

Гусьяков В.К.

(Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, email: gvk@sscc.ru)

Несейсмические цунами в Мировом океане: глобальное распределение, статистика жертв и ущерба

Gusiakov V.K.

(Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, SD RAS,
Novosibirsk, email: gvk@sscc.ru)

Non-seismic tsunamis in the World Ocean: global statistics of occurrence, fatalities and damage

Ключевые слова: цунами, цунамиопасность, сейсмоструктура, оперативный прогноз, вулканы, оползни, метеоцунами

На основе анализа глобального каталога дается обзор фактических сведений о возникновении цунами несейсмического происхождения, порожденных вулканическими извержениями, подводными оползнями и береговыми обвалами, а также атмосферными процессами. Анализируется глобальная статистика возникновения таких событий, данные об ущербе и человеческих жертвах. Оперативный прогноз таких цунами представляет серьезную проблему, поскольку алгоритм работы всех существующих служб предупреждения ориентирован на прогноз сейсмогенных цунами, порождаемых подводными землетрясениями.

Оперативный прогноз цунами в Тихом океане, и в других океанических бассейнах осуществляется национальными и региональными службами предупреждения, работа которых основана на оперативной оценке цунамиопасности подводных землетрясений на основе магнитудно-географического критерия и последующем мониторинге возникновения и распространения цунами с помощью донных и береговых мареографных станций. При таком алгоритме работы СПЦ своевременное выявление цунами, порожденных, например, вулканическими взрывами или подводными оползнями представляет большую проблему, что наглядно подтвердилось при нескольких последних событиях, таких как цунами Анак Кракатау 22 декабря 2018 г. в Индонезии [1] и глобальном цунами, порожденном взрывом вулкана Хунга-Тонга, происшедшем 15 января 2022 г. в Королевстве Тонга [2].

В общей статистике цунамигенных событий глобального каталога доля цунами несейсмического происхождения составляет менее 25%, однако, как показано в [3], среди событий, сопровождавшихся большим материальным ущербом и человеческими жертвами, она может достигать 34%.

Среди этой группы цунамигенных событий наиболее опасными являются цунами, связанные с вулканической деятельностью. Такие цунами порождаются как непосредственно извержениями, так и нарушениями стабильности вулканических склонов, надводных и подводных. За весь

исторический период доля цунами вулканогенного происхождения составляет порядка 5–6% и, как правило, они носят локальный или региональный характер. Тем не менее, они несут большую угрозу населению близлежащих побережий. Список наиболее значительных цунами вулканогенного происхождения приведен в табл. 1.

Таблица 1. Список наиболее значительных цунами вулканического происхождения, V – общий объем изверженного материала или объем оползня на вулканическом склоне, H_m - максимальный заплеск цунами, FAT – число жертв от цунами

Дата	Регион	Вулкан	V , км ³	H_m (м)	FAT
–6000	Сицилия	Этна	35	неиз.	неизв.
–1628	Эгейское море	Санторин	10–30	40	неизв.
29.08.1741	Японское море	Ошима	2.4	13	2000
21.05.1792	Вост.–Кит. море	Унзен	0.34	57	11000
27.08.1883	Индонезия	Кракатау	18–20	35	36417
13.03.1888	Море Бисмарка	Риттер	2–5	15	~1000
19.02.1965	Чили	Яте	0.06	60	27
29.11.1975	О-в Гавайи	Килауэа	–	14	2
21.08.1976	Камерун	оз.Ниос	0.0003	24	1700
18.05.1980	США	Сент–Хеленс	0.21	250	0
22.12.2018	Индонезия	Ан.Кракатау	0.0003	85	447
15.01.2022	Тонга	Хунга–Тонга	–	22	6

Главная проблема с прогнозированием вулканогенных цунами – большое разнообразие механизмов их генерации. В [4] выделено восемь основных типов таких механизмов: (1) надводный оползень, (2) подводный оползень, (3) пирокластический поток, (4) обрушение (коллапс) кальдеры, (5) подводный взрыв, (6) коллапс эруптивной колонны, (7) воздушный взрыв, (8) вулканогенное землетрясение. Какой из этих механизмов реализуется в каждом конкретном случае (при том, что возможны их любые комбинации) определить очень трудно, особенно в условиях жесткого дефицита времени.

Дополнительным, хотя и достаточно редким типом цунами, связанным с вулканической активностью, является так называемое «лимническое извержение» (limnic eruption), именуемое также «опрокидыванием озера» (lake overturn). Это явление происходит, когда углекислый газ или метан, растворенные в глубинных слоях воды, внезапно высвобождаются и извергаются на поверхность. Лимническое извержение в озере Ниос в Камеруне, которое произошло 21 августа 1986 г. и привело к гибели 1700 человек, было самым смертоносным случаем такого рода катастроф на сегодняшний день.

Вторая по степени опасности группа несейсмических цунами – это обвальные и оползневые цунами. Их доля не превышает 7% и они, как правило, носят локальный характер, но достигают предельно возможных заплесков. Список наиболее значительных цунами обвального происхождения приведен в табл. 2. Прогнозирование таких цунами возможно только на основе специально созданных локальных систем с очень малым (порядка минуты) временем реакции, главной проблемой при этом является точная локализация района возможного возникновения оползня.

Таблица 2. Список наиболее значительных цунами обвального происхождения, V – объем оползня, H_m – максимальный заплеск цунами, FAT – число жертв от цунами.

Дата	Регион	Оползень	V , км ³	H_m (м)	FAT
–6200	Норвежское море	Сторегга	3500	10–12	неиз.
1853	Аляска	зал.Литуйя	неиз.	120	неиз.
07.04.1934	Норвегия	Тафьерд	0.002	62	41
27.10.1936	Аляска	зал.Литуйя	неиз.	150	0
10.07.1957	Аляска	зал.Литуйя	0.03	525	2
30.10.1963	Сев. Италия	Вайонт	0.285	250	1920
18.10.2015	Аляска	Таан фьорд	0.06	193	0
17.06.2017	Гренландия	Каррат Бей	0.01	90	4
21.04.2007	Чили	Аунсен фьорд	0.03	65	8
11.12.2018	Хабаровский край	Буря	0.025	90	0

Третьей группой несейсмических цунами являются метеорологические цунами (метеоцунами), которые определяются как аномальные долгопериодные (от 2 до 120 мин) колебания уровня моря, возникающие в результате атмосферного воздействия. В глобальном историческом каталоге метеоцунами составляют очень небольшую долю всех событий (4.1%). В XXI веке, когда стали широко доступны цифровые приборы для регистрации уровня моря, идентифицированные метеоцунами по-прежнему составляют лишь 5.8% от всех занесенных в каталог событий цунами. В то же время существуют многие регионы (Великие озера, северо-восточная часть Мексиканского залива, восточное побережье США, юг Британии, Балеарские острова, Адриатическое море, Желтое море, юго-западное побережье Японии, юго-восточное побережье Бразилии), где метеоцунами преобладают над всеми остальными типами цунамигенных событий.

Как правило, метеоцунами возникают в этих районах при определенных погодных условиях, когда относительно небольшие начальные возмущения уровня, порядка нескольких сантиметров, могут значительно усиливаться за счет цепочки резонансных явлений (резонанс Праудмана, резонанс Гринспена, резонансная реакция залива или гавани), которые могут

действовать независимо или последовательно, создавая опасные волны затопляющие побережье.

Таблица 3. Список наиболее значительных цунами метеорологического происхождения. H_m – максимальный заплеск цунами, FAT – число жертв от цунами, INJ – число пострадавших при цунами.

/	Регион	Локация	H_m (м)	FAT	INJ
26.06.1954	США	Мичиган	3.0	7	0
20.09.1977	Хорватия	Вела Лука	4.0	0	0
21.06.1978	Хорватия	Вела Лука	6.0	0	0
31.03.1979	Япония	Нагасаки	4.8	3	0
05.10.1984	Хорватия	О-в Ист	4.0	0	0
04.07.1992	США	Дейтона Бич	3.6	0	75
15.06.2006	Испания	Цитаделла	5.0	0	0
22.08.2007	Хорватия	О-в Ист	4.0	0	0
28.10.2008	США	Бусбей	4.0	0	0
19.03.2017	Иран	Дайер	3.0	6	0

Атмосферные явления, которые выступают в качестве потенциальных генераторов метеоцунами, представляют собой подвижные возмущения давления, такие как линейные шквалы, грозовые фронты, атмосферные гравитационные волны, мезомасштабные конвективные бури, дождевые полосы в тропических циклонах, прохождение тайфунов и ураганов, деречо, внутренние волны, генерируемые приливами, воздушные волны от вулканических взрывов. Именно этот механизм являлся ведущим при возникновении глобального цунами после взрыва вулкана Хунга-Тонга 15 января 2022 г., которое затронуло все без исключения океанические бассейны.

Обзорная карта очагов цунами несейсмического происхождения приведена на рисунке. Она показывает, что в целом такие цунами возникают примерно в тех же районах что и сейсмогенные цунами. Можно также отметить приуроченность их отдельных типов к определенным географическим регионам. Так, например, обвальные цунами явно тяготеют к побережьям фиордового типа (Норвегия, северо-запад США и Канады), в то время как метеоцунами характерны для многих мелководных окраинных и внутренних морей.

Работа выполнена в рамках госзадания ИВМиМГ СО РАН № FWNM-2022-0004.

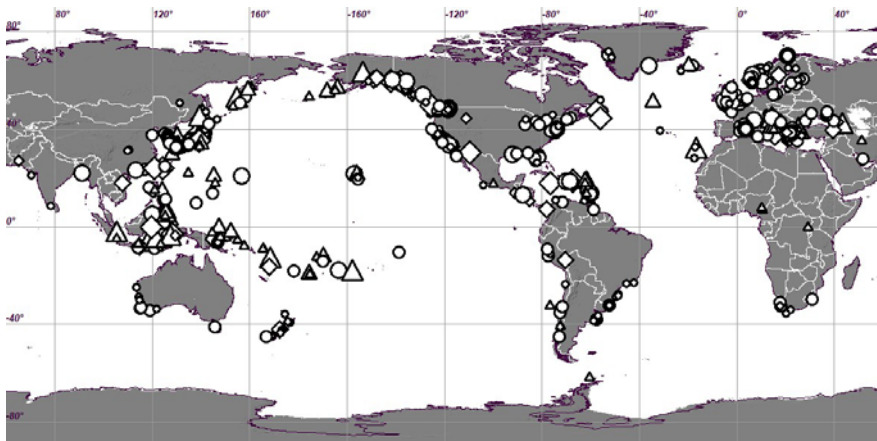


Рисунок. Обзорная карта 545 очагов цунами несейсмического происхождения. Треугольниками показаны вулканогенные цунами, ромбами – обвальные, кружками - метеоцунами

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Putra P.S., Aswan A., Maryunani K.A., Yulianto E., Nugroho S.H., Setiawan V. Post-Event Field Survey of the 22 December 2018 Anak Krakatau Tsunami // Pure Apped. Geophysics. 2020. V. 177. P. 2477–2492.
2. Wright C.J., Hindley N.P., Alexander M.J. et al. Surface-to-space atmospheric waves from Hunga Tonga–Hunga Ha’apai eruption // Nature. 2022. V. 609. P. 741–746. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05012-5>
3. Gusiakov V.K. Global Occurrence of Large Tsunamis and Tsunami-like Waves Within the Last 120 years (1900–2019) // Pure Appl. Geophys. 2020. V. 177. P. 1261–1266. <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02437-9>
4. Paris R., Switzer A.D., Belousova M., Belousov A., Ontowirjo B., Whelley, P.L., Ulvrová M., Volcanic tsunamis: a review of source mechanisms, past events, and hazards in Southeast Asia (Indonesia, Philippines, Papua New Guinea) // Natural Hazards. 2014. V. 70 (1). P. 447–470. <https://core.ac.uk/reader/34215530>

Based on the analysis of the global catalog, an overview is given of actual information about the occurrence of tsunamis of non-seismic origin generated by volcanic eruptions, underwater landslides and coastal collapses, as well as atmospheric processes. The global statistics of the occurrence of such events, data on damage and fatalities are analyzed. The early warning of such tsunamis poses a serious problem, since the algorithm of operation of all existing warning centers is focused on the forecast of seismogenic tsunamis generated by underwater earthquakes.