

УДК: 517.951

Проявление чилийского цунами 2010 г. у берегов Сахалина

*И. С. Костенко, А. И. Зайцев*¹

В настоящей работе проведено численное моделирование распространения волн Чилийского цунами 27 февраля 2010 г. Рассмотрены особенности прохождения цунами через Курильские проливы в Охотское море. Проведено сравнение модельных и реально наблюденных мареографных записей для пунктов на побережье Сахалина. Приведен спектральный анализ записей.

Force of 2010th Chilean tsunami at Sakhalin coast.

Irina S. Kostenko, Anrdey I. Zaytsev, Special Research Bureau FEB RAS

In this work waves expansion numerical modeling of Chilean Tsunami of 27 February 2010 was performed. Features of tsunami passing through Kurils channels in Okhotsk sea were considered. Comparison of model and real mareograph records for stations on Sakhalin shore was carried out. It was performed the spectral analysis of records in settlements of Sakhalin.

Введение

В последние годы существенно возросло число хозяйственных объектов, располагающихся у побережья морей и океанов, подверженных катастрофическому воздействию волн. Значительная часть объектов на Дальнем Востоке, расположенных в береговой зоне, характеризуется высокой степенью риска как в период их возведения, так и, главным образом, в период эксплуатации. Сюда можно отнести платформы шельфовой нефте- и газодобычи (проекты Сахалин-1 и Сахалин-2), порты и прибрежные бухты. Развитие экономики в нашем регионе невозможно без оперативного функционирования систем раннего оповещения. Изучение удаленных цунами позволяет понять физические механизмы их распространения и воздействия в Охотском море.

Моделирование цунами

Математическая модель основана на нелинейных уравнениях мелкой воды, записанных в сферических координатах [10]. Численная модель реализована в виде комплекса NAMI-DANCE, основанного на вложенных сетках

¹ *Костенко Ирина Сергеевна* – младший научный сотрудник, *Зайцев Андрей Иванович* – заведующий лабораторией вычислительной гидромеханики и морских исследований, кандидат физико-математических наук, Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск.

[namidance.ce.mrttu.edu.tr], являющегося модификацией известного японского кода TUNAMI, описанного в [5, 12]. Этот комплекс рекомендован, в частности, ЮНЕСКО для расчетов распространения цунами [13], и его первый вариант уже использовался для моделирования цунами 2004 г. в Индийском океане [2] и оценки цунами риска Япономорского побережья России [6]. Источник цунами выбран в соответствии с известным решением Окада [9], использующим данные о параметрах землетрясения. Последние приводятся на сайте [11] Геофизической службы США.

Эпицентр землетрясения, приведшего к цунами в Тихом океане, произошел 27 февраля 2010 г. в точке с координатами $72^{\circ}72$ з. д. и $35^{\circ}846$ ю. ш. на глубине 55 км. Длина разрыва – 450 км, ширина – 100 км, смещение по разрыву – 15 м. Угол разлома (strike) – 16° , угол смещения плиты вглубь (dip) – 14° , вдоль разлома (slip) – 104° . Рассчитанный источник цунами в соответствии с решением Окада показан на рис. 1. Он представляет собой знакопеременное смещение с максимальной высотой волны в очаге 6 м.

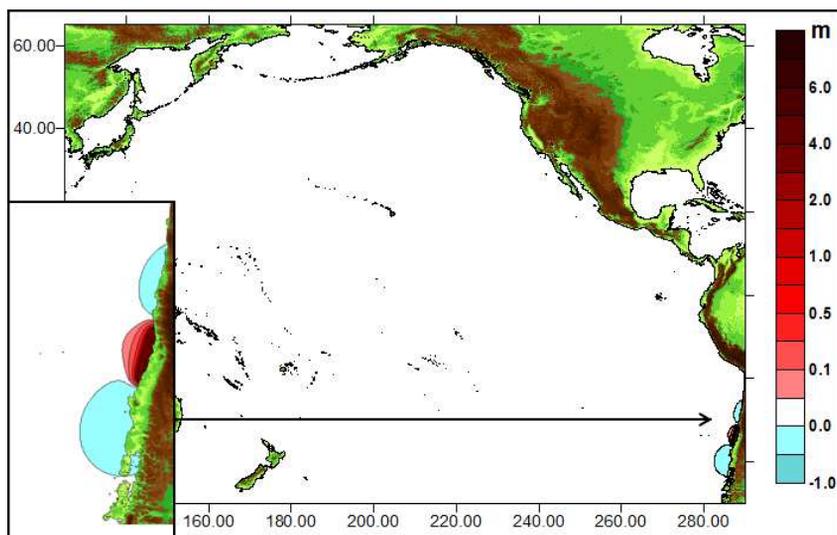


Рис. 1. Источник Чилийского цунами 2010 г.

Моделирование цунами проводилось с помощью усовершенствованного программного комплекса NAMI NESTED, являющегося модификацией программного комплекса NAMI DANCE, основанного на вложенных сетках. Для моделирования прохождения волны через узкие проливы Курильских островов были использованы вложенные более мелкие сетки. Они позволяют увеличить количество расчетных точек в узких Курильских проливах [3]. Это необходимо для точного моделирования прохождения волны цунами в акваторию Охотского моря. Расстояние между узлами каждого вложенного домена должно быть в три раза меньше. Шаг сетки батиметрии Тихого океана – 2,7 угловых минут, для южной части Охотского моря и Курильских островов – 90

секунд, для Курильских проливов – 30 секунд. Батиметрии получены из одноминутной батиметрии GEBCO1 Digital Atlas. Цунами моделировалось на протяжении 30 часов с момента начала землетрясения. На рис. 2 показано максимальное распределение амплитуд волн от цунами 2010 г. В нижнем левом углу показано максимальное распределение амплитуд в районе Курильских островов и Охотского моря. Отсюда видно, что основной удар стихии от удаленного цунами принимают на себя Курильские острова, а на побережье Сахалина приходит волна с меньшей высотой [8]. Анализ наблюдений за высотами волн цунами в северо-западной части Тихого океана это подтверждает [1, 4, 7].

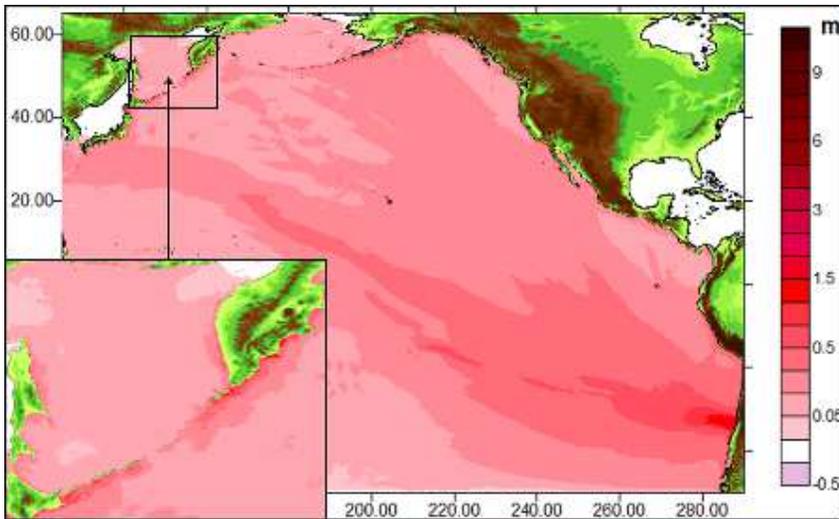


Рис. 2. Распределение максимальных амплитуд в разных доменах Чилийского цунами 2010 г.

Сопоставление натуральных и расчетных данных

В настоящей работе приведено сравнение между численным моделированием Чилийского цунами 2010 г. с натурными записями уровня моря. Для изучения особенностей проявления цунами в разных пунктах Сахалинской области была использована запись уровня моря в г. Корсаков, предоставленная Сахалинским Центром Цунами, и запись волнения в п. Охотское в ковше рыбозавода, которая проводилась ИМГиГ ДВО РАН. Чтобы сделать сравнительный анализ произошедшего события с данными моделирования, в этих населенных пунктах были поставлены компьютерные мареографы.

В г. Корсаков (рис. 3) цунами началось с небольшого поднятия 5–10 см, спустя 25 часов после начала землетрясения. Времена прихода цунами по результатам моделирования и мареографной записи практически совпадают. При моделировании максимальной является третья волна. Ее высота около

Проявление чилийского цунами 2010 г.
у берегов Сахалина

0,4 метра. На мареографной записи и на компьютерной записи можно выделить длинноволновые колебания с периодом около двух часов.

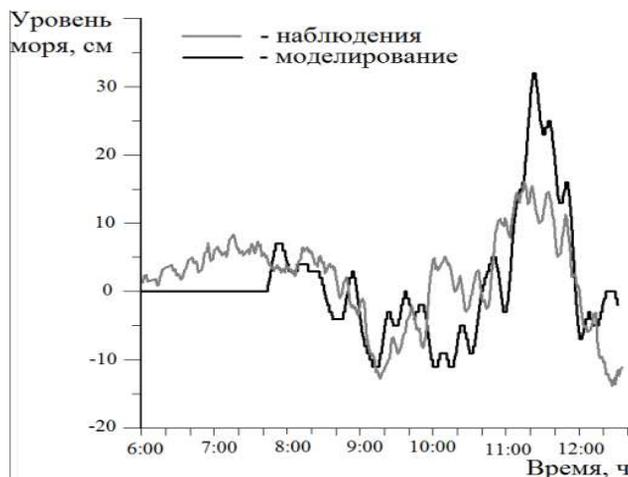


Рис. 3. Сопоставление записей Чилийского цунами 2010 г. в г. Корсаков

В районе п. Охотское (рис. 4) цунами началось также с небольшого поднятия на 10 см, спустя около 23 ч после начала землетрясения, времена прихода в моделировании и в мареографной записи практически совпадают. При моделировании максимальной является четвертая волна, с высотой около 0,5 м, на мареограмме максимальная также четвертая волна с высотой 0,2 м. Периоды колебаний на мареографной записи и на компьютерной записи составляют около двух часов.

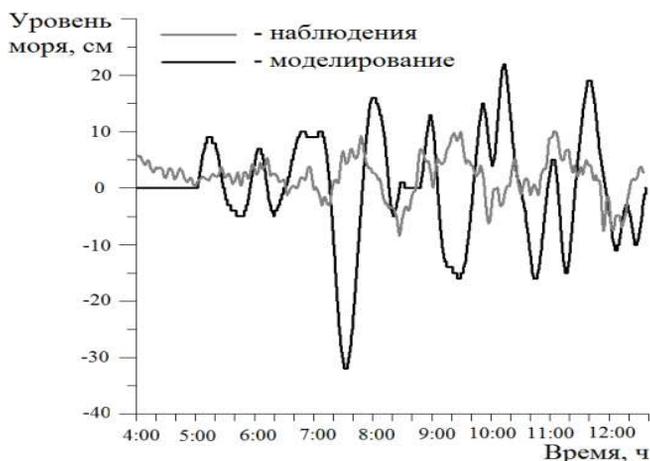


Рис. 4. Сопоставление записей Чилийского цунами 2010 г. в г. Охотское

Датчики измерения уровня моря располагаются в ковше порта, а компьютерные мареографы вне его на глубине 15–20 м. Этим объясняется немногим более ранний приход волны цунами по данным моделирования.

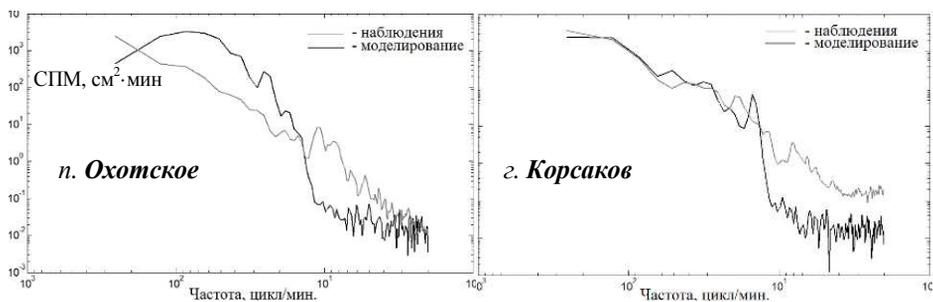


Рис. 5. Оценка спектральной плотности мощности для данных наблюдений и модельных записей волновых процессов

На рис. 5 представлено сравнение спектральных оценок плотности мощности по данным наблюдения и моделирования в п. Охотское. Из рисунка видно, что на периодах длинных волн более 10 минут наблюдается достаточно хорошее совпадение модельных и реальных частот. Это можно объяснить использованием уравнений мелкой воды при моделировании.

2

Заключение

Выполнено моделирование Чилийского цунами, произошедшего 27 февраля 2010 г., с помощью численного кода, основанного на уравнениях мелкой воды, в сферических координатах с учетом вращения Земли. Была использована модель, основанная на вложенных сетках, что позволило промоделировать прохождение волны через узкие проливы Курильских островов. Проведено сравнение модельных и реально наблюдаемых мареографных записей для пунктов на побережье Сахалина, которое подтвердило корректность численного эксперимента для всех этих случаев. Исследование и анализ прохождения удаленных цунами к побережью Сахалина важно для тестирования системы оповещения, так как время распространения волны от Чили до побережья России более 20 ч, и времени достаточно для принятия верного решения.

Выполнение этой работы поддержано грантами РФФИ (11–05–00216 и 09–05–00971) и МК–6734.2010.5.

Литература

1. Го Ч. Н., Кайстренко В. М., Пелиновский Е. Н., Симонов К. В. Количественная оценка цунамиопасности и схема цунамирайонирования Тихоокеанского побережья СССР // Тихоокеанский ежегодник. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. – С. 9–17.
2. Зайцев А. И., Куркин А. А., Левин Б. В., Пелиновский Е. Н., Ялчинер А., Троицкая Ю. И., Ермаков С. А. Моделирование распространения катастрофического цунами (26 декабря 2004 г.) в Индийском океане // Доклады РАН, 2005. – Т. 402. – № 3. – С. 388–392.

*Проявление чилийского цунами 2010 г.
у берегов Сахалина*

3. Зайцев А. И., Костенко И. С., Чернов А. Г. Моделирование воздействия удаленного цунами на Дальневосточное побережье России // Труды Нижегородского государственного технического университета им. П. Е. Алексеева. – № 3 (82), 2010. – С. 34–39.
4. Заякин Ю. А. Цунами на Дальнем Востоке России. – Петропавловск-Камчатский: Камшат, 1996. – 88 с.
5. Куркин А. А., Зайцев А. И., Ялчинер А., Пелиновский Е. Н. Модифицированный вычислительный комплекс «ЦУНАМИ» для оценки рисков, связанных с цунами // Известия АИН им. А. М. Прохорова. Прикладная математика и механика. – 2004. – Т. 9. – С. 88–100.
6. Куркин А. А., Пелиновский Е. Н., Чой Б., Ли Дж. С. Сравнительная оценка цунамиопасности япономорского побережья России на основе численного моделирования // Океанология, 2004 б. – Т. 44. – № 2. – С. 179–188.
7. Щетников Н. А. Цунами на побережье Сахалина и Курильских островов по магеографным данным 1952–1968 гг. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. – 164 с.
8. Файн И. В. Расчет захваченных волн для района Курильской гряды // Волновые процессы в северо-западной части Тихого океана: сб. научных статей. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. – С. 87–92.
9. Okada Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // Bull. Seism. Soc. America. 1985. V. 75. P. 1135–1154.
10. Yalciner A. C., Pelinovsky E., Zaytsev A., Kurkin A., Ozer C., Karakus H., Ozyurt G. Modeling and visualization of tsunamis: Mediterranean examples // Tsunami and Nonlinear Waves (Ed: Anjan Kundu), Springer, 2007. P. 273–283.
11. Сайт Геофизической службы США [Электронный ресурс]: http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/events/1960_05_22.php.
12. Сайт ЮНЕСКО [Электронный ресурс]: [ioc3.unesco.org/ptws/21/\(documents\)/TsuModelMan-v3-ImamuraYalcinerOzyurt_apr06.pdf](http://ioc3.unesco.org/ptws/21/(documents)/TsuModelMan-v3-ImamuraYalcinerOzyurt_apr06.pdf)
13. Сайт разработчиков программы AVI-NAMI [Электронный ресурс]: <http://avi-nami.ce.metu.edu.tr>