УДК 550.34

УТОЧНЕНИЕ ПОРОГОВОЙ МАГНИТУДЫ ДЛЯ ОБЪЯВЛЕНИЯ ТРЕВОГИ ЦУНАМИ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ У ТИХООКЕАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОСТРОВОВ ЯПОНСКОГО АРХИПЕЛАГА

Ивельская Т.Н.¹, Золотухин Д.Е.², Семенова Е.П.³

¹ Центр цунами CaxУГМС, г. Южно-Сахалинск, tanya.ivelskaya@gmail.com ² Институт морской геологии и геофизик ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск ³ Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск

Введение

В настоящее время основным рабочим методом, применяемым Службой предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России (СПЦ) при принятии решения об объявлении тревоги цунами, является сейсмический метод, основанный на регистрации опережающих цунами сейсмических волн. Возможность возникновения цунами в результате землетрясения оценивается по магнитудно-географическому критерию. Землетрясение считается цунамиопасным, если его эпицентр попадает в цунамигенную зону, а интенсивность превышает заданное пороговое значение магнитуды. В частности, для землетрясений в Японском и Охотском морях пороговое значение магнитуды составляет 7.0, для землетрясений в акватории Тихого океана восточнее Курильских островов – 7.0, восточнее острова Хоккайдо – 7.5, восточнее острова Хонсю – 8.0. [7, 8] (рис. 1.). Эффективность данного магнитудно-географического критерия цунамиопасности можно оценить с помощью анализа исторические сведений о проявлении цунами, зародившихся в данных акваториях, на побережье Курильских островов.



Рис.1. Значения пороговых магнитуд для объявления тревоги цунами. Розовые линии – границы значений пороговых магнитуд у побережий Хоккайдо и Хонсю. Белые линии трассируют эпицентры сильных землетрясений вдоль дуги Хонсю – Японский желоб.

Исторические сведения о проявлении цунами на Дальнем Востоке России

Основная цунамигенная зона Дальнего Востока России, в которой расположены очаги большинства цунами, совпадает с западным склоном Курило-Камчатского желоба. Продолжением Курило-Камчатского желоба является Японский желоб – океаническая впадина на западе Тихого океана к востоку от острова Хонсю, к югу от Хоккайдо и к северу от островов Бонин. Дно и склоны Японского жёлоба также часто становятся эпицентрами землетрясений, некоторые из которых вызывают цунами, опасные не только для Японии, но и для Дальнего Востока России (рис. 2) [2, 5, 6, 9, 10, 11].

По данным каталога USGS [12], вдоль тихоокеанского побережья островов Японского архипелага и Идзу-Бонинского желоба (20–42 ° сев. шир., 140–150 ° вост. долг.) за период 1900 – 2018 гг. зарегистрировано 68 землетрясений с магнитудой М ≥ 7.0 (табл.1).

Таблица 1. Землетрясения за период 1900 – 2018 гг.

	1900 – 2019 гг.
$M \ge 7.0$	68
$M \ge 7.5$	24
$M \ge 8.0$	5
$M \ge 8.5$	0
$M \ge 9.0$	1

Эпицентры этих событий образуют две линейные системы, одна из которых протяженностью около 900 км вдоль дуги Хонсю – Японский желоб и вторая - вдоль Марианской и Идзу-Бонинской дугами.

Наиболее активной является первая система, все сильные подводные землетрясения с магнитудой М ≥ 8.0 из табл.1 произошли в этой зоне:

- землетрясение Санрику 1933г. с магнитудой M=8.4,

- два землетрясения у восточного побережья Хонсю 1960г. с М=8.0 и 1968г. М=8.2, землетрясение 2003г. у побережья Хоккайдо М=8.2

- Великое землетрясение Тохоку 2011г. М=9.1. Катастрофические последствия от землетрясения 2011г. составили 13.1 тыс. человеческих жертв и 17.1 тыс. пропавших без вести, размер разрушений и материальных потерь по официальным данным правительства Японии оценивается более 300 млрд. долл. Спустя 2 часа волны цунами докатились до побережья Курильских островов.

Каждое из этих событий примечательно тем, что способно сгенерировать образование волн цунами не только у побережья Японии, но и у тихоокеанского побережья Курильских островов. В таблицу с параметрами этих землетрясениях внесены имеющиеся данные о проявлениях цунами у побережья Курильских островов (табл.2).

На карте (рис.1) эпицентры сильных землетрясений с магнитудой М ≥ 7.0 из каталога USGS за период наблюдений 1900 по 2018 гг., также отмечены значения пороговых магнитуд для объявления тревоги цунами по регламентам работы Сахалинской СПЦ. Как видно из рисунка, эпицентры сильных подводных землетрясений достаточно плотно группируются вдоль восточного побережья Хонсю.

Вероятные сценарии возникновения волн цунами у Курильских островов, в том числе и от сильных подводных землетрясений с магнитудой М \geq 8.0 вдоль дуги Хонсю – Японский желоб, были учтены в основных положениях СПЦ осуществляемой сейсмической станцией «Южно-Сахалинск». По землетрясению 2003 г. была объявлена тревога цунами для побережий Южно-Курильского и Курильского районов и 2011 года – по всем Курильским островам, время передачи данных в обоих случаях составило 10 мин.

Примечательно, что в зоне объявления тревоги цунами с магнитудой $M \ge 7.5$ с эпицентрами вдоль юго-восточного побережья Хоккайдо за тот же период наблюдений с 1900 г. по настоящее время по данным каталога USGS [12] произошло очень сильное землетрясение 4 марта 1952 г с магнитудой M = 8.2. Очаг землетрясения располагался на шельфе вблизи м. Эримо и имел протяженность 100 км. Интенсивность сотрясений составила 8 баллов, землетрясение сопровождалось цунами на юго-восточном побережье Хоккайдо, однако следов цунами на южных Курильских островах не наблюдалось.

Таблица 2. Проявления цунами на российском побережье.

г. Петропавловск-Камчатский

	1	v 1		1		
	Mw	координаты	Н, км	Проявления цунами на российском побережье.		
1933 г.	8.4	39.21N 144.59E	15	Нет данных по Курильским островам		
1960 г.	8.0	39,87N 143.23E	15	Нет данных по Курильским островам		
1968 г.	8.2	40.86N 143.44E	30	Курильские острова		
				Цунами на побережье Курильских островов		
2003 г.	8.2	41,82N 143.91E	27	Курильские острова		
				Южно-Курильск:		
				13 см – инструментально наблюденное цунами;		
				50 см – визуально наблюденное цунами (место: «Горячий		
				пляж»)		
				Малокурильское – 78 см.		
2011 г.	9.1	39.30N 142.37E	29	Курильские острова		
				Малокурильское – 3 м (визуально), 182 см (по мареографу,		
				перо вышло за пределы ленты)		
				АП Южно-Курильск – 189 см		
				АП Курильск – 56 см		
				Буревестник – около 2 м (визуально)		
				Северо-Курильск – цунами наблюдалось в р. Матросской 2 – 2.5		
				м, в порту колебания 160 см		
				Сахалин		
				АП Стародубское – 65 см, АП Крильон – 29 см		
				АП Невельск – 27 см, АП Холмск – 22 см, АП Углегорск – 18		
				см, АП Корсаков – 67 см, АП Поронайск – 85 см		
				Приморье		
				АП Рудная пристань – 36 см, АП Преображение – 34 см		
				АП Находка – 35 см, АП Владивосток – 15 см		
				Камчатка		
				АП Никольское – 26 см, АП Петропавловск-Камчатский – 28		
				см, АП Семячик – 141 см		



Рис. 2. Магнитудно-географический критерий и очаги исторических цунами.

Также следует обратить внимание, что цунамигенные землетрясения в Тихом океане восточнее острова Хоккайдо и северного о. Хонсю (в частности, цунамигенные землетрясения 16.05.1968, 28.12.1994 и 25.09.2003 с магнитудой М>7.5) не вызвали опасных цунами на берегах Дальнего Востока России. Исключением является катастрофическое землетрясение 11.03.2011 с магнитудой М=9.1, вызвавшего цунами до 3 метров на южных Курилах (рис.2).

Таким образом, магнитудно-географический критерий рассматриваемого района нуждается в детализации и моделировании возникновения волн цунами от сильных землетрясений с эпицентрами вдоль тихоокеанского побережья островов Японского архипелага.

Численное моделирование япономорских цунами с использованием модели Окада

С целью детализации магнитудно-географического критерия цунамиопасности в акватории Тихого океана к востоку от Японии, была проведена серия вычислительных экспериментов. Модельные источники цунами размещались в акватории Тихого океана к востоку от Японских островов. Колесовым С.В. (кафедра физики моря и вод суши, МГУ им. М.В. Ломоносова) на основе модели Окада [1, 10] были рассчитаны модельные очаги цунами на основе данных о семи реальных цунамигенных землетрясениях в акватории Тихого океана восточнее Японских островов. Данные о землетрясениях взяты из базы данных [12].

Для каждого модельного очага определялось значение пороговой магнитуды, при которой хотя бы в одной из точек побережья Дальнего Востока России наблюдалось интенсивное (с заплеском 1 м или более) цунами. С этой целью, для каждого модельного очага выполнялось несколько вычислительных экспериментов с различными магнитудами. Применялся диапазон магнитуд 7.5 – 8.5, поскольку было важно выяснить, способно ли сильное (но не катастрофическое, как землетрясение 11.03.2011 с магнитудой 9.1) землетрясение в данной акватории вызвать цунами, опасное для Дальнего Востока России. Шаг магнитуд составил 0.25, поэтому для каждого модельного источника было выполнено пять вычислительных экспериментов с магнитудами 7.5, 7.7, 8.0, 8.3, 8.5.

Всего было выполнено 35 вычислительных экспериментов для 7 модельных очагов, расположенных к востоку от Японских островов (табл.3).

N⁰	дата	координа	гы	Глубина	Пороговые	Результаты
		широта	долгота	очага, км	магнитуды	вычислительных
						экспериментов (м)
1	14.01.1978	34.81° N	139.26° E	14.0	>8.5	0.11 (Южно-Курильск)
2	18.07.1992	39.42° N	143.33° E	28.6	8.5	1.24 (б. Церковная)
3	28.12.1994	40.53° N	143.42° E	26.5	>8.5	0.83 (б. Церковная)
4	25.09.2003	41.82° N	143.91° E	27.0	8.3	1.51 (б. Церковная)
5	5.09.2004	33.18° N	137.07° E	10.0	>8.5	0.23 (Никольское)
6	19.07.2008	37.55° N	142.21° E	22.0	8.3	1.05 (б. Церковная)
7	11.03.2011	38.30° N	142.37° E	29.0	8.5	1.20 (б. Церковная)

Таблица 3. Землетрясения – «прототипы», параметры и результаты вычислительных экспериментов. Максимальный заплеск указан для пороговой магнитуды.

Высоты заплесков рассчитывались для 35 точек побережья Дальнего Востока России, из которых 22 находились на побережье Японского моря, а 13 – на берегах Охотского моря и Тихого океана. Параметры модельных очагов цунами и даты реальных «землетрясений-прототипов», а также полученные в результате численного моделирования пороговые магнитуды представлены в таблице 3. На рисунке 3 показано положение модельных очагов цунами и пороговые магнитуды, а также мареографные точки побережья.

Заключение

Результаты вычислительных экспериментов показали, что землетрясения с магнитудой менее 8.0 в акватории Тихого Океана восточнее Хоккайдо и северного Хонсю, и с магнитудой менее 8.5 южнее Южного Хонсю не порождают цунами, опасных для побережья Дальнего Востока России.

Результаты данных численных экспериментов показывают избыточность используемого в настоящее время СПЦ магнитудно - географического критерия и могут быть использованы в работе Службы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России.

Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Седьмой научно-технической конференции 29 сентября—5 октября 2019 г. г. Петропавловск-Камчатский





Список литературы

1. Большакова А.В. Связь параметров очага цунами с характеристиками землетрясения: дис. ... канд. физ.-мат. наук, М.: МГУ. 2013. 180 с.

2. Заякин Ю.Я. Цунами на Дальнем Востоке России. Петропавловск-Камчатский: Камшат, 1996. 88с.

3. Золотухин Д.Е., Ивельская Т.Н., Семенова Е. П. Уточнения пороговой магнитуды объявления тревоги цунами для акватории Японского моря по результатам моделирования исторических цунами // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Материалы Шестой научно-технической конференции. Обнинск: КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 211–215.

4. Золотухин Д.Е., Ивельская Т.Н. Оценка цунамиопасности япономорских землетрясений с использованием численного моделирования цунами // Морские интеллектуальные технологии. 2019. Т. 43. № 1Т. С. 178–182.

5. Лаборатория цунами, Институт Вычислительной Математики и Математической Геофизики СО РАН. http://tsun.sscc.ru/tsulab/tsun_hp_r.htm (дата обращения 2.04.2018).

6. *Кайстренко В.М, Ломтев В.Л. и др.* Проявление Невельского цунами 2 августа 2007 г. на побережье Татарского пролива // Невельское землетрясение и цунами 2 августа 2007 года, о. Сахалин. / Под ред. Б. В. Левина и И. Н. Тихонова. М.: Янус-К, 2009. 204 с.

7. Поплавский А.А., Храмушин В.Н., Непоп К. И., Королев Ю. П. Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск, 1997. 273 с.

8. Поплавский А.А., Храмушин В.Н. Методы оперативного прогноза цунами и штормовых наводнений. Владивосток: Дальнаука, 2008. 176 с.

9. Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана (173-1968). Москва: Наука, 1974. 309 с.

10. National Geophysical Data Center / World Data Service (NGDC/WDS): Global Historical Tsunami Database. National Geophysical Data Center, NOAA. DOI: 10.7289/V5PN93H7. http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml (дата обращения 2.04.2018).

11. Okada, Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // Bulletin of the Seismological Society of America. 1985. Vol. 75. No. 4. P. 1135–1154.

12. The USGS Earthquake Hazards Program. https://earthquake.usgs.gov/ (дата обращения 2.04.2018).