Наука, 2012. 504 с., С. 226-229.
6. Gusiakov V.K. Inverse and direct problems in the study of tsunami behavior // 6th International Conference "Inverse Problems: Modeling and Simulation", May 21-26, 2012, Antalya, Turkey, Abstracts, Izmir University, 2012, 60-61.
7. Gusiakov V.K. Tsunami impact on the African coast: historical cases and long-term hazard assessment // Extreme Natural Hazards, Disaster Risks and Societal Implications, A. Ismail-Zadeh, J.Fucugaugh, A. Kijko, K. Takeuchi, and I. Zaliapin, Editors, Cambridge University Press, 2013. (сдано в печать).
8. Gusiakov V.K., Chubarov L.B., Beisel S.A. Impact of the far-field tsunamis to the Far-East coast of Russia // Tsunamis in the Pacific and Indian Oceans: 2010-2012, Guest editors: Alexander Rabinovich, Jose Borrero, Hermann Fritz, PAGEOPH: Topical issue. (сдано в печать).
- 3.17. *Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта*
рациональное природопользование
- 3.18. *Критическая технология РФ, в которой, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта*
Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера
- 3.19. *Основное направление технологической модернизации экономики России, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта*
не очевидно

Подпись руководителя проекта

Форма 510. ЗАЯВКА НА 2013 г.

10.1. *Номер проекта*

12-05-00894

10.2.1. *Основной код классификатора*

05-513

10.2.2. *Дополнительные коды классификатора*

01-222

10.3. *Ключевые слова*

волны цунами, оценка воздействия волн на побережье, математическое моделирование

10.4. *Цели очередного годовичного этапа, связь с основной задачей проекта*

Цели исследования на 2013 г. исполнители проекта формулируют следующим образом:

- уточнение восточной (вдоль Алеутской дуги, в акватории Берингова моря) и южной (вдоль побережья северной Японии) границ удаленных и ближней для Дальневосточного побережья России цунамигенных зон.
- детальное исследование воздействия удаленных цунами на представительный набор участков Дальневосточного побережья РФ, включая сбор исторических данных, натурной информации, проведение вычислительных экспериментов и определение экстремальных характеристик границ заплеска, высот наката с учетом детальной батиметрии, диссипации (шероховатость) и т.п.

10.5. *Ожидаемые в конце 2013 г. научные результаты*

Реализация сформулированных выше целей плана предполагает получение следующих результатов

- модификация программного обеспечения, создание новых версий вычислительных и вспомогательных программных систем, включая новые системы моделирования затопления волнами цунами прилегающих к исследуемым акваториям участков побережья;
- создание и адаптация цифровых моделей рельефа дна и суши высокого разрешения;
- оценки воздействия удаленных цунами на представительный набор участков побережья, полученные в ходе численного моделирования генерации, распространения и наката на берег таких цунами;
- сопоставление расчетных характеристик с данными наблюдений исторических цунами.

10.6.1. *Общий объем финансирования на 2013 год*

800 000 руб.

10.6.1. *Детальная расшифровка предполагаемых расходов*

400 000 руб – оплата труда исполнителей проекта,

160 000 руб – оплата командировочных расходов по участию исполнителей в

конференциях «Международная конференция «Математические и информационные

технологии, MIT-2013» (X конференция «Вычислительные и информационные технологии

в науке, технике и образовании)» (Врнячка Баня, Сербия) и «Проблемы комплексного

геофизического мониторинга Дальнего Востока России» (Петропавловск-Камчатский)

120 000 руб. – приобретение расходных материалов, модернизация специализированных

вычислительных устройств и локальных систем хранения данных

120 000 руб. – накладные расходы

10.7.1. *Сроки проведения в 2013 г. экспедиции по тематике проекта*

нет

10.7.2. *Ориентировочная стоимость экспедиции (в руб.)*

0

10.7.3. *Регион проведения экспедиции*

нет

10.7.4. *Название района проведения экспедиции*

нет