

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЦУНАМИ В ПОРТАХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Шевченко Г.В.¹, Лоскутов А.В.¹, Ивельская Т.Н.²

¹ *Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН г. Южно-Сахалинск,
g.shevchenko@imgg.ru*

² *Центр Цунами Сахалинского управления по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды, г. Южно-Сахалинск*

Введение

Порты Дальневосточного региона России расположены в заливах и бухтах, резонансные периоды которых попадают в диапазон проявления волн цунами (от нескольких минут до нескольких часов). По этой причине в большинстве из них различные цунами имеют сходный характер проявления, выраженный в усилении основных резонансных мод [1]. Наиболее выражен данный эффект в акваториях с высокой добротностью собственных колебаний, что типично в более закрытых бассейнах, традиционно считающихся безопасными убежищами для судов. Однако то, что является спасительным в штормовых ситуациях, как правило, не может обеспечить безопасность в случае угрозы цунами, когда самым безопасным является отвод судов в открытое море.

Установка в большинстве портов Дальнего Востока телеметрических регистраторов Службы предупреждения о цунами (СПЦ) позволила оценить роль частотно-избирательных свойств акваторий в формировании волнового поля при цунами (главным образом, при опасном Тохоку цунами 11.03.2011 г.), оценить периоды основных резонансных мод, продолжительность интенсивных колебаний [5]. Для определения пространственной структуры собственных колебаний (положения пучностей, узловых линий) использовалось численное моделирование распространения длинных волн в изучаемых акваториях [4].

Ниже приведены результаты исследования роли резонансных эффектов при формировании цунами в основных портах Дальневосточного региона.

Материалы измерений

В 2009–2010 гг. в рамках Федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий...», на дальнем Востоке России была развернута сеть телеметрических регистраторов Службы предупреждения цунами, на которой были получены записи нескольких значимых событий последних лет, в том числе опасных Чилийского (27.02.2010 г.) и Тохоку (11.03.2011 г.) цунами. Регистраторы были установлены в большинстве случаев в акваториях портов – Владивосток, Находка, Преображение, Рудная Пристань (Приморье), Углегорск, Холмск, Невельск, Корсаков, Поронайск (о. Сахалин), Петропавловск-Камчатский (Камчатка), Курильск, Южно-Курильск, Северо-Курильск (Курильские о-ва). Кроме того, на Южных Курильских островах были установлены автономные измерители придонного гидростатического давления ИМГиГ ДВО РАН (Малокурильское, Крабозаводское, Южно-Курильск, Рейдово). Регистрация колебаний уровня моря осуществлялась с дискретностью 1 мин. В порту г. Магадан использовался измеритель колебаний уровня моря «Мега» с дискретностью 5 мин.

Работа основана главным образом на цифровых записях наиболее сильного события последних лет – Тохоку цунами 11.03.2011 г., к тому же сеть станций СПЦ достигла к этому времени своего максимального развития (положение некоторых станций, на которых были получены записи данного события, представлены рис. 1). Из полученных записей вычитался предвычисленный прилив, по полученным рядам остаточных колебаний определялись характеристики цунами – высоты и моменты прихода первой и максимальной волн, продолжительность и преобладающие периоды интенсивных колебаний и т.д. Спектральные характеристики рассчитывались по ряду суточной продолжительности, содержащему цунами (спектр цунами) и предшествующего ему (спектр естественного длинноволнового фона). Полученные графики также важны для выделения пиков и оценки преобладающих периодов вызванных цунами колебаний уровня моря.

Залив Анива

Интересные и во многом необычные результаты были получены для залива Анива, который представляет собой обширную акваторию с протяженной открытой границей (около 100 км), глубоко, примерно на 90 км, вдающуюся в южную часть острова Сахалин. На его побережье

находятся порт г. Корсаков, терминал по отгрузке сжиженного газа в пос. Пригородное, а также два портпункта – Озерский и Новиково. Инструментальные записи цунами, включая наиболее опасное в данном районе Чилийское цунами 22.05.1960 г., были получены в порту Корсакова и на береговой гидрометеорологической станции мыса Крильон в юго-западной части залива.



Рис. 1. Географическое расположение постов наблюдения, на которых были получены записи Тохоку цунами 11.03.2011 г.

Порт Корсаков – второй по значению порт Сахалинской области после Холмска, от его устойчивой работы также зависит хозяйственная деятельность многих предприятий. Известно, что он подвержен воздействию морских опасных явлений: его гидротехнические сооружения и складские территории неоднократно затапливались морской водой при цунами (в 1952 и 1960 гг.) и, более часто, при сильных нагонах [2, 5]. Наблюдается также в порту и явление тягуна.

В 2008 г. в порту был установлен телеметрический регистратор Службы предупреждения о цунами. Прибор располагался с северной стороны северного пирса, что несколько ограничивает его использование для оценки характеристик морских опасных явлений собственно на акватории порта. Этим прибором были зарегистрированы волны при Чилийском 27.02.2010 и Тохоку 11.03.2011 цунами. Записи последнего события на станциях Корсакова и мыса Крильон приведены на рис. 2.

Собственные колебания играют важную роль в формировании волнового режима порта Корсаков. Наиболее ярко они обычно проявляются при цунами, что особенно наглядно наблюдалось при самом сильном событии в данном районе, несмотря на то что источник находился на огромном расстоянии, у берегов Чили (май 1960 г.). Тогда основным фактором опасности были мощные колебания с периодом около 5 ч – такие колебания являются нехарактерно низкочастотными для цунами.

Аналогичный характер колебаний отмечен и при Тохоку цунами. Главную роль в порту Корсакова играли вариации с периодом около 5 ч, причем на станции мыс Крильон они были выражены слабо (рис. 2). Это ассоциируется с представлением о нулевой моде резонансных колебаний в бассейне с пучностью в вершине залива и положением узловой линии на его открытой границе. Соответственно, станция Корсаков находится вблизи пучности, а мыс Крильон – вблизи узловой линии.

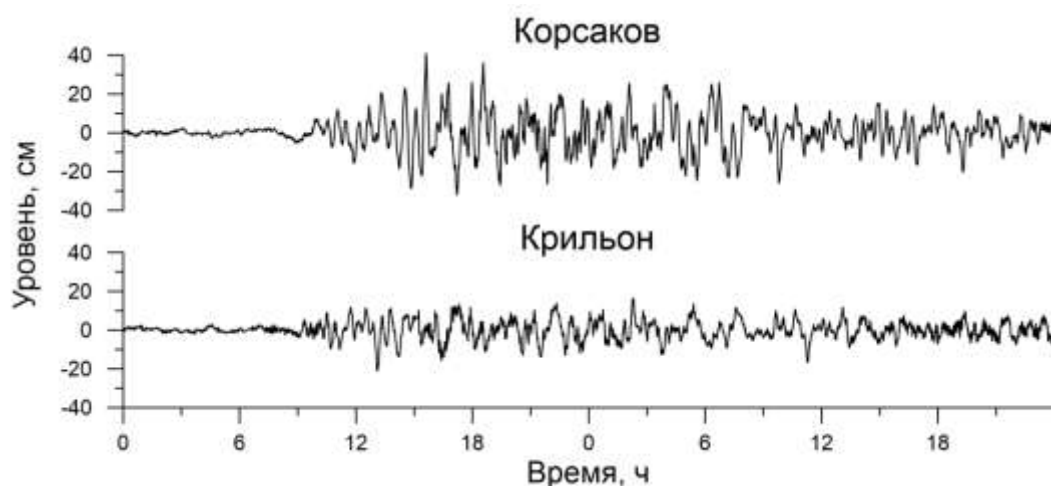


Рис. 2. Двухсуточные отрезки записи колебаний уровня моря в заливе Анива при Тохоку цунами 11.03.2011

Для выяснения пространственного распределения данной моды было выполнено численное моделирование (рис. 3). Действительно, рассчитанная пространственная структура этой моды хорошо согласуется с приведенным выше представлением. Резонансная мода с близким периодом наблюдается также в заливе Авачинская губа [3], она также проявилась при Тохоку цунами. Возбуждение таких низкочастотных мод возможно только при весьма специфических свойствах источника цунами, которые требуют дополнительного изучения.

Также интересна еще одна мода резонансных колебаний, игравшая большую роль при цунами. Ее период около 3 часов, пучности находятся в северной части залива Анива и у берега о. Хоккайдо, узловая линия проходит по открытой границе залива.

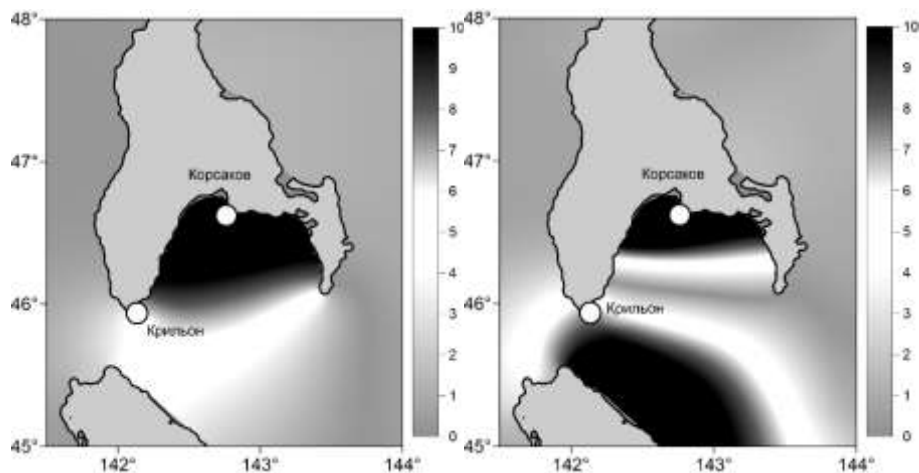


Рис. 3. Пространственная структура усиления колебаний в зал. Анива на периодах около 300 мин (слева) и 180 мин (справа)

Особенности проявлений цунами в портах о. Итуруп

Измерения в порту Курильск (зал. Китовый) производились в 2008–2009 гг. автономным регистратором ИМГиГ, во второй половине 2010 г. здесь был установлен телеметрический регистратор СПЦ.

При Тохоку-цунами (11.03.2011) в записи вариаций уровня моря в зал. Китовый абсолютно доминировали резонансные колебания с периодом 20 мин. Такой устойчивый характер колебаний типичен для бухт с очень узким входом, типа Малокурильской. Но зал. Китовый имеет протяженную открытую границу, поэтому такой высокочастотный характер волнового процесса весьма удивителен, он не характерен для акваторий подобной конфигурации. Данный факт побудил обратить на него особое внимание и выполнить численное моделирование распространения длинных волн в данном районе.

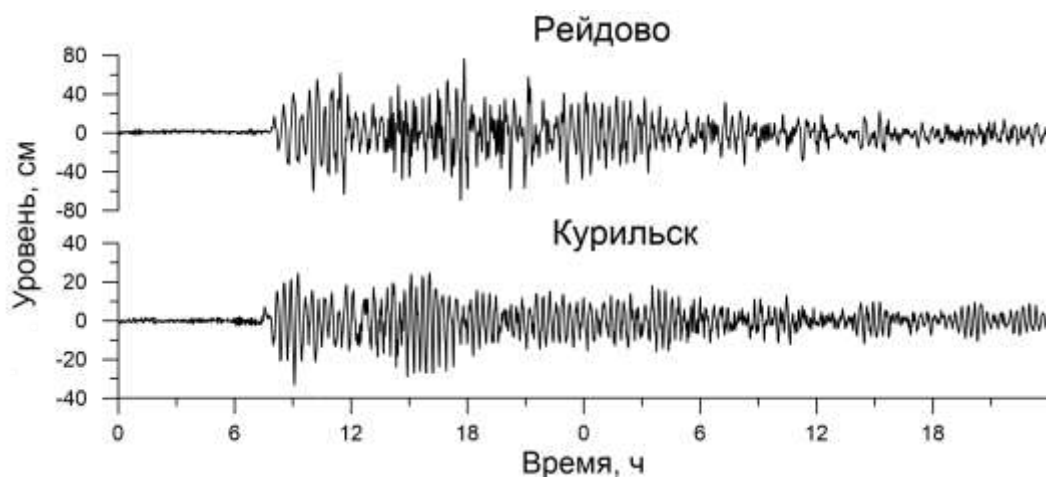


Рис. 4. Записи Тохоку-цунами 11.03.2011 на побережье о. Итуруп

Результаты моделирования показали, что период 20 мин является нулевой модой резонансных колебаний зал. Китовый, который представляет собой вдающуюся в сушу акваторию почти прямоугольной формы (рис. 5). Узловая линия проходит по ее открытой границе, между мысами Китовый на северо-востоке и Писимой на юго-западе. Одноузловая продольная сейша с периодом около 11 мин имеет пучности в районе коротких стенок бассейна вблизи указанных мысов, узловая линия проходит по нормали к берегу в районе устья р. Курилка.

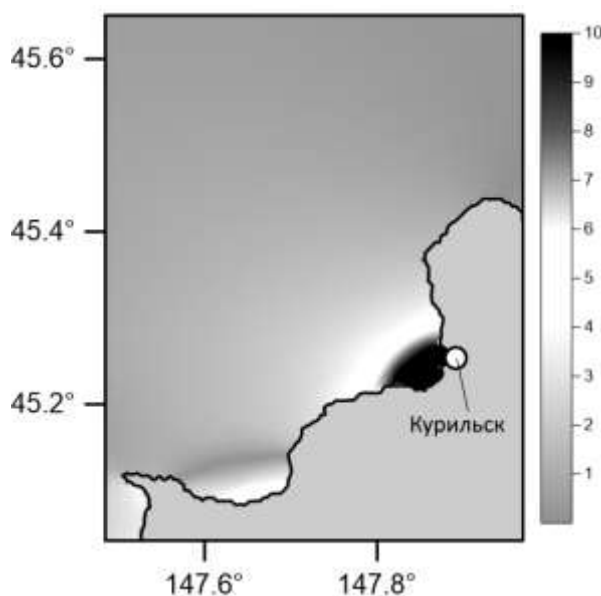


Рис. 5. Пространственная структура усиления колебаний в районе порта г. Курильск на периоде 20 мин

Портпункт Рейдово расположен в небольшой бухте Оля, находящейся на берегу обширного зал. Простор. Инструментальные измерения волновых процессов осуществлялись с 16.09.2010 по 8.08.2011 автономным регистратором ИМГиГ, установленным в указанной бухте. В результате этой постановки была получена запись Тохоку-цунами (рис. 4). В спектре вызванных цунами колебаний были выявлены два хорошо выраженных пика на периодах около 7 и 24 мин. Первый из них, вероятно, обусловлен резонансными колебаниями бухты Оля, в которой был установлен прибор. Пространственный шаг сетки был недостаточным для получения надежных оценок резонансных свойств этой небольшой акватории. Резонансная мода с периодом 24 мин по результатам моделирования получилась хорошо, ее пространственная структура обладает двумя пучностями. Одна из них находится непосредственно в районе с. Рейдово в кутовой части зал. Простор, вторая – к северо-востоку, где в районе бухты Парусная имеется крутой изгиб линии берега.

Приведенные примеры наглядно демонстрируют важную роль, которую играют резонансные моды заливов и бухт в формировании волнового поля при цунами. Характерно, что пучности этих мод всегда расположены в вершинах бассейнов, в их наиболее удаленных от моря частях. В этом

заключается важная специфика цунами – в этих, всегда считающихся спокойными и безопасными участках акватории цунами может проявиться с особенной силой.

Значимо проявились резонансные эффекты в портах Приморского края при Тохоку цунами. Выраженные собственные колебания доминировали на станциях Рудная Пристань, Преображение, Находка, и даже в такой закрытой и защищенной акватории, как бухта Золотой Рог в г. Владивосток. Не была исключением и бухта Нагаева, где расположен порт г. Магадан, в которой при всех зарегистрированных цунами характер колебаний определялся нулевой модой с периодом около 70 мин [7]. Аналогичная ситуация наблюдалась и в бухтах Малокурильская и Крабовая (о. Шикотан), хорошо известных своими выраженными резонансными свойствами [1, 6].

В меньшей степени проявляются резонансные свойства в портах Южно-Курильска, Северо-Курильска, Невельска и Стародубского где топографические условия не способствуют проявлению данного эффекта.

Полученные оценки периодов резонансных мод заливов и бухт и их пространственной структуры (пучностей и узловых линий) могут быть полезны при планировании развития портов в цунамиопасных районах, строительстве новых и реконструкции имеющихся гидротехнических сооружений, размещении складских и иных вспомогательных помещений, повышению устойчивости портовых хозяйств к негативному воздействию опасных природных явлений.

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. *Като Э., Любицкий Ю.В., Шевченко Г.В.* Экстремальные высоты штормовых нагонов на побережье о. Сахалин // Мореходство и морские науки – 2011: Избр. докл. Третьей Сахалин. регион. мор. науч.-техн. конф. Южно-Сахалинск. 2011. С. 177–193.
3. *Королев Ю.П., Шевченко Г.В.* Особенности распространения волн цунами в районе Петропавловска-Камчатского // Вулканонология и сейсмология. 2003. № 6. С. 62–70.
4. *Храмушин В.Н., Шевченко Г.В.* Метод детального цунамирайонирования на примере побережья Анивского залива // Океанология. 1994. Т. 34. № 2. С. 218–223.
5. *Шевченко Г.В., Ивельская Т.Н.* Цунами и другие опасные морские явления в портах Дальневосточного региона России (по инструментальным измерениям). Препр. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2013. 43 с.
6. *Shevchenko G., Shishkin A., Bogdanov G., Loskutov A.* Tsunami measurements in the bays of Shikotan Island // Pure and Applied Geophysics. 2011. V. 168. P. 2011–2021.
7. *Shevchenko G., Ivetskaya T.* Estimation of extreme sea levels for the Russian coasts of the Kuril Islands and the Sea of Okhotsk // Pure and Applied Geophysics. 2015. V. 172. P. 3537–3555.