

ПРОГНОЗ СИЛЬНЫХ ЦУНАМИГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХООКЕАНСКОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО ПОЯСА

Ю.К. Серафимова, В.А. Широков

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, e-mail: yulka@emsd.ru

По статистике ЮНЕСКО наиболее опасны так называемые метеорологические катастрофические явления (циклоны, тайфуны, шторма, ураганы), на долю которых приходится около 60% человеческих жертв от природных катастроф. Далее в порядке убывания идут землетрясения и цунами (18%), наводнения (15%), грозы (1.5%) и вулканические извержения (менее 1%). Если же судить о катастрофах по их масштабу и социально-экономическим последствиям, то максимальный риск связан с землетрясениями и цунами, вызванными разными причинами. В настоящей работе рассматриваются цунами, связанные только с тектоническими землетрясениями.

Цунами – одно из наиболее опасных явлений природы. Это специфические морские волны-наводнения, вызываемые подводными землетрясениями и некоторыми другими быстротечными природными процессами. Возникают цунами в различных регионах Земли не часто, тем не менее, примерно каждые полтора года где-либо в Тихом океане происходит, по крайней мере, одно разрушительное цунами [Соловьев, Го, 1974].

Как отмечалось ранее [Широков, Серафимова, 2006, 2007, 2008], изучение современных геодинамических процессов в оболочках Земли и выяснение их причинной обусловленности невозможно без учета роли общепланетарных космических факторов [Ламакин, 1966; Кропоткин, 1970, Широков, 1977 и др.]. Основываясь на литературных данных, в работе [Широков, 1977] сделан вывод, что на временных интервалах менее нескольких столетий главными космическими факторами являются гравитационные поля в системе Солнце-Земля-Луна и солнечная активность. Спектры космических факторов представлены широким набором периодических и квазипериодических компонент. С точки зрения долгосрочного прогноза наибольший интерес представляют 11-, 22-летний и вековой ритмы солнечной активности, а также земной прилив с периодом 18.6 г., вызванный долгопериодическим вращением узлов орбиты Луны.

В работах [Широков, Серафимова, 2006, 2007, 2008] впервые для восьми регионов Тихоокеанского тектонического пояса изучено совместное влияние 19-летнего лунного и 22-летнего солнечного (Хейловского) ритмов на возникновение сильных землетрясений XVIII-XXI веков и разработан метод фазовых траекторий (МФТ) для решения задач долгосрочного прогноза сильных событий. На основании этого подхода дан долгосрочный прогноз землетрясений на ближайшие 20 лет для 12 регионов Земли. Описание метода МФТ изложено в [Широков, Серафимова, 2006, 2007, 2008]. Напомним только, что "опасные" временные интервалы для будущих событий очередного цикла Хейла H_{24} определяются на основе расчета времени пересечений траектории этого цикла Хейла с выделенными "опасными окнами" на фазовой плоскости (Φ_1, Φ_2), где Φ_1 – значение фазы 19-летнего лунного прилива и Φ_2 – значение фазы 22-летнего в среднем цикла Хейла. "Опасные" фазовые окна представляют собой статистически значимые кластеры, образованные распределением используемых для долгосрочного прогноза "главных" землетрясений (с магнитудой, равной или более некоторого порогового значения $M_{пор}$) по фазовым координатам (Φ_1, Φ_2) и в которые входит подавляющее число этих землетрясений. В настоящей работе сделана попытка реализации метода МФТ для долгосрочного прогноза сильных цунамигенных землетрясений четырех регионов северо-западной части Тихоокеанского сейсмического пояса – Камчатки, Курильских островов, Японии и Алеутских островов – как наиболее опасных с точки зрения возникновения цунами.

Каталоги цунамигенных землетрясений составлялись по данным [Соловьев, Го, 1974] и базы NGDC Tsunami Event Database [http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml]. Для четырех регионов выбирались землетрясения, сопровождавшиеся такими цунами, для которых либо магнитуда I_{ida} [http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml] или интенсивность по [Соловьев, Го, 1974] ≥ 2.0 (табл.). Для обоих параметров величина 2.0 соответствует высоте волны на ближайшем к очагу побережье около 3-4 м. Начиная с этих высот цунами, их можно считать наиболее опасными.

Целью работы было определить, насколько метод МФТ оправдан для долгосрочного прогноза времени возникновения сильных цунами, связанных с землетрясениями. Сопоставлялись "опасные"

Таблица. Долгосрочный прогноз цунамигенных землетрясений по "методу фазовых траекторий" для отдельных регионов Тихоокеанского сейсмического пояса и оценка его эффективности.

№	Регион	Характеристика выборки "главных" землетрясений			Площадь "опасных" окон, $S_{\text{опас}}$	I^*	Характеристика выборки цунами			I_{ts}^{***}	Сейсмоопасный интервал на период до 2027 г. (в предположении даты эпохи минимума текущего цикла XII.2007 г.)
		M	Период наблюдений, годы	Число землетрясений, N ----- Число "спрогнозированных" землетрясений, N_1			Интенсивность цунами**	Период наблюдений, годы	Число цунами, n ----- Число "спрогнозированных" цунами, n_1		
I	Камчатка	$M_w \geq 7.6$	1737-2007	14 ----- 14	0.18	5.6	≥ 2.0	1792-1997	7 ----- 6	4.6	XI.2014 – VII.2017
II	Курильские острова	$M \geq 7.5$	1780-2007	29 ----- 27	0.33	2.8	≥ 2.0	1780-2007	8 ----- 6	2.3	VIII.2012 – II.2016
III	Япония	$M \geq 7.9$	1894-2007	18 ----- 15	0.30	2.8	≥ 2.0	1763-2005	21 ----- 18	2.9	XII.2007 – III.2010
IV	Алеутские острова	$M \geq 7.5$	1849-2007	26 ----- 22	0.37	2.3	≥ 2.0	1788-2003	7 ----- 7	2.7	VII.2010 – VII.2014 V.2021 – I.2023

Примечания: *– Эффективность прогноза землетрясений, $I = (N_1/N)/S_{\text{опас}}$.

**– Интенсивность цунами выбиралась ≥ 2.0 либо по магнитуде Iida, либо по [Соловьев, Го, 1974].

***– Эффективность прогноза цунами, $I_{ts} = (n_1/n)/S_{\text{опас}}$.

фазовые окна, выделенные ранее для "главных" землетрясений исследуемых регионов и распределение цунамигенных землетрясений относительно "опасных" окон в этих регионах (рис.).

Естественно, что лишь часть "главных" землетрясений сопровождаются цунами – в среднем для всех четырех регионов из 87 событий 24 сопровождались опасными цунами, т.е. 28%. Максимальная доля таких событий отмечена для Японии – 44%, минимальная – для Алеутских островов – 15%. Сильные цунами могут быть вызваны и более слабыми по магнитуде событиями. Доля таких цунами невелика.

Совместный анализ распределения на фазовой плоскости как "главных" землетрясений (черные кружки), так и цунамигенных землетрясений (серые квадраты) для четырех регионов приведен на рисунке. Для Камчатки и Курильских островов (*a*, *b*) "опасные" фазовые окна оставлены неизменными; в них попали 12 из 15 цунамигенных землетрясений. Для Японии (*e*) уточнены выделенные ранее "опасные" фазовые окна [Широков, Серафимова, 2006, 2007, 2008] и определено новое "опасное" фазовое окно, образованное шестью цунамигенными землетрясениями, два из которых с магнитудами $M \geq 7.9$ не соответствовали схеме прогноза землетрясений. В результате из 21 события только три не попали в "опасные" фазовые окна. Для Алеутских островов (*z*) границы выделенных ранее "опасных" фазовых окон также уточнены, при этом все 7 цунамигенных событий оказались в "опасных" фазовых окнах. Таким образом, 37 из 43 цунамигенных землетрясений (86%) соответствуют схеме долгосрочного прогноза, представленного в таблице с оценкой его эффективности по ретроспективным данным для каждого из четырех регионов. По аналогии с эффективностью прогнозирования землетрясений I под эффективностью прогнозирования цунамигенных землетрясений I_{ts} понимается отношение доли цунами n_1 , попавших в выделенные "опасные окна", относительно общего числа цунами n к доле площади "опасных окон" $S_{\text{опас}}$ относительно общей площади фазового окна, принимаемой за единицу. Таким образом, $I_{ts} = (n_1/n)/S_{\text{опас}}$. Поскольку для "случайного" прогнозирования эффективность в пределе равна единице, то величина I_{ts} показывает, во сколько раз предложенная методика прогноза лучше. Как видно из таблицы, величины I_{ts} меняются от 2.3 (Курильские острова) до 4.6 (Камчатка). Величина $I_{ts} > 2.0$ соответствует прогнозу с уровнем доверия 0.95 и более, $I_{ts} > 3.0$ – с уровнем доверия 0.99 и более и т.д., т.е. для каждого из регионов гипотеза о случайном распределении цунамигенных землетрясений отвергается с уровнем доверия более 0.95. Таким образом, сделанные долгосрочные прогнозы являются статистически значимыми.

Как видно из таблицы, в ближайшие 19 лет доля тревожного времени для наиболее опасных цунами с магнитудой I_{ts} или интенсивностью по [Соловьев, Го, 1974] ≥ 2.0 невелика. Минимальная – для Японии (2 года 3 месяца), максимальная – для Алеутских островов (5 лет 10 месяцев).

Подводя общий итог, можно считать, что применение метода МФТ для долгосрочного прогноза цунамигенных землетрясений оказалось оправданным. Для четырех регионов северо-западной части Тихого океана сделаны статистически значимые прогнозы цунамигенных землетрясений на ближайшие 19 лет с оценкой их эффективности.

Список литературы

- Кропоткин П.Н.** Возможная роль космических факторов в геотектонике // Геотектоника, 1970. № 2. С. 30-76.
- Ламакин В.В.** О периодичности байкальских землетрясений // ДАН СССР. 1966. Т. 170. № 2. С. 210-213.
- Соловьев С.Л., Го Ч.Н.** Каталог цунами на западном побережье Тихого океана (173-1968 гг.). М.: Наука, 1974. 310 с.
- Широков В.А.** Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западного участка Тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика. М.: Наука, 1977. С. 103-115.
- Широков В.А., Серафимова Ю.К.** О связи 19-летнего лунного и 22-летнего солнечного циклов с сильными землетрясениями и долгосрочный сейсмический прогноз для северо-западной части Тихоокеанского пояса // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. № 8. С. 120-133.
- Широков В.А., Серафимова Ю.К.** Методика прогноза сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 7.6$ и оценка ее эффективности для различных регионов Земли // Солнечно-земные

связи и предвестники землетрясений: IV междунар. конф., с. Паратунка Камч. обл., 14-17 авг. 2007 г. Сб. докл. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2007. С. 482-489.

Широков В.А., Серафимова Ю.К. Сильные землетрясения Тихоокеанского и Альпийско-Гималайского тектонических поясов и извержения вулканов: влияние солнечной активности и земных приливов, прогноз событий до 2030 г. // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН: Всероссийской конференции 13-17 октября 2008 г., ИФЗ РАН, г. Москва. Тезисы докладов в 2-х томах. М.: ИФЗ. 2008. Т. 2. С. 365-368.

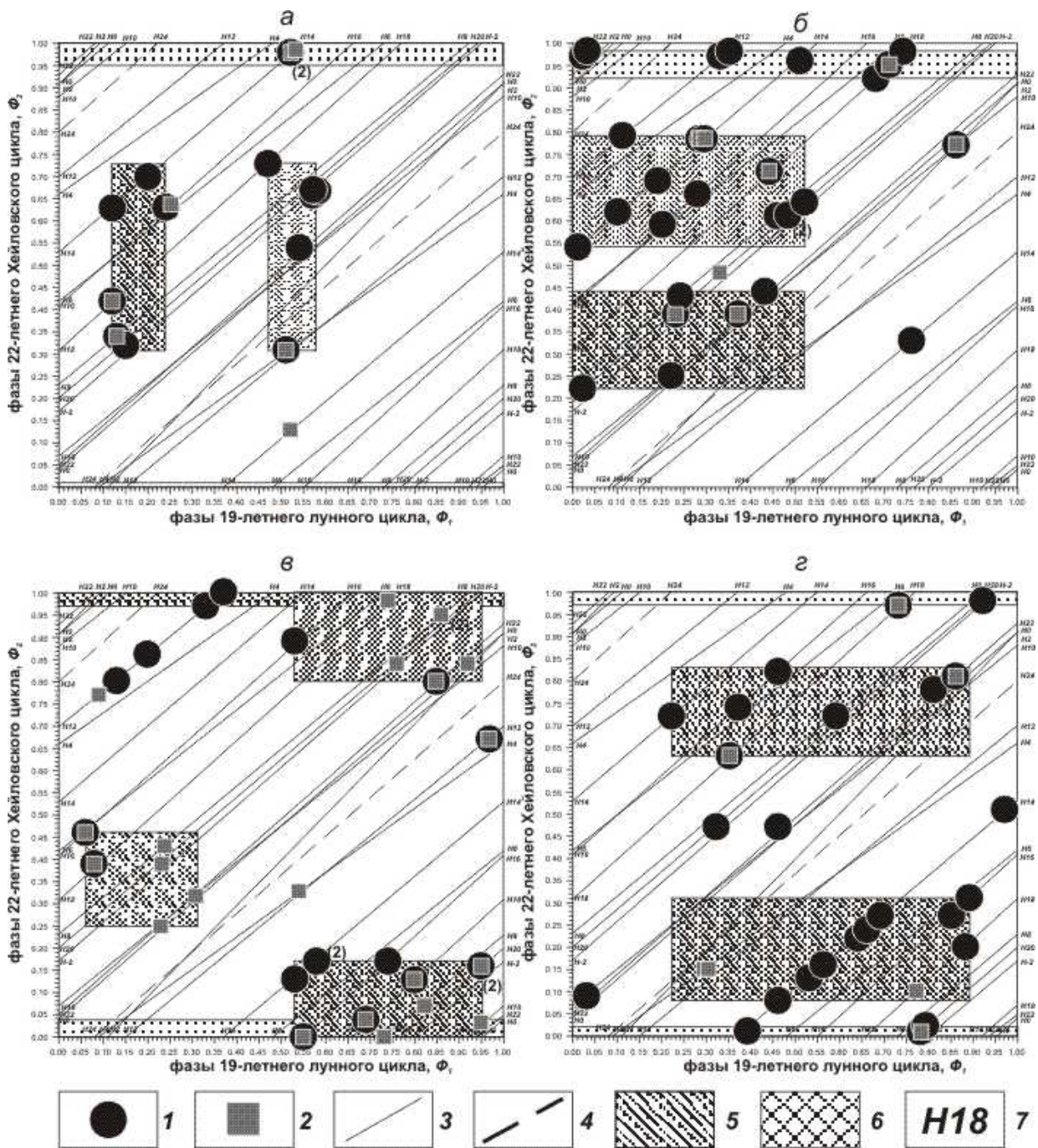


Рис. Распределение "главных" и цунамигенных землетрясений на фазовой плоскости (Φ_1 , Φ_2) для четырех регионов северо-западной части Тихого океана: а – Камчатка, б – Курильские острова, в – Япония, г – Алеутские острова. 1 – "главные" землетрясения с магнитудой, равной или более некоторого порогового значения $M_{пор}$ (для Камчатки $M \geq M_{пор} = 7.6$, для Курильских островов – 7.5, для Японии – 7.9, для Алеутских островов – 7.5); 2 – цунамигенные землетрясения, вызвавшие цунами, для которых либо магнитуда I_{ida} , либо интенсивность ≥ 2.0 ; 3 – фазовые траектории; 4 – траектория очередного Хейловского цикла $H24$; 5 – "опасные" фазовые окна (кластеры); 6 – "опасные" фазовые окна вблизи эпох минимумов Хейловских циклов; 7 – нумерация Хейловских циклов. Пояснения в тексте.