

УДК 550.344.42+551.466.62 (265)

ОПЕРАТИВНЫЙ ПРОГНОЗ ЦУНАМИ ПО ДАННЫМ БЛИЖАЙШИХ К ОЧАГУ ГЛУБОКОВОДНЫХ СТАНЦИЙ, СОДЕРЖАЩИМ ШУМЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Королев Ю.П.¹, Лоскутов А.В.^{1,2}

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Yu_P_K@mail.ru

²Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, г. Москва

Введение

В настоящее время оперативный прогноз цунами осуществляется на основе магнитудно-географического метода. Как следствие, службы предупреждения о цунами объявляют свыше 75% ложных тревог.

Повысить качество прогноза возможно на основе гидрофизических методов, использующих данные глубоководных станций о цунами в открытом океане (например, станций системы DART). Ранее [1] была показана принципиальная возможность оперативного прогнозирования цунами, возникающих в районе центральных Курильских островов по данным ближайшей к очагу станции DART 21419. Заблаговременность прогноза для пунктов северных и южных островов составляет 0.5 – 1.5 час., что обеспечивает своевременную подачу тревоги и эвакуацию населения в безопасные места.

Очевидно, что в случаях локальных цунами оперативность, заблаговременность прогноза зависит от близости станций к очагу цунами. Данные таких станций могут содержать шумы сейсмического происхождения, наложенные на полезный сигнал. Разделить полезный сигнал и шум в такой ситуации, по-видимому, невозможно. Это обстоятельство может стать препятствием для получения адекватного прогноза. В условиях оперативного режима требуется за короткое время оценить степень опасности цунами, не вдаваясь в проблему разделения сигналов.

Задачей работы являлся прогноз цунами по данным о цунами с шумом. Представлял интерес выяснить, насколько наличие шума в записи уровенной станции влияет на результат прогноза. Предметами исследования являлись события 2006, 2007 гг. (Симуширские цунами) и 2018 г. (Аляскинское цунами с эпицентром вблизи о. Коджак).

Постановка задачи

Для решения задачи моделирования процесса оперативного прогнозирования Симуширских цунами 2006 и 2007 гг. выполнен численный эксперимент по расчету (в дальнейшем – прогнозу) волновой формы цунами в населенных пунктах Курильских островов и острова Хоккайдо по реконструированным данным о цунами в точке 21419. Ввиду близости станции к очагам цунами запись цунами должна содержать шумы, обусловленные сейсмическими волнами. К данным о цунами в этой точке добавлены реконструированные шумы сейсмического происхождения.

Аляскинское землетрясение 23.01.2018 с эпицентром в точке с координатами 56°02'46" с. ш., 149°04'23" з. д. вблизи о. Коджак вызвало слабое цунами, зарегистрированное рядом станций системы DART, а также множеством береговых мареографов. Цунами не причинило ущерба, но событие является хорошей возможностью, позволяющей лишний раз проверить на фактическом материале справедливость различных моделей прямого расчета и оперативного прогноза цунами.

Ближайшая к очагу цунами станция DART 46409 находилась в непосредственной близости от очага (около 90 км от эпицентра при времени пробега около 7 минут). Ввиду этого данные станции содержат запись как собственно цунами, так и шум, обусловленный сейсмическими причинами (волнами Рэлея), наложенный на полезный сигнал [3]. Численный эксперимент заключался в моделировании процесса оперативного прогнозирования цунами 23.01.2018 для северной и северо-восточной частей Тихого океана по данным этой станции.

Результаты и обсуждение

Симуширские цунами 2006 и 2007 гг. Для решения задачи использовались результаты моделирования процесса оперативного прогноза цунами 2006 и 2007 гг., представленные в работе [1].

Расчетная схема численных экспериментов изображена на рис. 1.

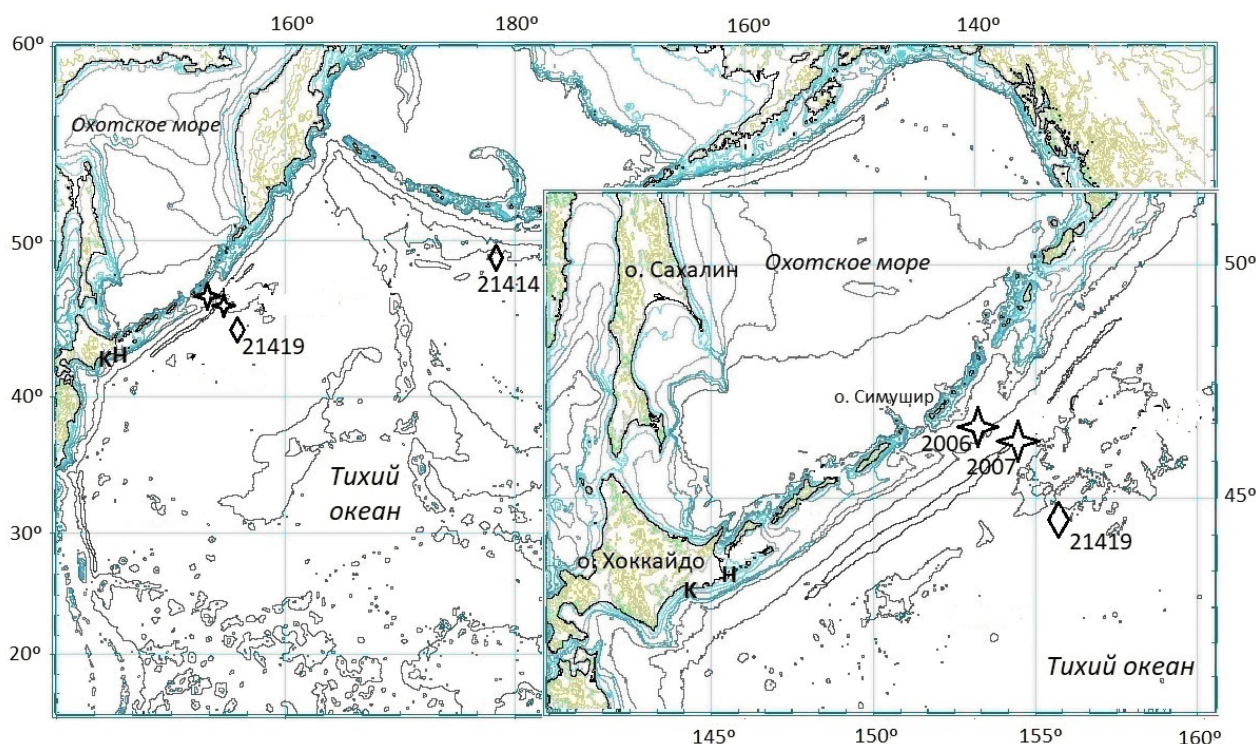


Рис.1. Расчетная схема численного эксперимента. Звездочками обозначены эпицентры землетрясений, ромбами – положения станций системы DART. На схеме обозначено: Н – Ханасаки, К – Куширо.

На рис. 2 (а, б) представлены исходные сигналы, зарегистрированные станцией DART 21414 (время пробега цунами до которой составляло около 2 час.) в 2006 и 2007 гг. [3], включающие шум, обусловленный сейсмическими причинами. Из записей удалены низкочастотные приливные составляющие. Ввиду удаленности станции DART 21414 от очага шум, обусловленный сейсмическими причинами, и собственно цунами хорошо разделяются. По данным о цунами этой станции реконструированы формы цунами ("чистое" цунами) в точке, где в настоящее время находится ближайшая к очагам станция DART 21419 (рис. 2 (в, г)).

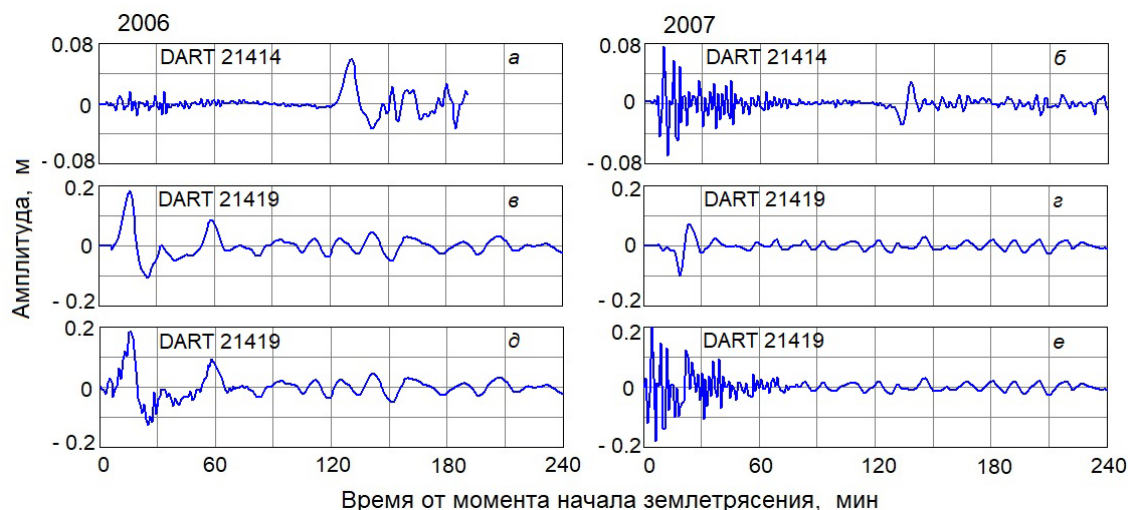


Рис. 2. Исходные и реконструированные данные цунами 2006 и 2007 гг.

Для учета сейсмического шума к восстановленным записям станции DART 21419 (рис. 2 (в, г)) добавлены шумовые составляющие, реконструированные из записей станции DART 21414 длительностью 70 мин. от момента первого вступления (рис.2 (а, б)). При расчете этих составляющих учтено изменение амплитуды волн Рэлея за счет цилиндрической расходимости с расстоянием от

эпицентра до точки регистрации. Результирующие формы цунами, составленные из реконструированных форм и возможных шумов сейсмического происхождения, представлены на рис. 2 (д, е).

Прогноз цунами 2006 и 2007 гг. способом оперативного прогноза цунами [2], модифицированным для прогноза локальных цунами, выполнен для пунктов Курильских о-вов и о. Хоккайдо. На рис. 3 представлены результаты прогноза цунами 2006 г. (левая колонка) и 2007 г. (правая колонка) по реконструированным данным с шумом станции DART 21419 длительностью 32 мин. и 35 мин. от момента начала землетрясения, соответственно, и сравнение с реальными записями.



Рис. 3. Результаты прогноза цунами 2006 и 2007 гг.

Результаты прогнозов в Ханасаки хорошо совпадают с формами зарегистрированных цунами. Для события 2007 г. прогноз по данным с шумом отличается от прогноза по "чистым" данным наличием высокочастотных колебаний после 180 мин., не имеющих отношения к цунами. Впрочем, наличие таких колебаний не может повлиять на принятие решения об объявлении тревоги цунами.

Расчетные формы цунами в Кусиро для обоих событий достаточно хорошо совпадают с реальными. Прогнозы, выполненные по данным с шумом и без шума, практически не различаются.

Вопреки опасениям, прогноз для Ханасаки и Кусиро по данным, осложненным шумом сейсмического происхождения, вполне адекватен. Качество прогноза позволяет достоверно оценить опасность ожидаемого цунами и принять решение об объявлении тревоги в этих пунктах.

Аляскинское цунами 2018 г. В численных экспериментах для построения передаточной функции использовался вспомогательный источник с центром, совпадающим с эпицентром землетрясения, диаметром 75 км и с максимальной амплитудой 8 м. Применялись сферические координаты на разностной сетке с шагом 3.83×3.83 км на широте 40° с.ш. Расчетная схема численного эксперимента представлена на рис. 4.

Исходными данными для прогноза являлась запись ближайшей к очагу цунами станции DART 46409 [3], из которой удалены только приливные составляющие. Согласно оценкам, в записи станции DART 46409 собственно цунами отвечают данные, начиная с 7 минуты записи (рис. 5). Предшествующие колебания обусловлены сейсмическим шумом. Для сравнения приведена реконструированная форма "чистого" цунами.

Прогноз выполнен по данным этой станции длительностью 16 минут от начала землетрясения, включающим как собственно цунами, так и сейсмический шум (рис. 5). Результаты прогноза представлены на рис. 6. Для сравнения с формой реального цунами использовались данные станций системы DART [3].

Несмотря на имеющиеся выбросы, получено достаточно хорошее соответствие расчетных и фактических форм. Результаты расчета позволяют оценить степень опасности цунами. Качество прогноза соответствует качеству расчетов, представленных в [4].

Прогноз выполнен также некоторых пунктов северо-восточной части Тихого океана. Результаты представлены на рис. 7. Данные мареографов для сравнения взяты из [5]. Влияние сейсмического шума на рассчитанные формы цунами не проявляется.

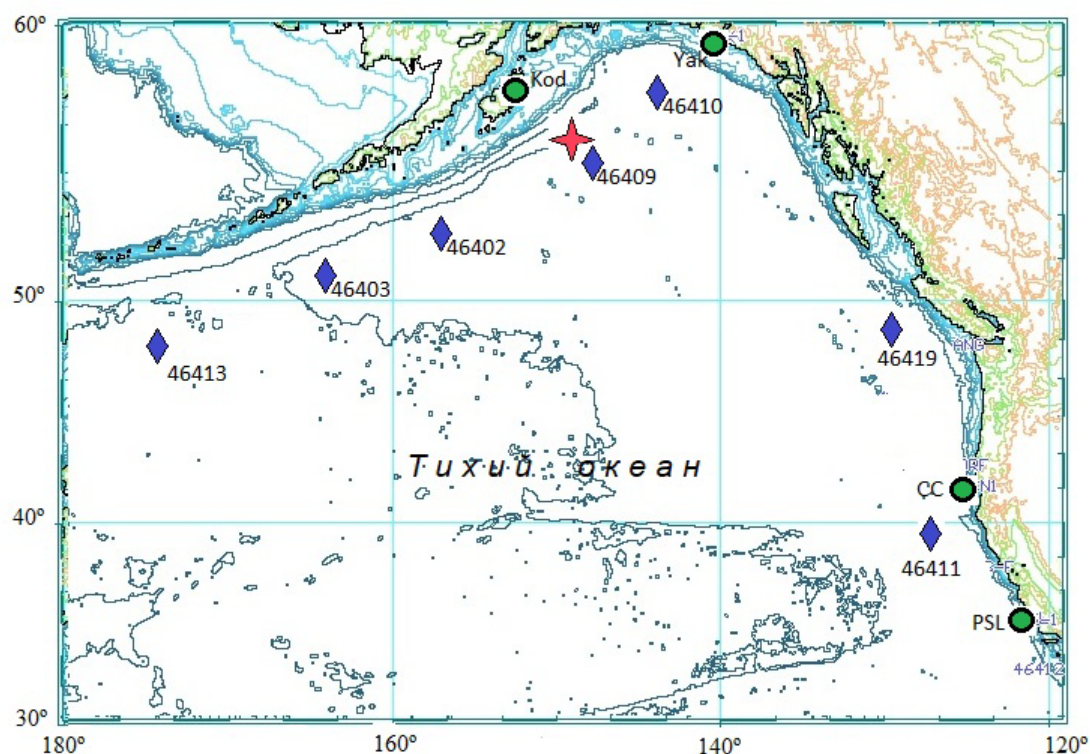


Рис. 4. Расчетная схема численного эксперимента.

Звездочка – эпицентр землетрясения, ромб – положение станции DART, окружность (кружок) – точка вблизи побережья. На схеме обозначено: Kod – Кодьяк, Yak – Якутат, CC – Кресент Сити, PSL – Порт Сан Луис.



Рис. 5. Мареограмма цунами на ближайшей к очагу станции DART 46409.

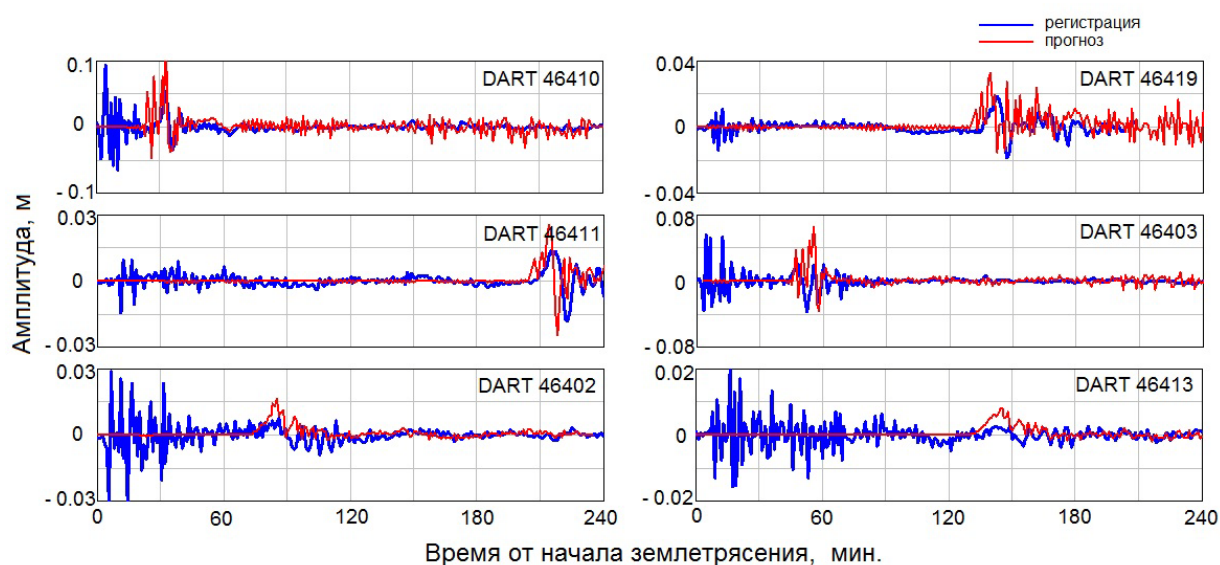


Рис. 6. Результаты прогноза цунами по данным станции DART 46409 в точках регистрации в океане.

Ввиду грубости разностной сетки расчетные точки находились на достаточно большом удалении от регистрирующих мареографов (от 3 до 15 км). Несмотря на значительные расхождения в местоположениях расчетных точек и мареографов, получено неплохое соответствие головных частей расчетных и фактических волновых форм.

Рассчитанные формы цунами позволяют оценить степень опасности цунами в населенных пунктах.

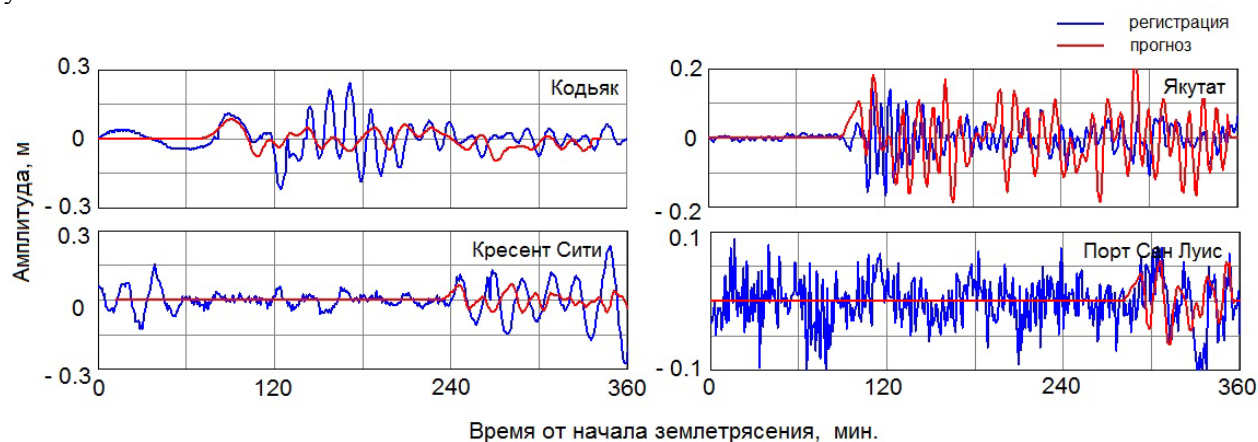


Рис. 7. Результаты прогноза цунами по данным станции DART 46409 в точках вблизи Западного побережья США.

Аналогичный по качеству прогноз получен также по данным других ближайших к очагу станций DART 49403 и 46410. Прогноз выполнялся по данным “чистого” (без шума) цунами, зарегистрированного этими станциями.

Заключение

Выполнено численное моделирование процесса оперативного прогнозирования цунами 2006, 2007 и 2018 гг. вблизи Курильских островов и в северной и северо-западной частях Тихого океана по данным о цунами глубоководных станций, осложненным шумом сейсмического происхождения.

Несмотря на грубую сетку, в эксперименте прогноз вблизи побережья дает вполне хороший результат, с качеством, достаточным для идентификации ожидаемого цунами и принятия решения об объявлении тревоги.

Вопреки предположению, что неустранимый сейсмический шум в записи цунами на ближних к очагу станциях может повлиять на качество прогноза, численный эксперимент показал, что наличие шума оказывает незначительное влияние на результаты прогноза.

Результаты моделирования в очередной раз подтвердили, что примененный в работе способ расчета – экспресс-метод оперативного прогноза цунами – мог бы стать эффективным инструментом, позволяющим с достаточной заблаговременностью осуществлять достоверный прогноз ожидаемого цунами на Курильских островах по данным о цунами в открытом океане.

К сожалению, Россия не располагает данными о цунами в открытом океане, получаемыми в оперативном режиме. Россия является едва ли не единственной страной бассейна Тихого океана, не имеющей приобретенных или собственных глубоководных станций измерения уровня океана, данные которых позволили бы выполнять оперативный прогноз цунами.

Список литературы

1. Королев Ю.П., Лоскутов А.В. Моделирование Симуширских цунами 2006, 2007 и 2009 на основе информации станций системы DART // Труды Шестой научно-технической конференции Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Петропавловск-Камчатский. 1-7 октября 2017 г / Отв. ред. Д.В. Чебров. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 216–220.
2. Korolev Yu. P. An Approximate Method of Short-term Tsunami Forecast and the Hindcasting of Some Recent Events // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2011. V. 11 P. 3081–3091.
3. National Data Buoy Center. URL: <http://www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml> (дата обращения 27.08.2019).
4. NOAA Center for Tsunami Research. Kodiak, Alaska Tsunami, January 23, 2018. Main Event Page. URL: <https://nctr.pmel.noaa.gov/alaska20180123> (дата обращения: 27.08.2019).
5. Sea Level Station Monitoring Facility. URL: <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/list.php?showall=a&output=general&order=location&dir=asc> (дата обращения: 27.08.2019).