## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ОПАСНЫХ ЦУНАМИ И СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХООКЕАНСКОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО ПОЯСА

## Серафимова Ю.К., Широков В.А.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, yulka@emsd.ru

Как отмечалось ранее [6-8], изучение современных геодинамических процессов в оболочках Земли и выяснение их причинной обусловленности невозможно без учета роли общепланетарных космических факторов [2, 3, 5]. Основываясь на литературных данных, в работе [5] 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 воздействий 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 [6-8] впервые исследовалось совместное влияние 19-летнего лунного прилива  $(T_I)$  и 22-летнего солнечного цикла Хейла  $(T_2)$  на возникновение сильных землетрясений и выявлена статистически значимая связь космических ритмов с сейсмичностью на примере 12 регионов Тихоокеанского и Альпийско-Гималайского тектонических поясов. Полученные результаты основаны на разработанном методе фазовых траекторий (МФТ), позволяющем рассчитывать на ближайшие два десятилетия "опасные" временные интервалы ожидаемых сильных событий и оценивать эффективность региональных долгосрочных прогнозов [6].

Подробное описание метода МФТ изложено в [6-8]. Отметим, что "опасные" временные интервалы для будущих событий текущего цикла Хейла H24 определяются на основе расчета времени пересечений траектории этого цикла с выделенными "опасными окнами" на фазовой плоскости  $\Phi(T_l, T_2)$ . "Опасные" фазовые окна представляют собой статистически значимые кластеры, образованные распределением используемых для долгосрочного прогноза "главных" землетрясений (с магнитудой, равной или более некоторого порогового значения  $M_{\rm nop}$ ) по фазовым координатам ( $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ). В "опасные" окна входит подавляющее число главных землетрясений.

В данной работе предпринята попытка применить МФТ для решения задачи долгосрочного прогноза опасных цунами, связанных с тектоническими землетрясениями, на примере четырёх регионов северо-западной части Тихоокеанского тектонического пояса: Камчатки, Курильских и Алеутских островов, Японии, как наиболее опасных с точки зрения возникновения цунами.

Каталоги цунамигенных землетрясений составлены по данным "Каталога цунами на западном побережье Тихого океана" [4] и базы данных цунами Национального геофизического центра данных США (NGDC Tsunami Event Database) [http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu\_db.shtml]. Для четырех исследуемых регионов — Камчатки, Курильских и Алеутских островов и Японии выбирались землетрясения, сопровождавшиеся такими цунами, для которых либо магнитуда Iida [http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu\_db.shtml], либо интенсивность по [4]  $\geq$  2.0. Для обоих параметров величина 2.0 соответствует высоте волны на ближайшем к очагу побережье около 3-4 м. Начиная с этих высот, такие цунами можно считать наиболее опасными.

Каталоги "главных" землетрясений для каждого региона составлялись по данным каталога NEIC Геологической службы США.

При сравнении двумерных фазовых распределений сильных землетрясений в исследуемых регионах с аналогичными распределениями для "опасных" цунами, обнаружено, что в среднем  $\sim 30\%$  сильных землетрясений сопровождаются "опасными" цунами.

Сильные цунами могут быть вызваны и более слабыми по магнитуде событиями, т.е. с магнитудами меньшими, чем для "главных" землетрясений каждого региона. "Опасные" цунами, вызванные землетрясениями с магнитудами менее пороговой  $M_{\rm пор}$  для каждого региона, в 38% случаев попадают в площадь выделенных ранее "опасных окон" (кластеров) или оказываются вне их (62%) (рис. 1).

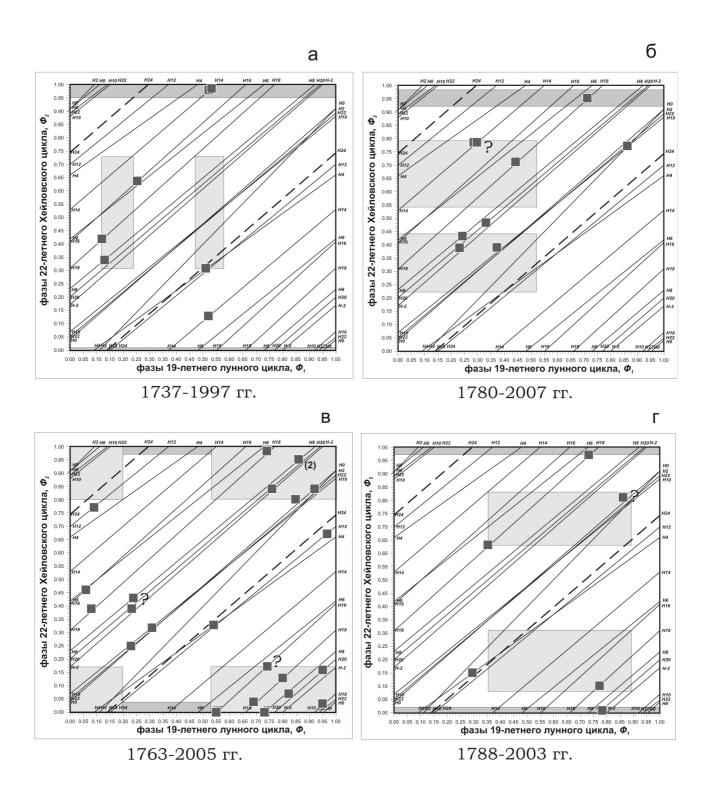


Рис.1. Распределение цунамигенных землетрясений (серые квадраты) на фазовой плоскости ( $\Phi_I$ ,  $\Phi_2$ ) относительно выделенных ранее "опасных" фазовых окон (светло-серые прямоугольники) [6-8] для "главных" землетрясений по регионам: Камчатка (а), Курильские острова (б), Япония (в) и Алеутские острова (г). Наклонными линиями показаны фазовые траектории, пунктирной линией – траектория текущего цикла Хейла H24. "?" – соответствует сомнительному цунами.

Учитывая небольшой объём статистики для "опасных" цунами (всего 46 случаев для четырех регионов), землетрясения и цунами для каждого региона были объединены с целью проведения анализа их совместного распределения на общей двумерной фазовой плоскости ( $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ) (рис. 2).

Для Камчатки и Курильских островов выделенные ранее "опасные" фазовые окна оставлены неизменными (рис. 2 а, б). Для Японии выделенные ранее "опасные" фазовые окна уточнены и определено новое "опасное" фазовое окно, образованное шестью цунамигенными землетрясениями,

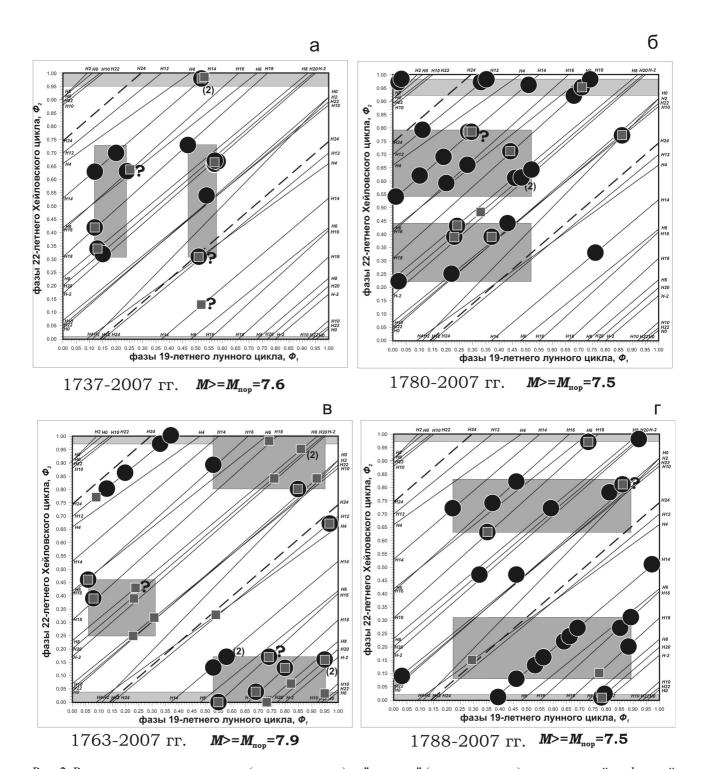


Рис. 2. Распределение цунамигенных (серые квадраты) и "главных" (черные кружки) землетрясений на фазовой плоскости ( $\Phi_I$ ,  $\Phi_2$ ) и выделенные *новые* "опасные" фазовые окна (темно-серые прямоугольники) для Камчатки (а), Курильских островов (б), Японии (в) и Алеутских островов (г). Наклонными линиями показаны фазовые траектории, пунктирной линией – траектория текущего цикла Хейла H24. "?" – соответствует сомнительному цунами.

два из которых с магнитудами  $M \ge 7.9$  ранее не соответствовали схеме прогноза "главных" землетрясений (рис. 2 в). Для Алеутских островов границы выделенных ранее "опасных" фазовых окон также уточнены, при этом все шесть цунамигенных событий оказались приурочены к "опасным" фазовым окнам (рис. 2 г).

В выделенные в результате этой процедуры *новые* "опасные окна" попадают от 82% до 95% событий. Таким образом, комплексная схема оказалась даже более эффективной. Можно отметить, что из 46 цунами только шесть оказались вне "опасных" окон, что составляет 13%.

В результате проведения этих исследований составлены комплексные долгосрочные прогнозы для сильных землетрясений и "опасных" цунами на период до 2027 года (табл.) с оценкой эффективности прогнозов по ретроспективным данным для каждого из четырех регионов. Так, например, для Камчатки дан прогноз, согласно которому сейсмическая опасность, связанная одновременно с сильными землетрясениями с моментной магнитудой  $M_{\text{пор}} \ge 7.6$  (глубина очагов до 100 км) и "опасными" цунами, приурочена к интервалу август 2015 – июль 2017 гг. (время тревоги сократилось на девять месяцев). Для Курильских островов ( $M_{\text{пор}} \ge 7.5$ ) опасный период наступит чуть раньше, с сентября 2013 г., и продлится по февраль 2016 г.

Опасные периоды отличаются от опубликованных ранее [6-8] в связи с тем, что лишь в январе  $2010 \, \Gamma$ . окончательно определен минимум предыдущего  $23 \, \mu$  цикла солнечной активности (декабрь  $2009 \, \Gamma$ .).

Как видно из таблицы, величины эффективности прогноза по определению [1] при комплексной схеме меняются от 2.3 (Алеутские острова) до 5.2 (Камчатка). Поскольку для "случайного" прогнозирования эффективность в пределе равна единице, то величина эффективности показывает, во сколько раз предложенная методика прогноза лучше. Величина эффективности I=2.0 соответствует прогнозу с уровнем доверия 0.95, т.е. для каждого из регионов гипотеза о случайном распределении событий отвергается с уровнем доверия более 0.95. Таким образом, сделанные комплексные долгосрочные прогнозы являются статистически значимыми. Доля тревожного времени возникновения наиболее опасных цунами и сильных землетрясений невелика: минимальная — для Японии — немногим более двух лет, максимальная — для Алеутских островов — менее 6 лет.

Можно отметить, что для Камчатского региона представляют опасность и удалённые цунами из районов Курильских и Алеутских островов, а также Японии. В нашей схеме они не учитываются. Эта опасность определяется, в основном, долгосрочными прогнозами для этих регионов. Представляется целесообразным в дальнейшем реализовать предложенный подход для других высокосейсмичных цунамиопасных регионов Земли.

## Выволы

- 1. Сравнительный анализ отдельных схем прогнозов землетрясений и цунами показал, что применение метода МФТ для прогноза цунами оказалось оправданным.
- 2. Для четырех регионов северо-западной части Тихого океана сделаны статистически значимые, с уровнем доверия более 0.95, комплексные прогнозы сильных землетрясений и опасных цунами до 2027 года и сделаны оценки их эффективности.
- 3. Использование комплексных схем долгосрочного прогноза землетрясений и цунами является более целесообразным, так как одновременно оценивается опасность двух разных явлений. При этом величина эффективности схемы комплексного прогноза почти не ухудшилась по сравнению с эффективностью прогнозирования "главных" землетрясений.

## Список литературы

- 1. Гусев А.А. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С. 109-119.
- 2. Кропоткин П.Н. Возможная роль космических факторов в геотектонике // Геотектоника. 1970. № 2. С. 30-76.
- 3. Ламакин В.В. О периодичности байкальских землетрясений // ДАН СССР. 1966. Т. 170. № 2. С. 210-213.
- 4. Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана (173-1968 гг.). М.: Наука, 1974. 310 с.
- 5. 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.
- 6. 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.
- 7. Широков В.А., Серафимова Ю.К. Методика прогноза сильных землетрясений с магнитудой  $M \ge 7.6$  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.
- 8. 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.

Таблица. Комплексный долгосрочный прогноз для сильных землетрясений и опасных цунами по методу МФТ для отдельных регионов Тихоокеанского сейсмического пояса и оценка его эффективности

Сейсмоопасный интервал на период до 2027 г.			VIII.2015 – VII.2017	IX.2013 – II.2016 XI.2024 – I.2026	XII.2007 – III.2010	VII.2010 – IX.2015 VII.2022 – I.2023
А стонаптиэффе прогнования при комплексной схеме				2.7	2.8	2.3
ы чтоонаптэфф€ мвянул винваодиеонтодп			4.9	2.4	2.9	2.7
Характеристика выборки цунами	Число цунами,	п Число "спрогнози- рованных" цунами,	8	9	23	9
	Период наблюдений, годы		1737-1997	1780-2007	1763-2005	1788-2003
х имвнул атоннати д			≥ 2.0	≥ 2.0	≥ 2.0	≥ 2.0
У атэонаитээффе прогнозиравания землетрасений			5.6	2.8	2.8	2.3
Площадь "опасных" окон, $S_{onac}$			0.18	0.33	0:30	0.37
Характеристика выборки "главных" землетрясений	Число землетря- сений, N	Число "спрогнози- рованных" землетрясен	14 14	29	18	26
	Период наблюдений, годы		1737-2007	1780-2007	1894-2007	1849-2007
Характер	Магнитуда, М		$M_w \ge 7.6$	M > 7.5	W≥7.9	M > 7.5
Регион				Курильские острова	винопК	Алеутские острова
Ž			I	Ш	Ш	IV