

1. **Наименование работы** - проведение численных экспериментов по математическому моделированию трансформации волн цунами от модельных землетрясений около Дальневосточного побережья Российской Федерации.

2. **Исполнители** - сотрудники Института вычислительных технологий СО РАН:

г.н.с., проф., д.ф.-м.н. Л.Б. Чубаров,

в.н.с., д.ф.-м.н. В.К. Гусяков,

инженер-исследователь С.А. Бейзель.

м.н.с. Д.Л. Чубаров,

3. **Контактное лицо** - проф., д.ф.-м.н. Леонид Борисович Чубаров, chubarov@ict.nsc.ru

4.

4.1. **Постановка задачи** предполагает разработку и реализацию современных информационно-вычислительных технологий для расчета экстремальных значений проявления катастрофических волн цунами в защищаемых пунктах Дальневосточного побережья РФ с целью их дальнейшего использования в составе новой версии национальной системы предупреждения волн цунами. Результаты, полученные в ходе моделирования на высокопроизводительных вычислительных устройствах, возможных потенциально опасных цунами, порожденных в исследуемом регионе подводными землетрясениями различной мощности и удаленности, предназначены для наполнения базы данных этой системы предупреждения.

Работа выполняется в рамках плана Научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для государственных нужд по федеральной целевой программе «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года» по государственным контрактам, заключенным с Государственным учреждением «Научно-производственное объединение «Тайфун».

Исследования поддерживались также грантами РФФИ (06-05-64869-а, 06-05-72014-МНТИ_а, 07-05-13583-офи_ц, 09-05-00294-а), проектом ИНТАС (06–1000013-9236), программой поддержки фундаментальных междисциплинарных исследований СО РАН (проект 113-2006), проектами программы базовых фундаментальных исследований СО РАН (4.5.2.3, 4.5.2..11, IV.31.2.), проектом программы государственной поддержки научных исследований, проводимых ведущими научными школами Российской Федерации (НШ-931.2008.9).

В качестве модели сейсмического механизма генерации поверхностных волн используется модель Подъяпольского -Гусякова-Окады, которая представляет собой замкнутую систему уравнений динамической теории упругости, описывающей колебания слоя сжимаемой жидкости (модель океана), залегающего на поверхности упругого полупространства (модель земной коры и верхней мантии). В пределах длинноволнового приближения решение такой системы эквивалентно последовательному решению двух отдельных задач:

1. определению статических (остаточных) деформаций поверхности упругого полупространства, возникающих под действием внутреннего источника дислокационного типа (разрыва сплошности среды);

2. вычислению колебаний однородной несжимаемой жидкости в рамках теории мелкой воды при использовании деформаций дна, полученных при решении первой задачи, в качестве начальных условий.

Вычисление остаточных смещений дна океана производится для пространственной дислокационной модели очага землетрясения, описываемой набором параметров.

В качестве гидродинамической модели распространения волн используются нелинейные уравнения мелкой воды с учетом силы Кориолиса и донного трения. На границе «вода/суша» ставится условие отражения, на боковых границах расчетной области — условие свободного прохода волн.

4.2 Современное состояние проблемы

4.3 Ожидаемые результаты по окончании периода работы: детализация на основе уточненной батиметрии базы данных, включающей для каждого защищаемого пункта побережья Дальнего Востока РФ результаты расчета максимальных высот для модельных очагов цунамигенных землетрясений ближней зоны; создание базы данных, включающей для каждого защищаемого пункта побережья Дальнего Востока РФ результаты расчета максимальных высот волн для модельных очагов удаленных цунамигенных землетрясений.

4.4 Основные результаты, полученные к настоящему времени

Разработана и реализована методология разработки баз данных о проявлении волн цунами у Дальневосточного побережья РФ, предназначенных для информационного обеспечения оценок динамического воздействия волн цунами национальной системой предупреждения. Подготовлены соответствующие массивы батиметрической информации; определены основные расчетные области, точки установки расчетных мареографов, а также совокупность модельных «реальных» землетрясений. Создана система вычислительных и общесистемных алгоритмов для серийного расчета начальных возмущений свободной поверхности, подготовлены вычислительные алгоритмы для расчета трансформации волн цунами от области источника возмущения вплоть до берега. Созданы система управляющих алгоритмов, обеспечивающая организацию и проведение серийных расчетов распространения волны цунами; система управления данными, а также достаточно простой и гибкий, интерфейс доступа к информации. Выполнен большой объем производственных расчетов, в ходе которых определены мареограммы, а также экстремальные значения высот волн в защищаемых пунктах.

4.5 Эффект от использования кластера в достижении целей работы

Разработана и реализована методика ускорения расчетов высот волн цунами, генерируемых множеством модельных источников, с использованием возможностей вычислительных комплексов (кластеров) с большим числом процессоров, обеспечивающих возможность одновременного (параллельного) решения однотипных задач, различающихся наборами входных данных (расчетных областей, начальных данных – источников цунами, точек записи результатов – виртуальных мареографов, привязанных к реальным защищаемым пунктам).

4.6 Иллюстрации, визуализация результатов

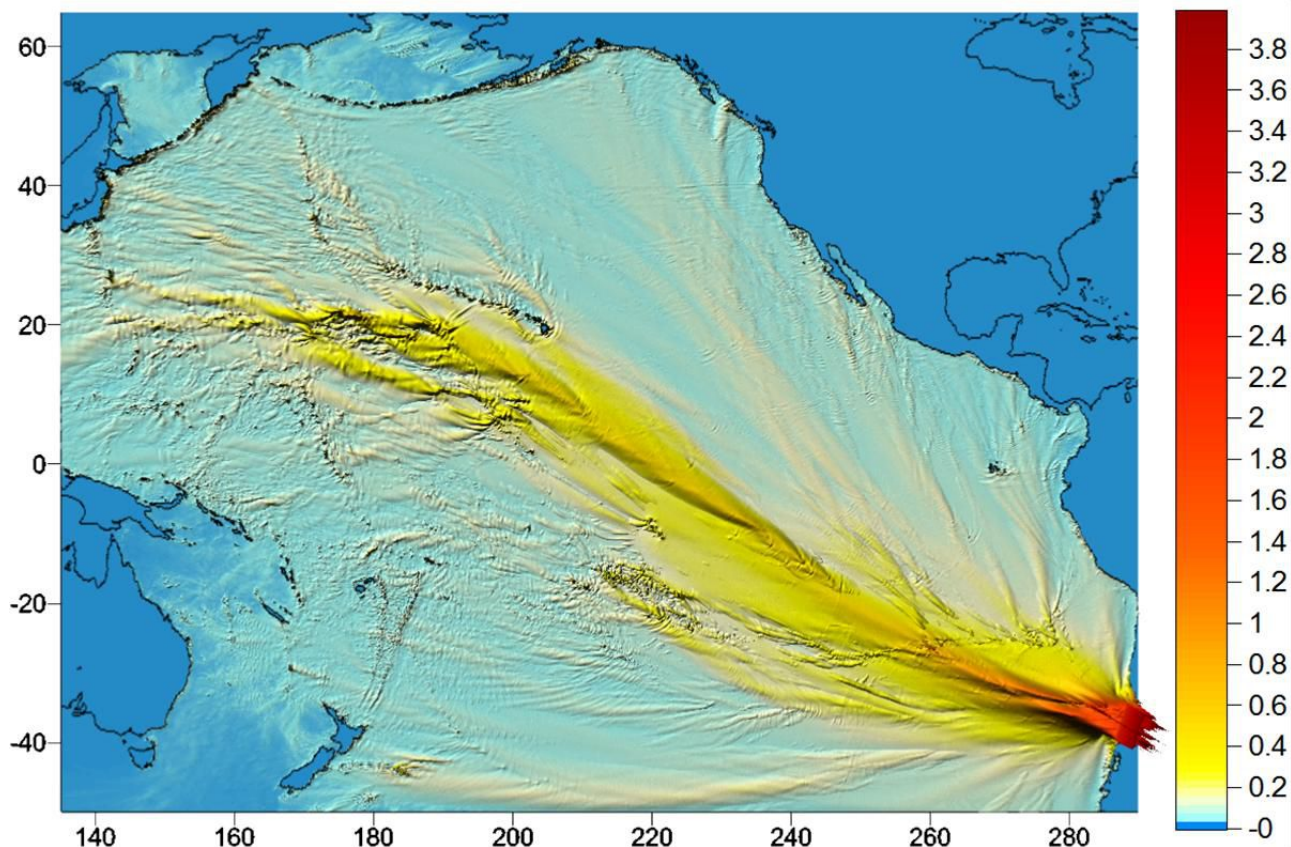


Рис. 1. Результаты моделирования цунами в Тихом океане, вызванного сильным подводным землетрясением с магнитудой 8.8, происшедшим у берегов Чили 27 февраля 2010 года. Были распространены по международной информационной сети Tsunami Bulletin Board через несколько часов после получения первых сообщений о происшедшем в Чили землетрясении, когда вызванные им волны цунами еще распространялись по просторам Тихого океана: Видна фокусировка энергии на центральную часть Тихого океана, вызванная особенностями механизма очага и отражением волн от материкового склона и шельфа Южной Америки

5. Перечень публикаций, содержащих результаты работы

5.1. Бейзель С.А., Гусяков В.К., Чубаров Л.Б. Численное исследование проявлений удаленных цунами у Дальневосточного побережья России // В кн.: Труды X Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб.: Наука, 2010. 478 стр., С. 250-253

5.2. Andreev A., Borodin R., Kamaev D., Chubarov L., Gusiakov V. Automated management-information the tsunami warning system // Programm and Abstracts. 24th International Tsunami Symposium. July, 14-16, 2009. Novosibirsk, Russia. [Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences](#), P.73

5.3. Babajlov V., Beisel S., Chubarov L., Eletsky S., Fedotova Z., Gusiakov V., Shokin Yu. Some aspects of the detailed numerical modeling of tsunami along the Far East coast of the Russian Federation // Programm and Abstracts. 24th International Tsunami Symposium. July, 14-16, 2009. Novosibirsk, Russia. [Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences](#), P.52

5.4. Бейзель С.А., Гусяков В.К., Елецкий С.В., Федотова З.И., Чубаров Л.Б. Экономичные вычислительные технологии повышения точности моделирования волн цунами // Вычислительные технологии, Том 13, Вестник КАЗНУ им аль-Фараби. Серия математика, механика, информатика N 3(58), Совместный выпуск по материалам Международной конференции "Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и

образования", 10-14 сентября 2008 г. ISSN 1560-7534, ISSN 1563-0285, часть I, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Институт вычислительных технологий Сибирского отделения РАН, Алматы-Новосибирск, 2008, стр. 240-254

5.5. В.К.Гусяков, З.И.Федотова, Г.С.Хакимянов, Л.Б.Чубаров О некоторых приемах повышения достоверности результатов численного моделирования наката волны цунами на берег // В кн.: Труды IX Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб.: Наука, 2008. 750 стр., С. 448-452

5.6. С.А.Бейзель, С.В.Елецкий, З.И.Федотова, Л.Б.Чубаров Вычислительные особенности моделирования волн цунами в реальных акваториях // В кн.: Труды IX Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб.: Наука, 2008. 750 стр., С. 432-436

5.7. Shokin Yu.I., Babailov V.V., Beisel S.A., Chubarov L.B., Eletsky S.V., Fedotova Z.I., and Gusyakov V.K. Mathematical modeling in application to regional tsunami warning systems operations // *E.Krause et al. (Eds.): Comp. Science & High Perf. Computing III, Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design 101 pp. 52-68, 2008. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008*

5.8. Л.Б.Чубаров, Ю.И.Шокин Математическое моделирование в задачах поддержки принятия решений в ходе кризисных ситуаций, связанных с катастрофическими волновыми процессами в океане // В кн.: Труды IX Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб.: Наука, 2008. 750 стр., С. 5-10

5.9. В.В.Бабайлов, С.А.Бейзель, А.А.Гусев, В.К.Гусяков, С.В.Елецкий, И.А.Зыскин, Д.А.Камаев, З.И.Федотова, Л.Б.Чубаров, Ю.И.Шокин Информационно-вычислительные аспекты совершенствования национальной системы предупреждения о цунами // Вычислительные технологии. 2008. Т.13, Специальный выпуск 2. С.4-20.

5.10. Шокин Ю.И., Федотова З.И., Чубаров Л.Б. Об использовании методов численного моделирования для оценки катастрофических воздействий длинных волн на прибрежную территорию // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2007, № 4, стр. 104-113

5.11. Leonid B. Chubarov Mathematical modelling in constructing Kamchatka regional tsunami warning systems // In: Abstracts of The Fourth International Conference of Applied Mathematics and Computing, V. 1, August 12-18, 2007 Plovdiv, Bulgaria. Editor Svetoslav Nenov, pp. 76-77

5.12. Шокин Ю.И., Чубаров Л.Б., Федотова З.И., Гусяков В.К., Бабайлов В.В., Елецкий С.В., Смирнов В.В., Бейзель С.А. Информационно-вычислительные аспекты совершенствования камчатского фрагмента национальной системы предупреждения о цунами // В кн.: Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф. Тезисы IX Всероссийской конференции (17–22 сентября 2007 г., Барнаул). – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2007. – 138 с. ISBN 978-5-7904-0709-3 стр. 119

5.13. Гусяков В.К., Елецкий С.В., Федотова З.И., Чубаров Л.Б. Обзор и сравнение некоторых программных систем для моделирования цунами // В кн.: Изучение природных катастроф на Сахалине и Курильских островах: сборник материалов I (XIX) Международной конференции молодых ученых, посвященной 60-летию Института морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, 15-20 июня 2006г. / отв. ред. О.Н. Лихачева, Южно-Сахалинск. Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН. 2007. - 263 с. ISBN 5-7442-1439-9, стр. 214-221

5.14. Shokin, Yu. I., L. B. Chubarov, Z. I. Fedotova, S. A. Beizel, and S. V. Eletsky (2006), Principles of numerical modeling applied to the tsunami problem, // *Russ. J. Earth Sci.*, 8, ES6004, doi:10.2205/2006ES000216. ISSN: 1681–1208 (online) 23 p.

5.15. Шокин Ю. И., Федотов А. М., Чубаров Л. Б. Информационно-телекоммуникационные системы поддержки принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций // Проблемы снижения риска и смятения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на территории Сибирского региона // Материалы научно-практической конференции. - Новосибирск, 2006. -177 с. Стр. 13-24

5.16. Шокин Ю.И., Бейзель С.А., Елецкий С.В., Федотова З.И., Чубаров Л.Б. О некоторых

особенностях вычислительных алгоритмов в задачах о волнах цунами // В кн.: Труды международной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании». I том . -Павлодар: ТОО НПФ «ЭКО», 2006 -690 с, JSBN 9965-439-69-9, стр. 14 – 35

5.17. Шокин Ю.И., Бейзель С. А., Федотова З.И., Чубаров Л .Б. *Об использовании методов численного моделирования для решения прикладных задач проблемы цунами// В кн.: Труды международной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании». I том . -Павлодар: ТОО НПФ «ЭКО», 2006 -690 с, JSBN 9965-439-69-9, стр. 36 – 51*