

**Российская академия наук
Сибирское отделение**

Регистрационный номер 0120.1 275745

**Фундаментальные проблемы совершенствования
оперативного прогноза цунами и создания карты
цунамирайонирования Дальневосточного побережья РФ**

*Промежуточный информационный отчет за 2012 год по
Междисциплинарному интеграционному проекту № 37 партнерских
фундаментальных исследований, направленных на реализацию соглашений с
Уральским и Дальневосточным отделениями РАН*

Координатор проекта

д.ф.-м.н. _____ Л.Б. Чубаров

Ученый секретарь проекта

к.ф.-м.н. _____ С.А. Бейзель

Институты – исполнители:

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Институт вычислительных технологий СО РАН

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН

**Новосибирск
2012**

Заявленные цели проекта на этап 2012 года включали в себя:

- Дешифрирование дистанционных материалов – изображений земной поверхности разного типа и масштаба: аэрофотоснимков, космоснимков (включая спектрональные), топографических карт, 3-D моделей рельефа суши и морского дна (ИВиС ДВО РАН).
- Создание предварительной карты распределения активных структур в регионе, их положения и соотношения с геологическим строением и с учетом разломной тектоники региона (ИВиС ДВО РАН).
- Анализ сейсмичности Дальневосточного региона, сопоставление сейсмологических данных с геологическими, палеосейсмологическими данными (ИВиС ДВО РАН, ИМГиГ ДВО РАН, ИВМиМГ СО РАН).
- Подготовка входной батиметрической информации, модификация вычислительных алгоритмов и программных кодов (ИВиС ДВО РАН, ИМГиГ ДВО РАН, ИВТ СО РАН).
- Проведение вычислительных экспериментов для создания базы данных расчетных волн цунами в основных защищаемых пунктах, анализ и интерпретация результатов (ИВМиМГ СО РАН, ИВТ СО РАН).
- Сбор сведений о фактических заплесках исторических и палеоцунами на побережье Дальневосточного региона по результатам экспедиционных обследований, разработка вероятностных моделей цунами-режима для отдельных районов (ИВиС ДВО РАН, ИМГиГ ДВО РАН, ИВМиМГ СО РАН).

Основные результаты, полученные в 2012 году.

1) Систематизированы полученные ранее данные по отложениям палеоцунами для 85 пунктов на Беринговоморском побережье Камчатки и о. Карагинский. Полученные результаты использованы для расчета повторяемости цунами с высотами >5 м по данным за последние 1000 – 4500 лет (Рис. 1, а).

2) На основе комбинации данных морских навигационных карт и результатов эхолотных съемок, выполненных ранее судами ИВиС, ИМГиГ и ТОИ ДВО РАН (Рис. 2), а также с использованием специального программного обеспечения для включения

локальных прибрежных участков с более мелким шагом, подготовлены подробные цифровые батиметрические карты для Охотского моря и для западной части Берингова моря.

3) С использованием дешифрирования космических и аэрофотоснимков, а также анализа геологических карт выделены активные разломы (Рис. 1, б), выполнена их тектоническая и кинематическая интерпретация, создана структурно-кинематическая схема дальневосточного региона. Для ряда разломов, обследованных ранее в экспедиционных работах 2009-2011 гг., собраны и систематизированы данные по их кинематике, периодах повторяемости подвижек, максимально ожидаемых магнитудах (M_{max}).

4) Исследованы пространственное распределение сейсмичности, характерные механизмы землетрясений и кинематические характеристики активных разрывов в западной части Берингова моря, примыкающей к Алеутской дуге (Рис. 3). Предложена система модельных очагов подводных землетрясений с типичными механизмами для диапазона магнитуд 7.0 – 9.0 (Рис. 7, б).

5) По материалам экспедиционного обследования побережья Южных Курильских островов после цунами Тохоку 11 марта 2011 года получены данные о высоте и дальности заплесков в ряде пунктов островов Шикотан, Кунашир и Итуруп (Рис. 4). Эти данные позволили уточнить положение южной границы зоны ответственности дальневосточной СПЦ и дать обоснованные оценки пороговых магнитуд для этой зоны (Рис. 8).

6) Пополнена база данных наблюдений исторических цунами дальневосточного региона. Разработано специализированное программное обеспечение, встроенное в графическую оболочку PDM_TSU, позволяющее осуществить переход от точечного представления очагов исторических цунамигенных землетрясений к пространственному представлению на основе оценки их размеров, положения и формы (Рис. 5 и Рис. 6).

7) На основе результатов анализа сейсмичности дальневосточного региона выделены основные зоны возникновения цунамигенных землетрясений, угрожающих Дальневосточному побережью РФ. С учетом представлений о механизмах очагов подводных землетрясений и данных о разломной тектонике построена предварительная сеймотектоническая схема региона и выбраны параметры очагов модельных землетрясений в диапазоне магнитуд 7.8 – 9.0. Эти модельные очаги позволяют рассчитать смещения дна в очаговой области цунами, которые, в свою очередь, используются в качестве начальных данных для программы расчета распространения цунами на конкретных участках акватории Дальневосточного региона (Рис. 7).

8) С использованием сведений о фактических высотах цунами при реальных цунамигенных землетрясениях и результатов численного моделирования уточнено положение южной (в районе Хоккайдо) и восточной (в районе Командорских островов) границ зоны ответственности дальневосточной СПЦ (Рис. 8). Предложены магнитудные пороги подводных землетрясений, превышение которых создает непосредственную угрозу цунами для дальневосточного побережья РФ.

9) Для оценки цунамиопасности охотоморского побережья, которое в 2013 году предполагается включить в зону оповещения дальневосточной СПЦ, выполнена серия вычислительных экспериментов по моделированию распространения в Охотском море волн цунами, возникающих при землетрясениях, происходящих в Курило-Камчатской зоне. Примеры диаграмм свечения (распределений максимальных высот волн в акватории за все время моделирования), полученных в результате этих расчетов, показаны на Рис. 9. Эти диаграммы явно указывают на то, что реальная опасность для охотоморского побережья (высоты волн более 2 м) возникает при подводных землетрясениях на шельфе и материковом склоне Курильской островной дуги при магнитудах более 8.4 (Рис. 9, а). При предельно сильных землетрясениях (магнитуда 9.0) происходит интенсивное проникновение цунами в акваторию Охотского моря с захватом волновой энергии шельфами Сахалина, северной части охотоморского побережья и западного побережья Камчатки. Высоты волн в районе Охотска и Магадана при этом могут достигать 10 м (Рис. 9, б).

Уточненный план работ по проекту на этап 2013 г.:

Морфоструктурный анализ цунамиопасных участков Дальневосточного побережья, уточнение границ цунамигенных зон, выбор способов параметризации модельных очагов подводных землетрясений и определение набора пороговых магнитуд подводных землетрясений для Курило-Камчатской зоны, Японского, Охотского и Берингова морей (ИВиС ДВО РАН, ИВМиМГ СО РАН).

Создание предварительной карты распределения активных структур в Охотоморском регионе, их положения и соотношения с геологическим строением (ИВиС ДВО РАН).

Анализ сейсмичности Охотоморского региона, сопоставление сейсмологических, геологических и палеосейсмологических данных с целью подготовки структурно-кинематической схемы активных структур, выделение структурных парагенезов, их кинематическая и тектоническая интерпретация (ИВиС ДВО РАН, ИМГиГ ДВО РАН).

Сбор данных о фактических высотах и дальностях заплесков исторических и палеоцунами на Охотоморском побережье (ИВМиМГ СО РАН, ИВиС ДВО РАН, ИМГиГ ДВО РАН).

Уточнение положения и размеров очагов цунами Дальневосточного региона (ИВМиМГ СО РАН). Выбор и обоснование расчетных областей и сеток для массовых расчетов распространения цунами на реальных участках акватории Тихого океана, прилегающей к Дальневосточным регионам России, проведение точечных вычислительных экспериментов (ИВТ СО РАН).

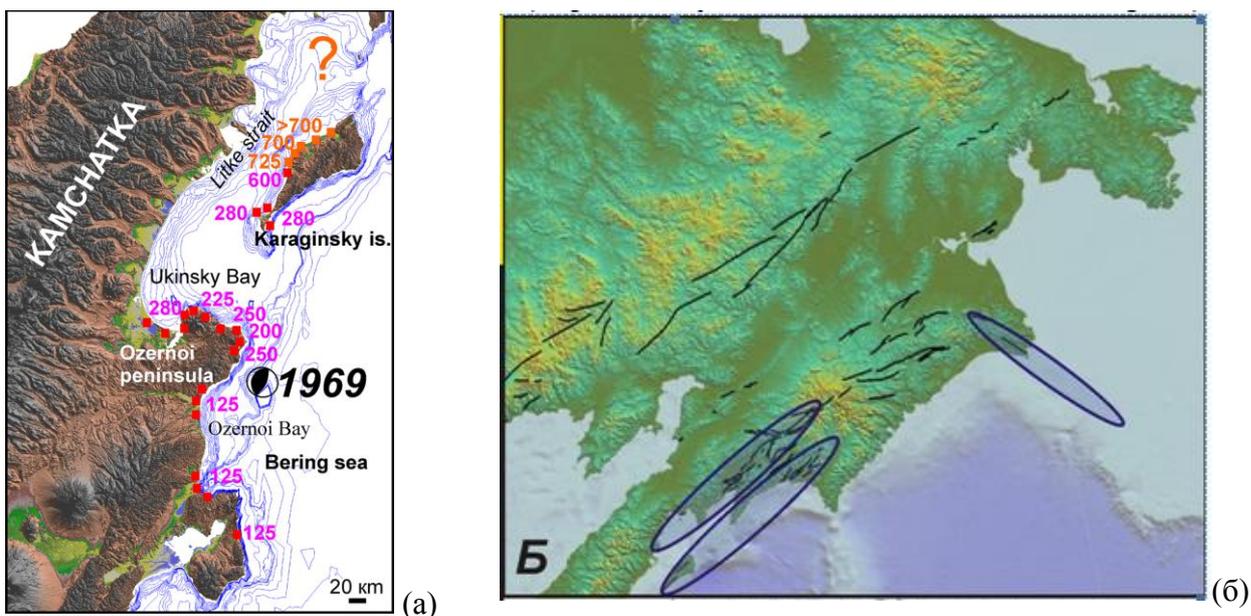


Рис. 1. Распределение средних повторяемостей цунами с высотой более 5 м на побережье Берингова моря, полученное по палеосейсмологическим данным за последние 1000-4500 лет (а); активные разломы северо-востока России, выявленные по данным дешифрирования космических и аэрофотоснимков (б).

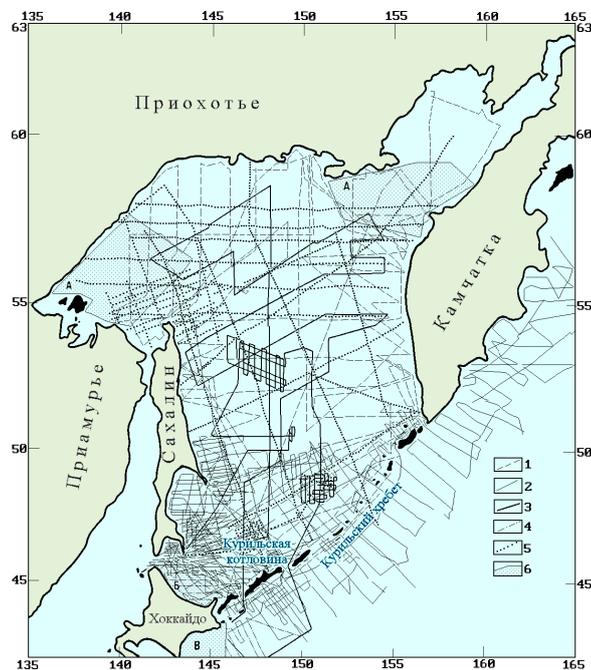


Рис. 2. Расположение судовых треков, данные эхолотирования которых были использованы при составлении батиметрических карт региона.

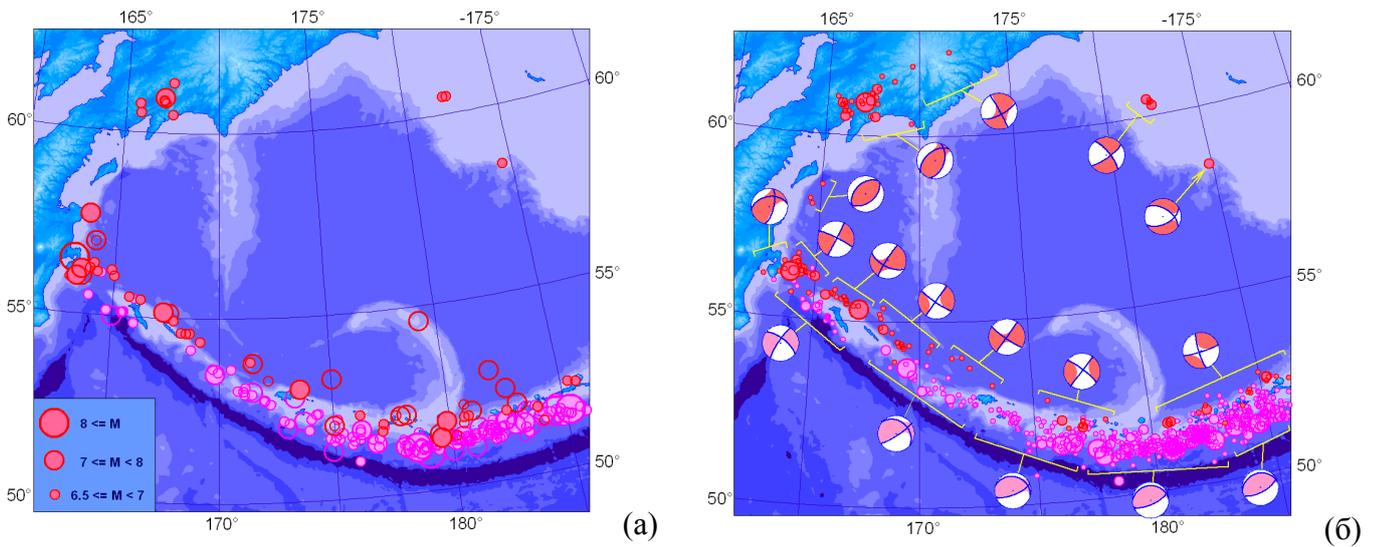


Рис. 3. Эпицентры сильнейших мелкофокусных землетрясений западной части Берингоморского региона за весь период инструментальных наблюдений 1901-2010 гг. (а); характерные деформации, наблюдаемые в очагах землетрясений различных областей Берингоморского региона (б).

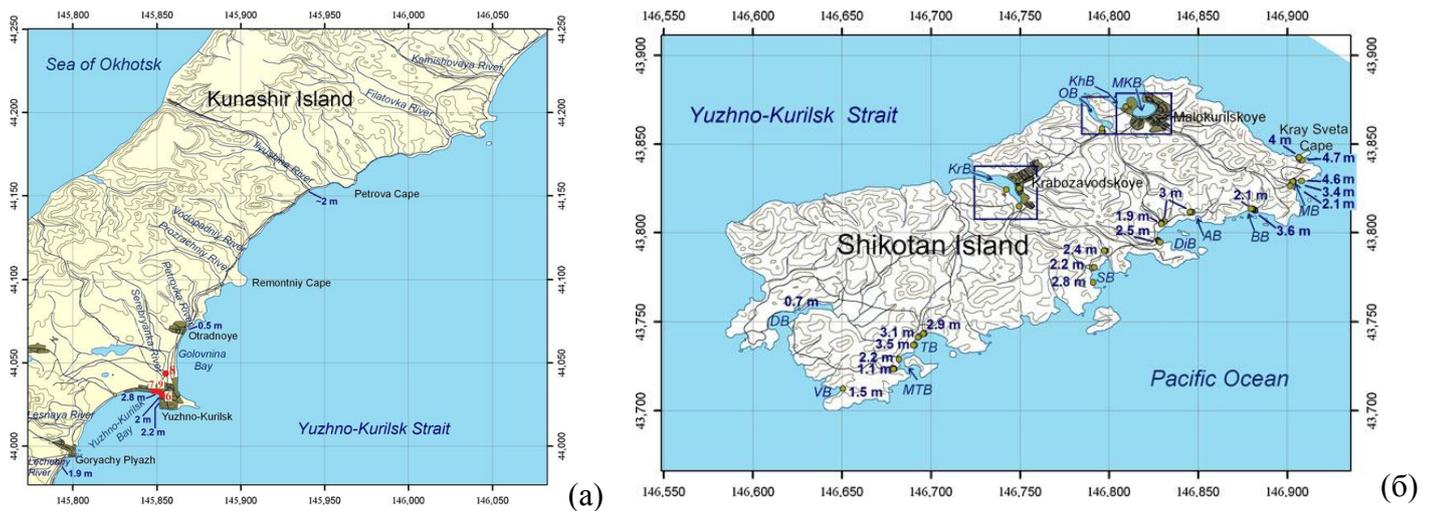


Рис. 4. Высоты цунами Тохоку 11 марта 2011 года на побережье о-ва Кунашир (а) и о-ва Шикотан (б), измеренные во время экспедиционных обследований. Цифры у точек на побережье означают высоту заплеска в метрах.

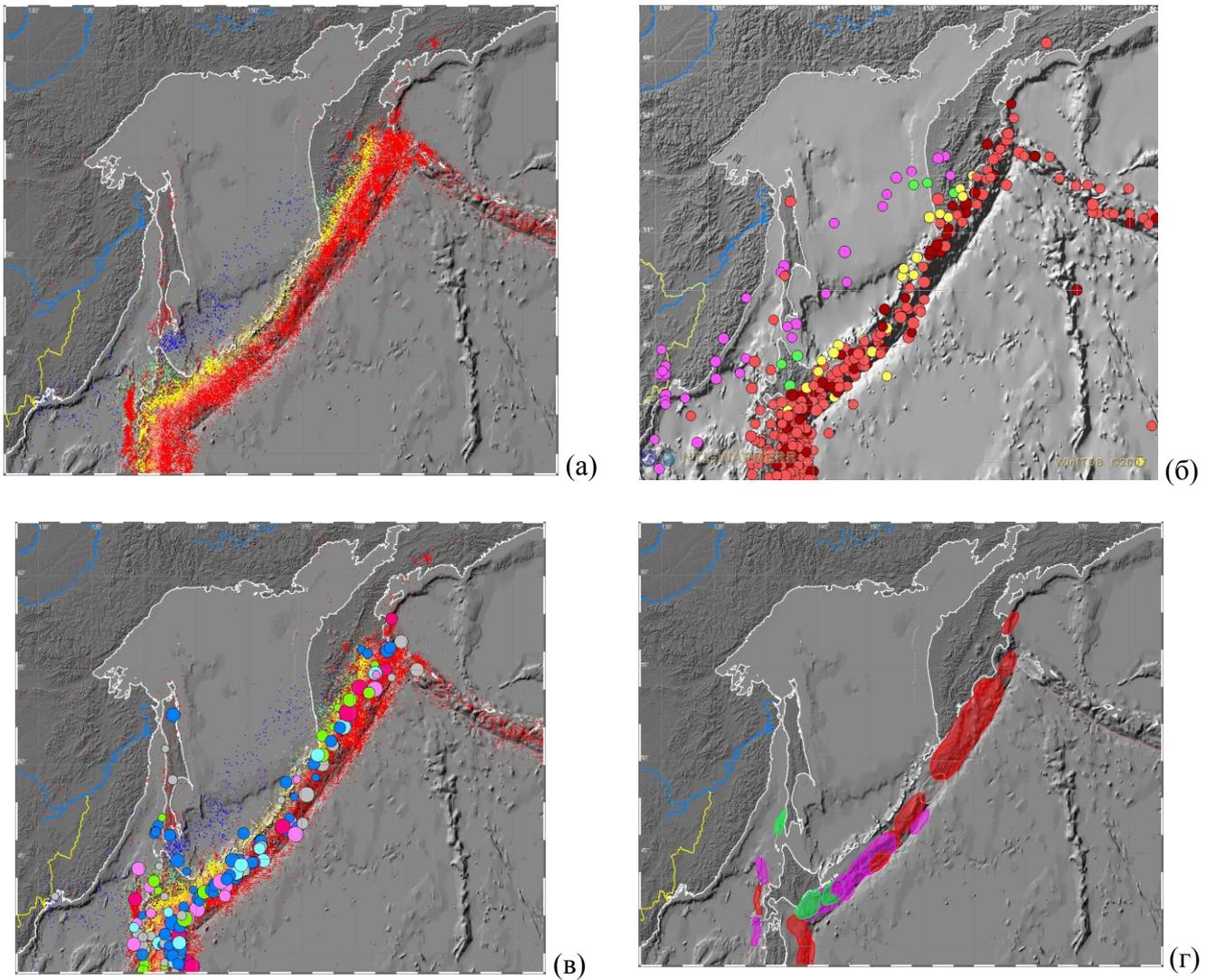
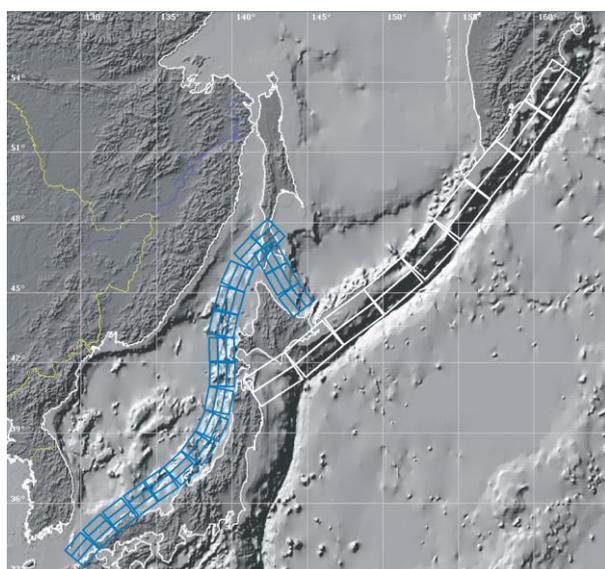


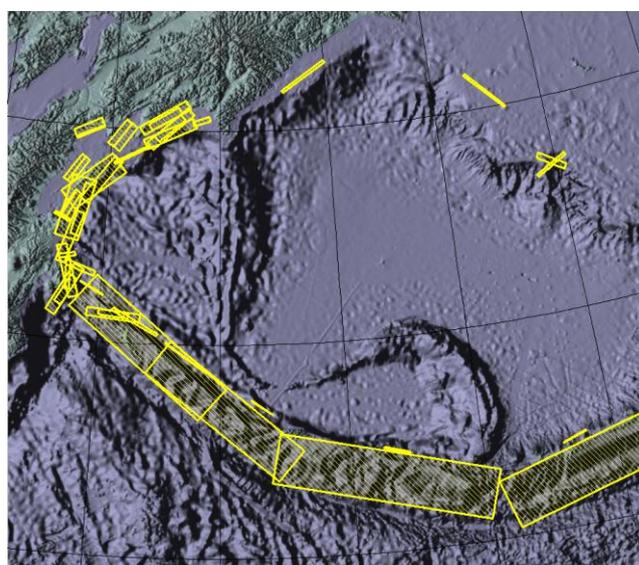
Рис. 5. Карта сейсмичности дальневосточного региона за период 1900-2011 (а); эпицентры сильных ($M > 7$) землетрясений (б), эпицентры цунамигенных землетрясений (в) и очаги сильнейших цунамигенных событий (г).



Рис. 6. Очаги сильнейших цунамигенных событий дальневосточного региона, наложенные на карту Google Earth. Цвет эллипса соответствует интенсивности цунами по шкале Соловьева-Имамуры.



(а)



(б)

Рис. 7. Система модельных очагов цунамигенных землетрясений Дальневосточного региона с магнитудой $M_w 8.4$ в Курило-Камчатской зоне и $M_w 7.8$ в Японском море (а) и магнитудами 7.0 – 9.0 в акватории Берингова моря (б). Прямоугольниками показаны проекции площадок разрыва на поверхность.

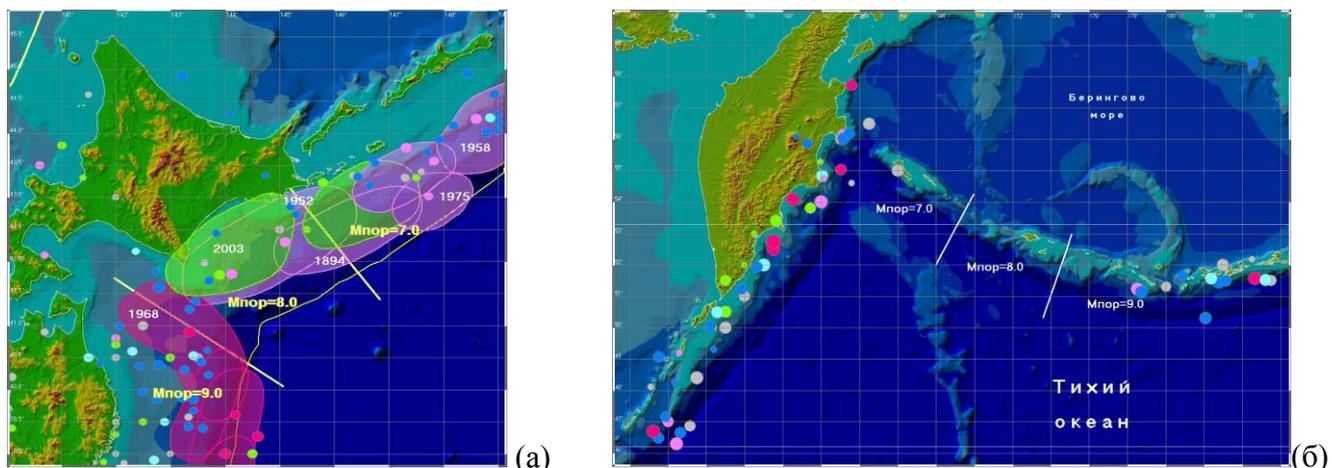


Рис. 8. Выбор величины магнитудных порогов и соответствующих им зон для южной (а) и восточной (б) границ зоны ответственности Дальневосточной СПЦ, сделанный по результатам анализа фактических данных и численного моделирования.

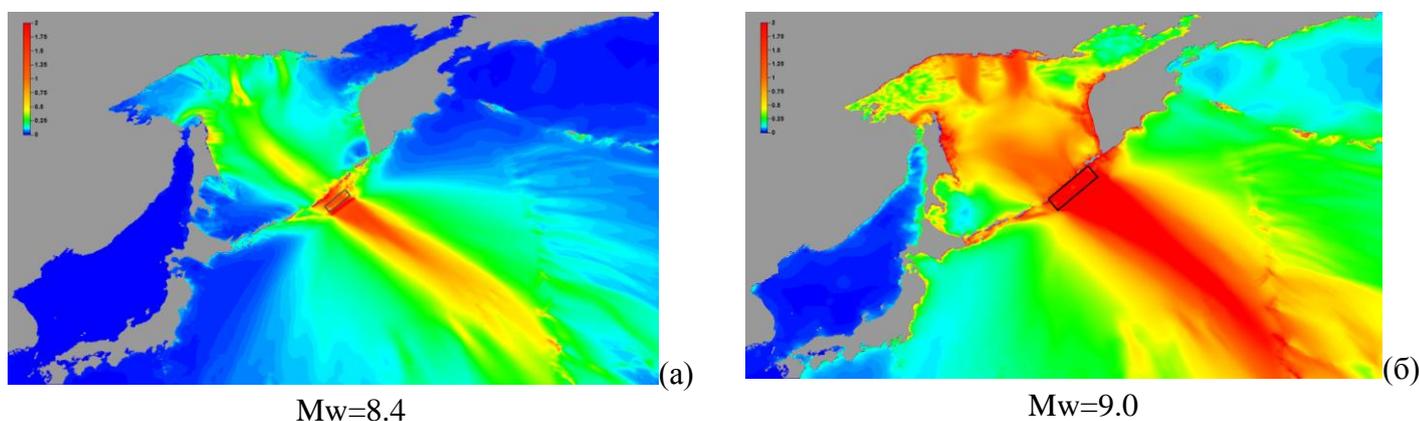


Рис. 9. Диаграммы свечения для модельных очагов с магнитудой $M_w = 8.4$ (а) и 9.0 (б), расположенных на континентальном склоне в районе центральных Курил. Черной сплошной линией показана проекция плоскости разрыва в очаге землетрясения на поверхность.

Библиографический список научных трудов:

Опубликованные в 2012 г.

Пинегина Т.К., Кожурин А.И., Пономарева В.В. Оценка сейсмической и цунамиопасности для поселка Усть-Камчатск (Камчатка) по данным палеосейсмологических исследований / Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. №1, выпуск 19. С. 138-159.¹

Плеханов Ф.А. Методы компьютерной обработки, визуализации и анализа батиметрических данных / Морские интеллектуальные технологии. 2012. № 1 (спец. выпуск). С. 97–101.

Храмушин В.Н. Проектные и эксплуатационные испытания морских стационарных и плавучих инженерных сооружений в открытом море / Морские интеллектуальные технологии. 2012. № 1 (спец. выпуск). С. 119–124.

Шевченко Г.В., Патрикеев В.Н. Статистические характеристики абиссальных неровностей северо-западной части Тихого океана и их возможное влияние на характер распространения цунами / Тихоокеанская геология, 2012, Т.31, №6. С.44-48.

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.

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.

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, symposium M3 «Numerical Methods of Solving Inverse Problems of Mathematical Physics».

¹ Курсивом выделены публикации, первые страницы которых прилагаются к настоящему отчету.

Denys Dutykh, Dimitrios Mitsotakis, Leonid Chubarov, Yuriy Shokin On the contribution of the horizontal sea-bed displacements into the tsunami generation process // Preprint, <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00530999>

Denys Dutykh, Dimitrios Mitsotakis, Leonid Chubarov, Yuriy Shokin On the contribution of the horizontal sea-bed displacements into the tsunami generation process // Ocean Modeling, 56(2012), pp. 43-56 (doi.org/10.1016/j.ocemod.2012.07.002)

Бабайлов В.В., Бейзель С.А., Гусяков В.К., Камаев Д.А., Рутьков И.В., Чубаров Л.Б., Комплекс визуализации результатов моделирования волн цунами «Wave on Water» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам No. 2012617648. Правообладатели: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук (RU), Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун» (RU), Заявка No. 2012615771, Дата поступления 11 июля 2012 г. Зарегистрировано в Реестре Программ для ЭВМ 24 августа 2012 г.

Сданные в печать

MacInnes B.T., Pinegina T.K., Bourgeois J., Razzhigaeva N.G. Successes and challenges of paleotsunami investigations along the Kuril-Kamchatka subduction zone / Abstracts of Geological Society of America, in November 2012.

Kaistrenko V. Tsunami recurrence function, its structure and method of creation – application to tsunami hazard estimation // Proceedings of the Fifth International Tsunami Symposium , Tsunami Society International 3-5 Sept. 2012, Joint Research Centre, Ispra, Italy.

Shevchenko G.V., Zolotukhin D.E., Tikhonov I.N. A method for estimation tsunami risk along the Russia's Far East // Proceedings of the Fifth International Tsunami Symposium , Tsunami Society International 3-5 Sept. 2012, Joint Research Centre, Ispra, Italy.

Участие в научных мероприятиях по тематике проекта

34th International Geological Congress, Brisbane, Australia, August 4-12, 2012.

6th International Conference "Inverse Problems: Modeling and Simulation", Antalya, Turkey, May 21-26, 2012.

US - Russia Geohazards Symposium "Developing a road map to improved disaster risk reduction through collaborative actions", Moscow, Russia, July 17-19, 2012.

The Fifth International Tsunami Symposium, Tsunami Society International - Joint Research Centre, Ispra, Italy, 3-5 Sept. 2012.

Европейская сейсмологическая комиссия. 33-я Генеральная ассамблея «Сейсмология без границ» ГА ЕСК 2012, Москва, 19–24 августа 2012 г.

Расширенное заседание Совета РАН по координации деятельности региональных отделений и региональных научных центров РАН: Природные и техногенные катастрофы, Петропавловск-Камчатский, 11-15 сентября 2012г. *В рамках этого совещания было проведено рабочее заседание исполнителей проекта, в котором приняли участие В.К.Гусяков (ИВМиМГ СО РАН), Т.К.Пинегина, А.В.Ландер (ИВиС ДВО РАН), Б.В.Левин (ИМГиГ ДВО РАН).*

Научно-техническое совещание по фундаментальным и прикладным проблемам развития Российской системы предупреждения о цунами. Новосибирск, 8 – 12 октября 2012 года. *В рамках этого совещания было проведено рабочее заседание исполнителей проекта, в котором приняли участие В.К.Гусяков, П.С.Зиновьев, Т.В.Калашикова (ИВМиМГ СО РАН), Л.Б.Чубаров, Г.С.Хакимзянов, С.А.Бейзель (ИВТ СО РАН), Т.К.Пинегина, А.В.Ландер, А.И.Кожурин (ИВиС ДВО РАН), Б.В.Левин (ИМГиГ ДВО РАН).*