

ЧИЛИЙСКОЕ ЦУНАМИ 1 АПРЕЛЯ 2014 г.: ОПЕРАТИВНЫЙ ПРОГНОЗ ДЛЯ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

Ю.П. Королев

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия;
Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия.
y.korolev@imgg.ru*

Введение

Землетрясение с $M_w = 8.2$ произошло 1 апреля 2014 г. в 23:46:46 всемирного скоординированного времени (UTC) (2 апреля 10:46:46 сахалинского времени) у северного побережья Чили с эпицентром в точке с координатами 19.642° ю.ш., 70.817° з.д. [15]. На побережье Чили, Эквадора и Коста-Рики была объявлена тревога цунами и произведена эвакуация населения с опасных территорий. Возникшее цунами вызвало затопление ближайшего к очагу участка побережья Чили высотой более 2 метров [15].

Несмотря на относительно невысокую магнитуду землетрясения, национальные службы предупреждения о цунами в Тихом океане (в том числе российская) находились в состоянии готовности в течение длительного времени. В частности, российская служба предупреждения о цунами принятие решения об объявлении тревоги цунами на Курильских островах откладывала до получения информации о проявлении цунами на Гавайских островах, являющейся ключевой для такого рода цунами. По получении информации об амплитудах цунами на Гавайских островах, равных примерно 1 см [14], принято решение тревогу на Курильских островах не объявлять.

Известно, что цунами, возникающие у побережья Чили, являются потенциально опасными для побережий российского Дальнего Востока. Во время Чилийского цунами 1960 г. от землетрясения с $M_w = 9.5$ на побережье полуострова Камчатка и Курильских островов зарегистрированы заплески высотой до 7 м [15]. Во время недавнего Чилийского цунами 27 февраля 2010 г. от землетрясения с $M_w = 8.8$ ожидалось заметное цунами на Курильских островах, была объявлена тревога цунами, произведена эвакуация населения. К счастью, волны с амплитудами около 1 м не вызвали разрушений и не привели к человеческим жертвам [1].

Цунами относятся к немногим стихийным бедствиям, опасность которых возможно прогнозировать, своевременно объявлять тревогу и организовывать эвакуацию населения.

Действующий в настоящее время регламент, основанный на магнитудном критерии, не дает количественной информации об ожидаемом цунами, не позволяет объявлять дифференцированную по отдельным пунктам тревогу, что приводит к значительному числу ложных тревог.

Работы по совершенствованию оперативного прогноза цунами выполнялись в рамках ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года». В обстоятельной статье [4] представлены результаты работ по модернизации российской системы предупреждения о цунами (СПЦ). Основными задачами модернизации СПЦ являлись повышение надежности оповещения, исключение пропуска цунами и уменьшение числа ложных тревог.

Прогресс в модернизации российской СПЦ, отмечается в [4], достигнут за счет развития сети сейсмологических наблюдений, более оперативного и точного определения магнитуды землетрясений, развития системы связи и оповещения об угрозе цунами. Признано, однако, что показатели качества работы СПЦ не могут быть существенно улучшены при использовании только магнитудно-географического способа прогнозирования без привлечения гидрофизической информации о цунами.

Внимание уделялось также развитию и модернизации сети гидрофизических наблюдений. Гидрофизическая сеть СПЦ состоит в основном из береговых автоматизированных постов (АП), береговых постов гидрометеорологических станций [4]. К настоящему времени произведена постройка двух донных гидрофизических станций 21401 и 21402 системы DART с океанской стороны Курило-Камчатского желоба [12, 14], однако в оперативной работе Центра цунами их данные не используются.

В [4] описана названная современной концепция оперативного прогнозирования цунами. Согласно этой концепции в настоящее время в практику Российской СПЦ внедряется способ

оперативного прогноза, основанный на предварительных расчетах. Предполагается, что, как и прежде, тревога цунами будет объявляться на основании магнитудного критерия. Дополнительно предполагается прогнозирование ожидаемых высот волн цунами, основанное на предварительных численных расчетах.

Прогнозирование высот цунами осуществляется на основании специально создаваемой базы теоретических мареограмм в пунктах, для которых составляется прогноз. Эти теоретические мареограммы рассчитываются от элементарных источников, распределенных в соответствии с сеймотектоническими особенностями акватории вокруг защищаемой территории. Источники строятся на основе наиболее вероятной пространственной дислокационной модели очага землетрясения.

Есть серьезные основания сомневаться в том, что такое усовершенствование способа оперативного прогноза цунами действительно будет успешным. Построение источников основано лишь на предположениях. Прогноз в случаях, когда механизм землетрясения будет отличаться от предполагаемого, может оказаться недостоверным, как это произошло во время Симуширского цунами 13 января 2007 года [6] и цунами Тохоку 11 марта 2011 года [7]. Как представляется, такой способ не позволит существенно уменьшить количество ложных тревог.

Подобный подход предлагался еще в 1996 г. [11] в начале развития системы DART. Предполагалось создание базы заранее рассчитанных мареограмм, исходя из наиболее вероятных источников цунами, в пунктах прогноза и в точках в океане, где находятся станции измерения уровня. Предполагалось, что результатом прогноза будут являться заранее рассчитанные мареограммы, скорректированные, в отличие от описанного выше способа, исходя из сравнения с данными станций измерения уровня. Впоследствии от такого способа, как неперспективного, отказались в пользу гидрофизического, основанного на данных о цунами в открытом океане [9, 11].

Проблема оперативного прогноза цунами заключается в том, чтобы службы предупреждения объявляли не только обоснованные общие тревоги, но и дифференцированные по степени опасности для конкретных участков побережий. Идеально тревога цунами должна объявляться только в тех пунктах, в которых цунами представляет реальную опасность, и сопровождаться информацией о времени прихода первой волны, о высотах волн, их количестве и интервалах времени между ними и об ожидаемом времени окончания цунами (отбой тревоги цунами). На основе именно этих соображений Межправительственная океанографическая комиссия ЮНЕСКО лишь в 2013 г. сформулировала определение понятия оперативный прогноз цунами [13].

В настоящее время прогноз цунами возможен на основе информации о сформировавшемся цунами, получаемой в открытом океане. С появлением такого инструмента, как глубоководные донные станции измерения гидростатического давления (система DART [14]), позволяющего измерять уровень водной поверхности океана с большой точностью, реализация идеи, предложенной в конце 60-х годов прошлого века, возможна [2, 5, 9, 10].

Для оперативного прогноза цунами требуется сейсмологическая информация только о времени главного толчка и координатах эпицентра землетрясения и информация о цунами от глубоководной станции системы DART [2, 5].

Результатом являются время прихода и форма ожидаемого цунами в заданных пунктах. Достаточно большая длительность прогноза позволяет учесть возможные вторичные волны, нередко имеющие амплитуды, значительно превышающие амплитуды головных волн, а также оценить длительность возможной тревоги цунами.

На основании полученной информации принимается решение об объявлении тревоги цунами только в тех пунктах, в которых цунами представляет реальную угрозу, причем, с оптимальной для каждого пункта заблаговременностью.

Способ оперативного предупреждения о цунами применялся для ретроспективного прогноза произошедших ранее цунами [3, 5]. Результаты демонстрируют вполне хорошее совпадение форм расчетных и зарегистрированных цунами, как в открытом океане, так и вблизи населенных пунктов Курильских островов.

Прогноз Чилийского цунами 1 апреля 2014 г.

Прогноз Чилийского цунами 1 апреля 2014 г. выполнен в режиме, близком к режиму реального времени.

На рис. 1 представлена схема расположения станций системы DART в Тихом океане, а также защищаемых пунктов на Курильских островах.

Расчет проводился для точек в океане, в которых находятся станции системы DART, а также вблизи Северо-Курильска (о. Парамушир), Южно-Курильска (о. Кунашир) и портпункта Буревестник в зал. Касатка (о. Итуруп).

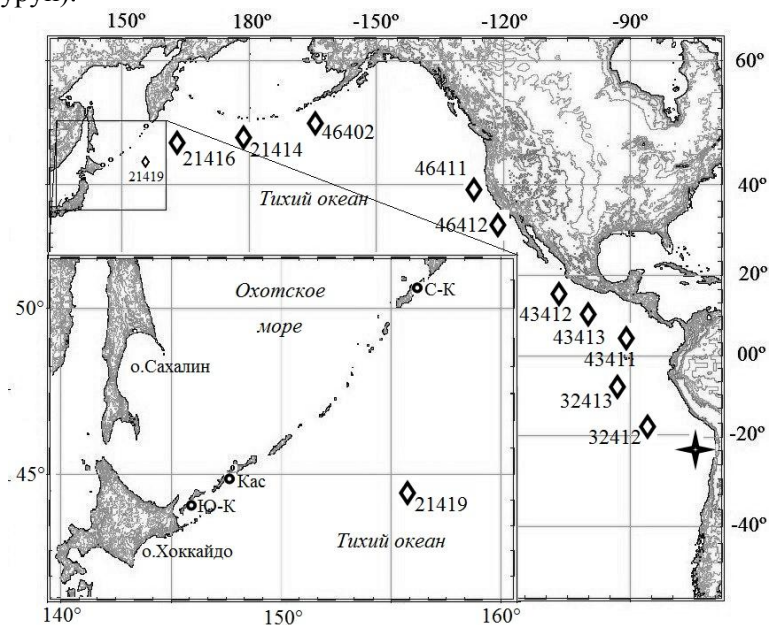


Рис. 1. Расчетная схема численного эксперимента. Звездочкой отмечен эпицентр землетрясения 1 апреля 2014 г. Символом \diamond обозначены положения станций системы DART. На врезке обозначено: \circ С-К – Северо-Курильск, \circ Кас – зал. Касатка вблизи пос. Буревестник, \circ Ю-К – Южно-Курильск.

К моменту начала выработки прогноза (2 апреля около 20 час. сахалинского времени) были доступны данные об уровне океана станций DART 32412, 32413, 32411, 43412 и 43413 [8]. Данные станции DART 32413 взяты в качестве опорных, на основе которых выполнен прогноз в точках в океане и вблизи пунктов Курильских островов. Сравнение данных станций DART 43412 и 43413 с расчетными показало адекватность последних и позволило рассчитывать на достаточно точный прогноз для района Курильских островов. Сравнение результатов расчета с фактическими данными в других точках произведено 2–3 апреля 2014 г. после прохождения цунами через эти точки.

Результаты расчетов в некоторых точках представлены на рис. 2.

При распространении от Калифорнии вдоль западного побережья США, вдоль Алеутских островов до Курильских островов и Японии цунами оставалось практически неизменным: сохранялась форма волны, амплитуда, составлявшая 0.5 см. Те же форма и амплитуда прогнозировались для точки, где находится станция DART 21416, не зарегистрировавшая цунами.

Прогноз цунами для Курильских островов

Предварительный прогноз для населенных пунктов на Курильских островах был выполнен 2 апреля около 21 час. сахалинского времени, исходя из аналогии с Чилийским цунами 2010 г. Это цунами было зарегистрировано ближайшей к Курильским островам станцией DART 21416, а также в Северо-Курильске. Коэффициент усиления, рассчитанный по максимальным амплитудам в Северо-Курильске и на станции DART 21416 [8], составил около 20.

Расчетное цунами 2014 г. на ближайших к Курильским островам станциях DART 21419 (позднее подтвержденное инструментальными измерениями, см. рис. 2) и DART 21416 должно иметь амплитуду около 0.5 см.

Таким образом, исходя из прогноза на станции DART 21416 и коэффициента усиления, равного 20, в Северо-Курильске 3 апреля 2014 г. в 07:34 сахалинского времени следовало ожидать цунами с максимальной амплитудой 10 см, в других пунктах Курильских островов – не более 5 см.

Несколько позднее, после перехода на сетку с меньшим шагом 900 м на широте 45° с.ш. и завершения расчетов, для пунктов Курильских островов получены формы ожидаемого цунами (рис. 3). Длительность второго этапа расчета – около 1 часа. Уточненный прогноз выполнен за 3.5 час. до получения информации о проявлении цунами на Гавайских островах и за 9–10 часов до ожидаемого прихода цунами в населенные пункты Курильских островов.

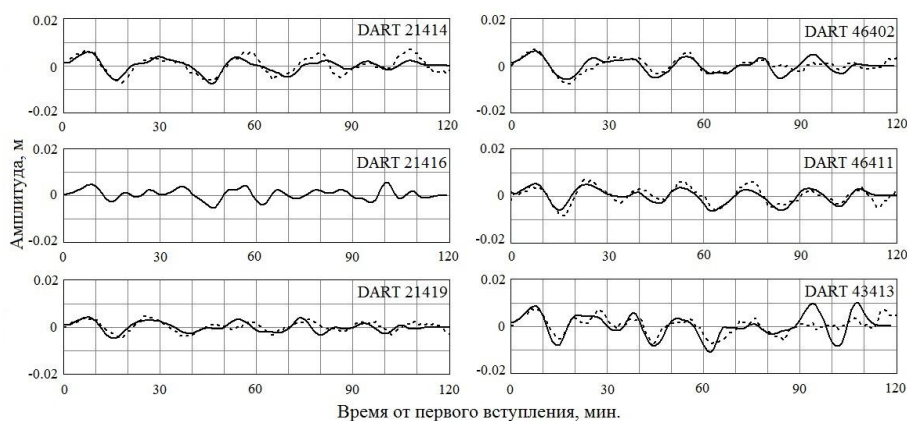


Рис. 2. Расчетные и зарегистрированные формы цунами в океане. Сплошная линия – прогноз, пунктир – фактические данные (получены, за исключением данных DART 43413, 3 апреля 2014 после прохождения цунами).

В Северо-Курильске, о. Парамушир (точка С-К на рис. 1 на расстоянии 1.1 км к востоку от порта, глубина воды 16 м), прогнозировались головные волны амплитудой до 4 см, время прихода цунами 3 апреля 2014 г. в 07:34. Структура прогнозированной волны цунами в Северо-Курильске аналогична структуре цунами 2010 г.: приход волн с максимальными амплитудами до 8 см с запозданием относительно первого вступления на 3.5 час.

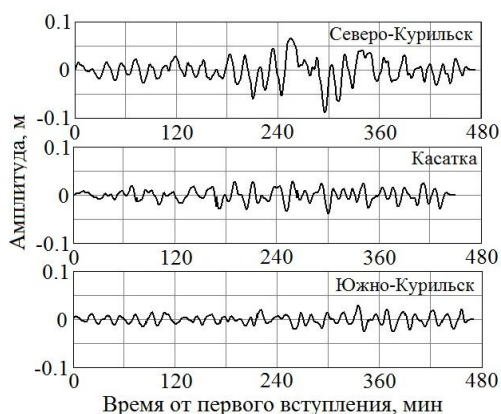


Рис. 3. Прогноз цунами вблизи пунктов Курильских островов.

В пос. Буревестник, зал. Касатка, о. Итуруп (точка Кас на рис. 1 на расстоянии 2.1 км к северу от порта, глубина воды 30 м), ожидалась волны амплитудой до 4 см, с временем прихода цунами 3 апреля 2014 г. в 08:12 сахалинского времени.

В Южно-Курильске, о. Кунашир (точка Ю-К на рис. 1 на расстоянии 5.4 км к востоку от порта, глубина воды в этой точке 29 м), прогнозировались волны амплитудой до 3 см, ожидаемое время прихода цунами 3 апреля 2014 г. в 08:28 сахалинского времени.

Таким образом, прогноз цунами для пунктов Курильских островов, выполненный 2 апреля в 22 час., хорошо совпадает с предварительным прогнозом.

К сожалению, сравнить прогноз с реальным цунами на основе инструментальных наблюдений не представляется возможным: регистраторы службы предупреждения о цунами в указанных пунктах были демонтированы летом 2013 г. и до настоящего времени не восстановлены.

Обсуждение и заключение.

Модернизация российской СПЦ велась, главным образом, в направлении развития сети сейсмологических наблюдений. Развитию гидрофизической подсистемы уделялось значительно меньше внимания. Однако показатели качества работы СПЦ не могут быть существенно улучшены при использовании только магнитудно-географического способа без привлечения гидрофизической информации о цунами.

В настоящей работе показано, что оперативный прогноз цунами на Курильских островах возможен заблаговременно в режиме реального времени.

Прогноз Чилийского цунами 1 апреля 2014 г. впервые в России выполнен практически в режиме реального времени. Сравнение результатов расчета цунами в океане с данными станций DART демонстрирует достаточно высокую точность расчета волновых форм.

Прогноз амплитуд ожидаемого цунами на Курилах дал незначительную их величину: в основном до 4 см, приход максимальных волн с амплитудой до 8 см в Северо-Курильске с задержкой около 3.5 час. Результат получен за 9 час. до прихода волны к побережью Курильских островов. На основании этих расчетов возможно было принятие решения не объявлять тревогу цунами.

В случаях близких цунами момент выработки прогноза определяется временем пробега цунами до точки регистрации в открытом океане (станцией DART) плюс время для идентификации цунами (первый период/полупериод длительностью около 15 минут). Все вспомогательные расчеты, начатые сразу после регистрации землетрясения, выполняются в пределах времени пробега цунами до точки регистрации станцией DART.

Главная проблема – оптимальная расстановка глубоководных станций системы DART.

К примеру, российская станция DART 21401 позволяла выполнять заблаговременный прогноз в случаях цунами возникающих в районе очага землетрясения Тохоку 2011 г. Однако действующая в настоящее время российская станция DART 21402 не даст необходимой заблаговременности в аналогичных ситуациях.

Результаты показывают, что качество прогноза на основе предложенного способа достаточно для принятия решения об объявлении тревоги цунами, причем имеется возможность заранее, с необходимой заблаговременностью, определить те пункты, в которых цунами представляет реальную угрозу.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-07-00412.

Список литературы

1. Ивельская Т. Н., Храмушин В. Н., Шевченко Г. В. Чилийское цунами 27 февраля 2010 года: Проверка состояния службы предупреждения // Проблемы анализа риска. 2010. Т. 7, № 2. С. 30 – 42.
2. Королев Ю.П. Расчет цунами по измерениям уровня моря в удаленных точках при оперативном прогнозе // Океанология. 2004. Т. 44, № 3. С. 373–379.
3. Королев Ю.П., Ивельская Т. Н. Совершенствование оперативного прогноза цунами и тревоги цунами. Анализ последних цунами // Проблемы анализа риска. 2012. Т. 9, № 2. С. 76-91.
4. Фролов А.В., Камаев Д.А., Мартыщенко В.А., Шершаков В.М. Опыт модернизации российской системы предупреждения о цунами // Метеорология и гидрология. 2012. №6. С. 5 – 21.
5. 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. Doi:10.5194/nhess-11-3081-2011.
6. Laverov, N. P., Lobkovsky, L. I., Levin, B. W., Rabinovich, A. B., Kulikov, E. A., Fine, I. V., and Thomson, R. E. The Kuril tsunamis of November 15, 2006, and January 13, 2007: Two trans-Pacific events // Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences, Earth Science Section, 426, 386–392, 2009.
7. Pararas-Carayannis, G. Tsunamigenic Source Mechanism and Efficiency of the March 11, 2011 Sanriku Earthquake in Japan // Science of Tsunami Hazards. 2011. 30 (2). P. 126-152.
8. Shevchenko G., Ivetskaya T., Loskutov A. and Shishkin A. The 2009 Samoan and 2010 Chilean Tsunamis Recorded on the Pacific Coast of Russia // Pure and Applied Geophysics. 2012. 170. P. 1511 – 1527. Doi 10.1007/s00024-012-0562-9.
9. Titov, V.V. Tsunami Forecasting. In: The Sea, Vol. 15 (eds. E.N. Bernard and A.R. Robinson). Cambridge, MA and London, England: Harvard University Press, 2009. P. 367-396.
10. Wei, Y., Cheung, K.F., Curtis, G.D., McCreery C.S. Inverse Algorithm for Tsunami Forecasts // J. Waterway, Ports, Coastal and Ocean Engineering. ASCE. 2003. 129(2). P. 60 – 69.
11. Whitmore, P. M. and Sokolowski, T. J. Predicting tsunami amplitudes along the North American coast from tsunamis generated in the Northwest Pacific Ocean during tsunami warnings // Science of Tsunami Hazards. 1996. 14 (3). P. 147—166.
12. URL: http://decoltd.ru/news/sistema_rannego_preduprezhdenija_cunami/2010-11-18-15 (дата обращения: 23.08.2015).
13. URL: http://ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=10442 (Дата обращения: 14.08.2015).
14. URL: <http://www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml>. (Дата обращения: 14.08.2015).
15. URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=70&d=7>. (Дата обращения: 14.08.2015).