

## ПРОЯВЛЕНИЕ ЧИЛИЙСКИХ ЦУНАМИ (1960, 2010 и 2014 г.г.) НА РОССИЙСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

*Ивельская Т.Н.<sup>1</sup>, Шевченко Г.В.<sup>2</sup>, Шишкин А.А.<sup>2</sup>, Лоскутов А.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБУ «Сахалинское Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», г. Южно-Сахалинск, Россия;

<sup>2</sup>Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия  
[ivelskaya@mail.ru](mailto:ivelskaya@mail.ru)

### Введение

Тихоокеанское побережье России, на котором находится значительная часть населения и экономического потенциала Дальнего Востока России, подвержено разрушительному воздействию цунами, вызываемых подводными землетрясениями. Очаги цунами, наиболее опасных для региона, сосредоточены преимущественно в непосредственной близости, в районе глубоководного Курило-Камчатского желоба. Однако серьезную опасность могут представлять и удаленные источники, вызванные сильными землетрясениями в различных районах Тихого океана. Изучение особенностей их проявления представляет большой интерес как в чисто научном аспекте, так и с точки зрения практической деятельности Службы предупреждения о цунами (СПЦ).

В данной статье анализируются проявления трех цунами, вызванных сильными землетрясениями (1960, 2010 и 2014 гг.) у берегов Чили. Эти цунами были зарегистрированы на всем побережье Тихого океана, включая Дальний Восток России. На этих примерах мы попытались рассмотреть некоторые общие черты проявления цунами от удаленных источников в Дальневосточном регионе.

Данное исследование основано на оцифрованных ранее мареограммах цунами 1960 г. [2], записях автоматических постов наблюдения за уровнем моря СПЦ и автономных станций ИМГМГ ДВО РАН в 2010 г. [3, 4], а также визуальных наблюдениях на о. Парамушир и автономных регистраторов на о. Шикотан в 2014 г. На рис. 1 представлена схема расположения российских береговых регистраторов уровня моря и глубоководных станций DART в прилегающей части Тихого океана.

### Чилийское цунами 23 мая 1960 года ( $M_w = 9.5$ )

23 мая в 6 ч 15 мин по сахалинскому времени в Тихом океане, у берегов Чили, произошло самое сильное в XX веке землетрясение с магнитудой  $M_w = 9.5$ , вызвавшее образование мощного

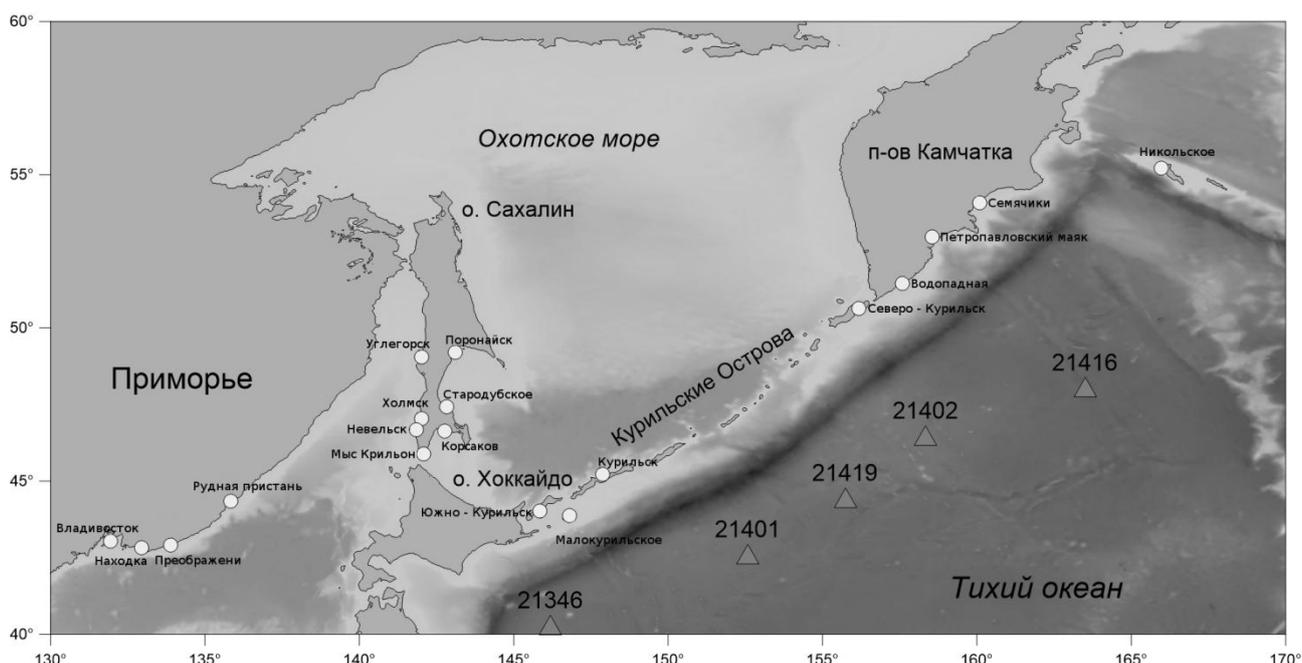


Рис. 1. Расположение береговых телеметрических комплексов на тихоокеанском побережье России и глубоководных станций DART в прилегающей части Тихого океана

трансoкеанического цунами. На берегах Курильских островов и Камчатки цунами высотой до 6–7 метров, вызванное таким далеким землетрясением, наблюдалось впервые. Об исключительности явления говорит тот факт, что колебания уровня наблюдались у берегов Сахалина и у северного побережья Охотского моря, где раньше волны цунами не регистрировались и при гораздо более близких землетрясениях. В бухте Нагаева отмечалось пять ярко выраженных волн, максимальная высота которых (от подошвы до гребня, по мареограмме) достигала 220 см, в порту Корсаков – 190 см [2].

В Северо-Курильске цунами началось с резкого падения уровня, которое было замечено дежурным портнадзора в 4 часа 45 минут по сахалинскому времени, на основании этого сообщения была объявлена тревога цунами – население поднялось на сопки, а флот был выведен в открытое море. Хотя повышение уровня носило скорее характер подтопления, волной цунами был причинен серьезный ущерб. Все склады и жилые помещения города, расположенные ниже отметки 4,7 метров, были затоплены. В порту смыло значительное количество соли, угля, лесоматериалов, вышла из строя энергетическая система и т.д. Цунами 24 мая характерно тем, что высоты волн имели примерно одинаковый порядок как в бухтах, так и у открытого побережья. Волны такой же высоты, как и в Северо-Курильске, наблюдались на гидрометеостанциях мыс Васильева и Шумшу (около 5 метров по визуальным данным). На южных Курильских островах высоты волн также были значительными, по наблюдениям на станциях Буревестник, Малокурильское, Южно-Курильск и Зеленовск они составляли 3–4 метра.

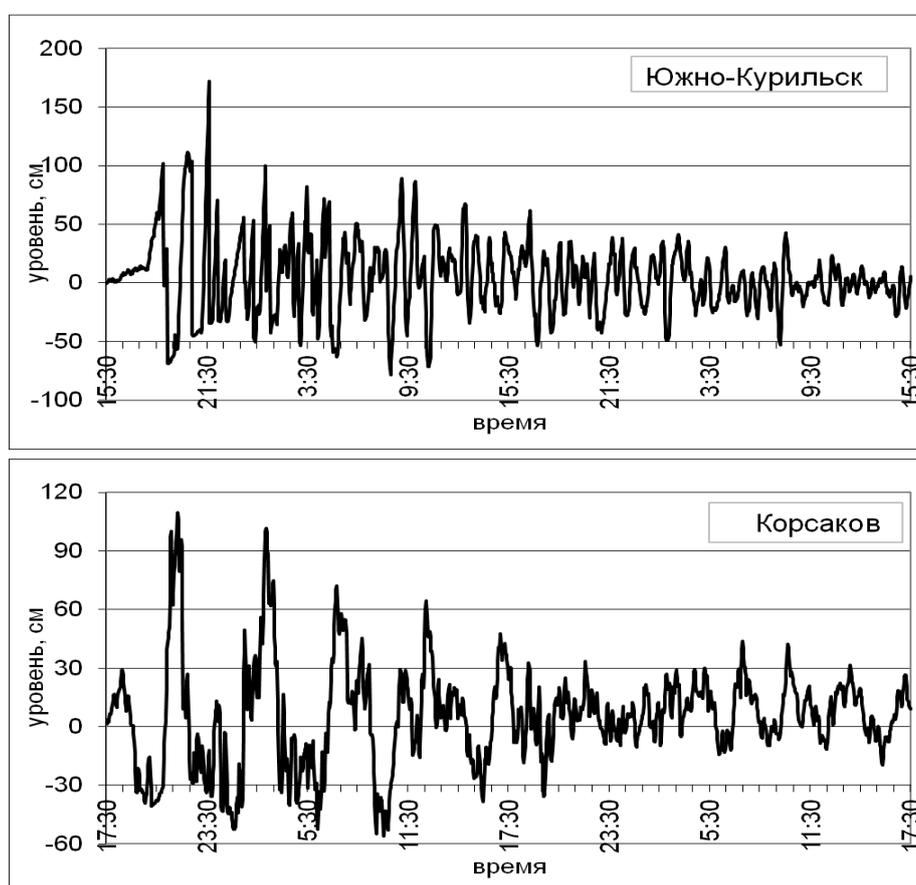


Рис. 2. Оцифрованные двухсуточные отрезки записи Чилийского цунами 23–24 мая 1960 г. в портах Южно-Курильска и Корсакова

В бухте Малокурильская 24 мая в 05 часов 45 минут по сахалинскому времени начался быстрый отлив, дно моря оголялось на 80-90 метров, затем начался прилив, но уровень моря не превысил обычной полной воды. В 05 часов 55 минут подошла первая значительная волна. Уровень моря поднялся выше приливного на 2 метра. Были затоплены пирсы, накренились пришвартованные к ним суда. Затем произошел быстрый отлив, и в 07 часов 05 минут подошла максимальная волна. Уровень повысился на 3.5-4 метра выше приливного. Было затоплено несколько домов, склад с фуражом, сорвано 2 метра пирса. От пирса оторвало груженое судно ПТР-5 и выбросило на берег. Сорвало стоявший на 4-х якорях пароход «Дзержинский» и пришвартованные к нему судна и

вынесло в море, выбросило на пирс стотонную баржу. Стоящий под разгрузкой пароход «Иван Сеченов», около 6 тысяч водоизмещением, сорвало с 2-х якорей и три раза выносило через пролив из бухты и обратно, несмотря на то, что его машины работали на полную мощность. Волной сорвало и унесло на 200 метров вверх по реке деревянный мост. На вновь строящемся рыбозаводе унесло более 200 кубов круглого леса и много пиломатериалов. После второй волны наблюдались еще 4 волны с амплитудой от 1.5 до 2 метров, затем колебания уровня стали затухать, но продолжались до 15 часов 25 минут. Все станции отмечали спокойный характер явления – сравнительно медленное понижение и повышение уровня и сильные течения, наблюдавшиеся в ряде бухт. Цунами 24 мая обошлось без человеческих жертв, но принесло значительный материальный ущерб, составивший по Сахалинской области около 30 миллионов рублей.

Анализ записей Чилийского цунами (май 1960 г.) на близких к источнику станциях выявил преобладание колебаний с периодом около 45 мин, что было обусловлено, вероятно, поперечным размером источника [2]. Очаг сильнейшего землетрясения Тихоокеанского региона был достаточно велик – его протяженность составляла около 1000 км, что и повлияло на образование низкочастотной составляющей цунами. У берегов России, основную роль играли низкочастотные волны с периодом около 80 мин, и именно с ними был связан наибольший ущерб, нанесенный прибрежным населенным пунктам. Это хорошо согласуется с теоретическими оценками [1] низкочастотной моды шельфового резонанса для района Южных Курильских островов. На рисунке 2 показаны записи Чилийского цунами 23 – 24 мая 1960 г. в портах Южно-Курильска и Корсакова. Размах колебаний уровня моря в Южно-Курильске составлял около 2 метров (максимальные волны наблюдались на фазе отлива, и отрицательные отклонения были «срезаны» прибором, соответственно реальная высота цунами была около 3 м). Особо отметим, что в начальный период, когда наблюдались волны наибольшей высоты, преобладали низкочастотные колебания.

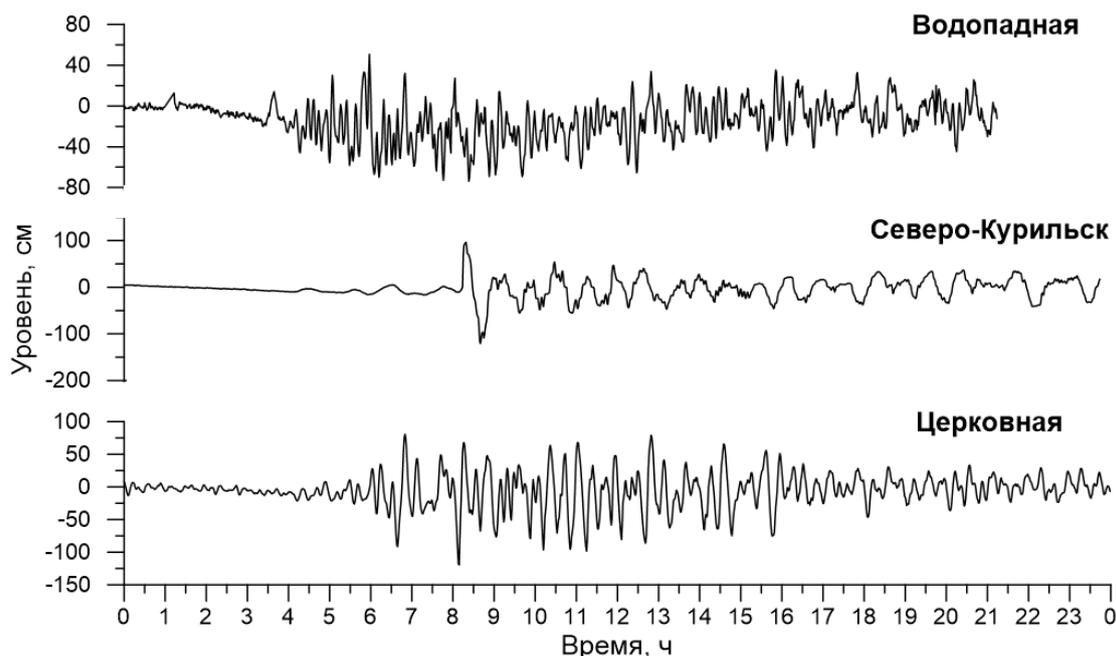


Рис.3. Отрезки записей колебаний уровня моря (вычтен прилив) за 28 февраля 2010 г., полученных на станциях СПЦ Водопадная, Северо-Курильск и датчике ИМГиГ ДВО РАН в бухте Церковная (о. Шикотан)

Низкочастотные волны с меньшими потерями энергии проникают через проливы Курильской гряды, поэтому Чилийское цунами проявилось на берегах Охотского моря сильнее, чем волны от близких землетрясений - характерный пример записи колебаний в порту Корсакова приведен на рис.2.

### **Чилийское цунами 27 февраля 2010 года ( $M_w = 8.8$ )**

В феврале 2010 г. развернутая к тому времени сеть береговых телеметрических регистраторов СПЦ прошла серьезную проверку после сильнейшего землетрясения у берегов Чили, вызвавшего трансокеанское цунами. Впервые в истории Российской Службы предупреждения о цунами в режиме реального времени поступали данные о характере колебаний уровня моря в различных береговых пунктах Дальневосточного региона, что позволило принимать четкие и взвешенные решения о

подаче сигнала и об отбое тревоги цунами на основе объективной информации. Несмотря на большую удаленность источника, была объявлена тревога цунами, находящимся в портах судам была дана команда выйти в открытое море, а населению – подняться на возвышенность. Эти меры были оправданы: как на Северных, так и на Южных Курилах высоты волн были около 2 метров. Цунами такой интенсивности не представляет угрозы для объектов береговой инфраструктуры. Но оно может быть опасно для оставшихся вблизи берега судов и находящихся в прибрежной зоне людей.

Время распространения цунами от источника до дальневосточных берегов России составило около 21 часа, волны цунами сначала достигли Командорских островов, затем Камчатки и Северных Курил, существенно позже – Южных Курильских островов. Первое вступление цунами было отмечено на станции Никольское (о. Беринга) 28 февраля в 3 ч 15 мин UTC. Однако неожиданно малые амплитуды колебаний дезориентировали работников СПЦ, возникли сомнения в необходимости тревоги цунами. Гораздо более информативной для решения вопросов оперативного прогноза оказалась станция Водопадная на юго-восточном побережье Камчатки. Первая из волн с достаточно большой высотой (89 см) достигла этой станции спустя 1 час 25 мин, необходимость подачи сигнала стала очевидной. Максимальная волна была зафиксирована еще на 55 мин позже, ее высота составила 118 см.

Еще одна станция, наблюдения на которой сыграли важную роль в работе СПЦ – Северо-Курильск. Первая волна (также как и в Никольском, слабый положительный импульс) здесь отмечена в 4 ч 28 мин UTC, на 48 минут позже, чем на станции Водопадная. После нескольких сравнительно слабых колебаний, через четыре часа после вступления (в 8 ч 20 мин) была зафиксирована опасная волна с высотой 228 см (рис. 3). Это значительное запаздывание, по существовавшим нормативам, СПЦ должна была выдать отбой тревоги цунами. Аналогичная ситуация возникла при Симуширском цунами 15 ноября 2006 года в бухте Малокурильская (опасная волна высотой 1.5 метра была зафиксирована примерно через 3.5 часа после вступления). Подобные ситуации представляют для Службы предупреждения сложную проблему, однако наличие телеметрических регистраторов и возможность оперативного контроля развития волнового процесса в подвергающихся опасности районах, в определенной мере снимает ее остроту.

С целью изучения проблемы позднего прихода опасной волны были привлечены записи Чилийского цунами на двух глубоководных станциях DART (21419 и 21416), расположенных в районе Средних и Северных Курил (рис. 1), а также результаты численного моделирования. Как было показано [4], характер волнового процесса на этих станциях существенно различался, и запаздывание опасной волны связано с влиянием топографии в открытом океане (рассеяние на островах, фокусировка на Императорском хребте). Как и в 1960 году, усиление волн на Северных Курильских островах и юго-восточном побережье Камчатки было обусловлено шельфовым резонансом.

На о. Шикотан волны Чилийского цунами были зарегистрированы автономными станциями в бухтах Малокурильская, Крабовая и Церковная (последняя расположена на океанском побережье). На всех датчиках отмечены мощные продолжительные колебания, волны с максимальными высотами зафиксированы значительно позже вступления цунами.

Чилийское цунами проявилось в широком диапазоне периодов – от 3 минут до 3 часов. Наиболее значимое повышение энергии колебаний отмечено в низкочастотной области спектра, на периодах от получаса до полутора часов, что характерно для удаленных цунами при землетрясениях значительной интенсивности и с большими размерами очага.

### **Чилийское цунами 1 апреля 2014 года ( $M_w = 8.2$ )**

1 апреля в 23 ч 47 мин UTC (2 апреля 10 ч 47 мин сахалинского времени) произошло сильное землетрясение у северного побережья Чили. Амплитуда волн на береговых станциях Гавайских островов (информация о высотах волн в этом районе наиболее информативна для оценки опасности цунами на побережье Курильских островов при землетрясениях у берегов Южной Америки), составила около полуметра. На основании этой информации и данных мониторинга уровня моря на береговых регистраторах других стран, Центром цунами было принято решение не объявлять тревогу цунами для побережья Курильских островов. Учитывая тот факт, что в расчетный период подхода волны к Курильским островам будет отмечаться фаза прилива, и была опасность сильных приливо-отливных течений, 3 апреля Центром цунами были оповещены порты и портпункты о возможных колебаниях уровня моря, даны рекомендации о соблюдении правил безопасности на берегу.

По информации наблюдателя из г. Северо-Курильск Л. Котенко в 7 ч 10 мин сахалинского времени наблюдался приход волны амплитудой 35–40 см и периодом 40 мин. На автономных станциях в бухтах Малокурильская и Крабовая высота волны была около 40 см, в бухте Димитрова

на океанском побережье о. Шикотан – около 50 см. Причем, максимальные волны наблюдались на 4–5 часов позже прихода первой волны. На японских приливных станциях максимальная положительная амплитуда отмечалась высотой 12–19 см [5].

В связи с полным отсутствием телеметрических регистраторов цунами и оперативной информации о развитии волнового процессов на всем побережье Курильской гряды, принятие решений основано только на информации зарубежных станций (преимущественно США, так как при источниках у берегов Южной Америки данные японских станций не показательны).

### **Выводы**

Анализ материалов особенностей проявления трех цунами, сформировавшихся у берегов Чили, позволил сделать следующие выводы:

- 1) Во всех случаях удаленные землетрясения вызвали на тихоокеанском побережье России интенсивные продолжительные колебания.
- 2) Все рассматриваемые цунами начинались со слабых колебаний (в некоторой степени можно считать исключением Чилийское цунами 1960 года), максимальные волны наблюдались спустя 4–6 часов после прихода первой волны.
- 3) Определяющую роль в усилении волн, приходящих из открытого океана, играл шельфовый резонанс, для проявления которого необходим определенный интервал времени.

Эти обстоятельства следует учитывать в практике оперативного прогноза цунами как при принятии решения об объявлении тревоги цунами, так и при ее отбое. Также необходимо отметить высокую информативность для Российской СПЦ данных о высотах цунами из района Гавайских островов при землетрясениях у берегов Южной Америки.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-05-92100.

### **Список литературы**

1. Ефимов В. В., Куликов Е. А., Рабинович А. Б., Файн И.В.. Волны в пограничных областях океана. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 280 с.
2. Ивельская Т. Н., Шевченко Г. В. Усиление низкочастотной составляющей Чилийского цунами (май 1960 г.) в северо-западной части Тихого океана // Метеорология и гидрология. 2006, № 2. С. 69—81.
3. 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. 34–47.
4. G. Shevchenko, T. Ivetskaya, A. Loskutov and A. Shishkin. The 2009 Samoan and 2010 Chilean Tsunamis Recorded on the Pacific Coast of Russia. Pure Appl. Geophys. 2012, DOI 10.1007/s00024-012-0562-9. С. 1511-1527.
5. <http://ntwc.arh.noaa.gov/previous.events/?p=04-01-14> (дата обращения: 01.02.2015)