

УДК 550.344.42

## АТМОСФЕРНО-ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ВУЛКАНОМ ХУНГА-ТОНГО-ХУНГА-ХААПАН

© 2022 г. Академик РАН Г. И. Долгих<sup>1,\*</sup>, С. Г. Долгих<sup>1</sup>, В. В. Овчаренко<sup>1</sup>

Поступило 29.03.2022 г.

После доработки 27.04.2022 г.

Принято к публикации 28.04.2022 г.

Волны Лэмба, вызванные взрывной фазой извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай, расположенного на одноименном острове, несколько раз обогнула земной шар, возбуждая на своем пути аналогичные возмущения в земной коре и океанах. Она регистрировалась на м. Шульца лазерным нанобарографом, а вызванные им деформационные возмущения — лазерным деформографом. Первая регистрация возмущения величиной 2 гПа была выполнена через 7 ч 50 мин после извержения вулкана.

*Ключевые слова:* извержение вулкана, взрыв, атмосферная аномалия, деформационная аномалия, волна Лэмба

DOI: 10.31857/S2686739722080072

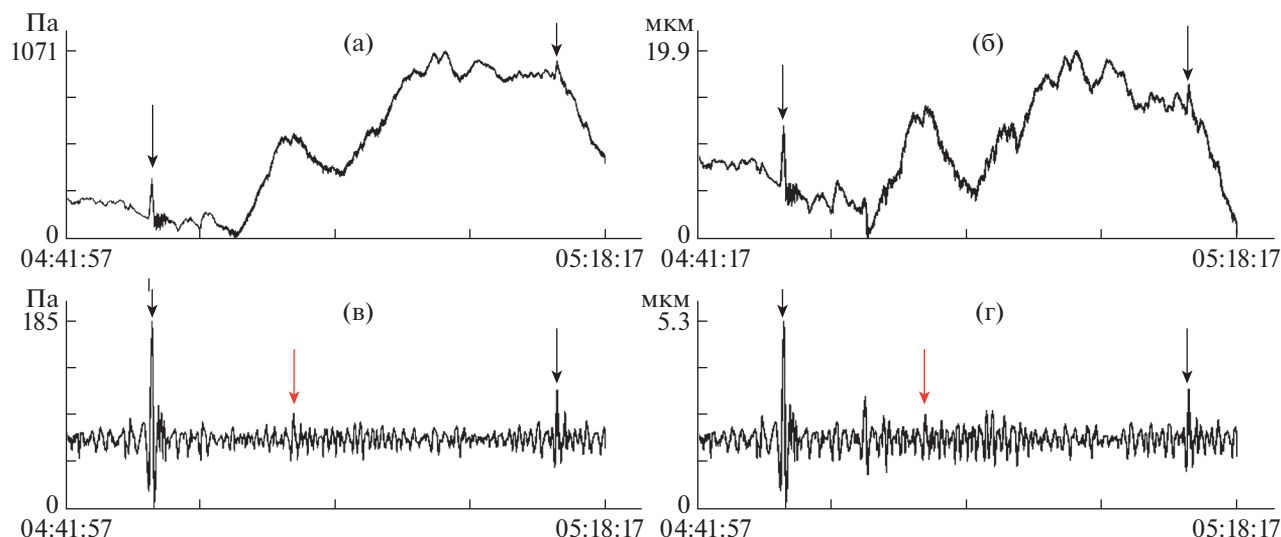
15 января в 04:15 UTC началась активная взрывная фаза извержения вулкана на острове Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай, который расположен в 30 км от острова Тонга Фонуафоу [1]. В результате взрыва сформировалось атмосферное возмущение, волна Лэмба [2], которое при своем распространении было зарегистрировано как недавно установленными датчиками DART [3], так и другими датчиками, установленными по всему Тихому океану. При первом анализе записей системы DART зафиксированные отклонения уровня моря были приписаны образовавшейся цунами. Наряду с импульсом в атмосфере, при анализе спутниковых данных, были обнаружены атмосферные гравитационные волны, сформировавшиеся в результате вертикальных перемещений частиц от поверхности моря в ионосферу [4].

Волны Лэмба, вызванные взрывом вулкана, распространились по всей нашей планете, в том числе достигнув м. Шульца залива Петра Великого Японского моря, расположенного на расстоянии около 9000 км от острова Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай. На данном мысе Шульца в постоянном режиме функционирует лазерно-интерференционный комплекс ТОИ ДВО РАН, состоящий из лазерного нанобарографа [5] и двухкоординатного лазерного деформографа, состоящего из двух ла-

зерных деформографов неравноплечего типа, измерительные плечи которых расположены под углом 92° относительно друг друга [6]. Каждый лазерный деформограф регистрирует смещения участков верхнего слоя земной коры в частотном диапазоне от 0 (условно) до 1000 Гц с точностью не хуже 0.1 нм. Лазерный нанобарограф регистрирует вариации атмосферного давления в частотном диапазоне от 0 (условно) до 1000 Гц с точностью не хуже 50 мкПа. Все полученные экспериментальные данные по кабельным линиям поступают в лабораторное помещение, где, после предварительной обработки (фильтрация и децимация), заносятся в базу экспериментальных данных аппаратно-программного вычислительного комплекса.

При анализе записей лазерного деформографа “север–юг” с длиной измерительного плеча 52.5 м и лазерного нанобарографа установлено, что обеими установками зарегистрировано несколько приходов волны Лэмба, вызванной взрывом вулкана. Первый приход волны был зарегистрирован лазерным нанобарографом 15.01.22 г. в 12:10 UTC, т.е. через 7 ч 50 мин после взрыва. Высота этого импульса составила 220 Па (рис. 1а). На записях лазерного деформографа также был зарегистрирован импульс в это же время, его высота составила 6.4 мкм (рис. 1б). Затем, обогнув земной шар, этот же импульс был зарегистрирован обоими приборами 17.01.22 г. На рис. 1а представлен фрагмент записи лазерного нанобарографа, где стрелками обозначены оба импульса, пришедшие 15.01.22 г. и 17.01.22 г. в 00:44 UTC. Второй приход

<sup>1</sup> Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия  
\*E-mail: dolgikh@poi.dvo.ru



**Рис. 1.** Фрагменты записей лазерного нанобарографа а) лазерного деформографа б) и отфильтрованные фрагменты записей лазерного нанобарографа в), лазерного деформографа г) за 15–17 января 2022 г.

прямого импульса был зарегистрирован через 36 ч 40 мин после извержения. На записи лазерного нанобарографа высота импульса составила 102 Па. На фрагменте записи лазерного деформографа (рис. 1б) обозначены стрелками оба этих импульса, первого, и обогнувшего земной шар. Высота второго импульса составила 3 мкм.

Для поиска импульса, прошедшего антиподальную область, т.е. от вулкана до приемников в обратном направлении, записи лазерного нанобарографа и лазерного деформографа были отфильтрованы полосовым фильтром Хэмминга в полосе от 1 мин до 1 ч. Отфильтрованные записи представлены на рис. 1в, г, на которых выделяются антиподальные импульсы, отмеченные красными стрелками. На обоих приборах этот импульс был зарегистрирован 16.01.22 г. в 01:12, т.е. через 20 ч 57 мин после взрыва вулкана. На записи лазерного нанобарографа высота импульса составила 47 Па, а на записи лазерного деформографа 1.3 мкм.

При первом приходе ширина импульса была около 30 мин, после которого на записях всех приборов (два лазерных деформографа и лазерный нанобарограф) регистрировались колебания в минутном диапазоне периодов. В ходе обработки данных участков записей двух лазерных деформографов и лазерного нанобарографа выделены мощные максимумы на периодах 17 мин 04 с, 8 мин 32 с, 4 мин 16 с и 3 мин 06 с. Интересно отметить, что период колебания 17 мин 04 с близок к периоду основной моды собственных колебаний бухты Витязь [7], граничащий с севера с м. Шульца.

В этот же период наблюдения вблизи поселка Посьета Приморского края работал волнограф в

заливе Посьета, покрытого льдом. После прихода первого импульса возникли низкочастотные колебания на периодах 1.5 ч, 34.2 и 30.2 мин. В этом районе ранее нами регистрировались колебания с примерно аналогичными периодами лазерным измерителем вариаций гидросферного давления [8], которые интерпретировались как сейши. Максимальная амплитуда сигнала на волнографе составила 0.15 м при толщине льда более 0.6 м. Учитывая, что эти колебания возникли через несколько минут после регистрации первого импульса лазерным нанобарографом и их периоды не совпадают с периодами колебаний атмосферного давления и верхнего слоя земной коры, выявленных на записях лазерно-интерференционных приборов, можно говорить, что это колебания бухт залива Посьета и самого залива. Резкое изменение атмосферного давления спровоцировало увеличение амплитуд сейш.

Далее обратим внимание на времена первого, второго и третьего приходов волны Лэмба. Нас будет интересовать скорость перемещений возмущений до места регистрации. В случае м. Шульца с учетом прямого прихода и антиподального прихода имеем: для первого случая скорость примерно равна 315 м/с, для антиподального случая скорость примерно равна 331 м/с, для второго прямого прихода скорость примерно составила 304 м/с. Небольшие вариации значений скоростей связаны с тем, что мы не знаем точно пройденные импульсами расстояния. Все эти скорости соответствуют типичным скоростям волны Лэмба.

В заключение необходимо отметить, что по вышеприведенным данным нельзя говорить о цунами, образовавшейся в месте взрыва вулкана и

распространяющейся далее по Тихому океану, а можно говорить только о колебаниях, образовавшихся в местах прохода волны Лэмба. В пользу этого говорит и тот факт, что на записях лазерных деформографов не обнаружено скачков деформаций, вызванных деформационными процессами, приводящими к возникновению цунами [8].

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке РНФ проект № 22-27-00678 “Микродеформации земной коры, вызванные морскими инфрагравитационными волнами по данным лазерно-интерференционных приборов”.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Извержение\\_Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай](https://ru.wikipedia.org/wiki/Извержение_Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай) (25.04.2022 г.)
2. *Harkrider D., Press F.* The Krakatoa Air–Sea Waves: An Example of Pulse Propagation in Coupled Systems. // *Geophysical Journal International*. 1967. V. 13 (1–3), P. 149–159.
3. *Romano F., Gusman A.R., Power W., Piatanesi A., Volpe M., Scala A., Lorito S.* Tsunami Source of the 2021 MW 8.1 Raoul Island Earthquake From DART and Tide-Gauge Data Inversion // *Geophysical Research Letters*. 2021. V. 48. I. 17, e2021GL094449. <https://doi.org/10.1029/2021GL094449>
4. *Adam D.* Tonga Volcano Eruption Created Puzzling Ripples in Earth’s Atmosphere, *News*: Jan 18, 2022. *Nature*. <https://www.nature.com/articles/d41586-022-00127-1>
5. *Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалев С.Н., Корень И.А., Новикова О.В., Овчаренко В.В., Окунцева О.П., Швец В.А., Чупин В.А., Яковенко С.В.* Лазерный нанобарограф и его применение при его изучении баро-деформационного взаимодействия // *Физика Земли*. 2004. № 8. С. 82–90.
6. *Долгих Г.И., Ковалев С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В.* Двухкоординатный лазерный деформограф // *Физика Земли*. 1998. № 11. С. 76–81.
7. *Долгих Г.И., Будрин С.С., Долгих С.Г., Плотников А.А., Чупин В.А., Швец В.А., Яковенко С.В.* Собственные колебания уровня воды в бухтах залива Посьета Японского моря // *Метеорология и гидрология*. 2016. № 8. С. 57–63.
8. *Dolgikh G.I., Dolgikh S.G.* Deformation Anomalies Accompanying Tsunami Origination // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021. V. 9 (10). P. 1144.

## ATMOSPHERIC AND DEFORMATION DISTURBANCES CAUSED BY THE HUNGA-TONGA-HUNGA-HAAPAI VOLCANO

Academician of the RAS **G. I. Dolgikh<sup>a, #</sup>**, **S. G. Dolgikh<sup>a</sup>**, and **V. V. Ovcharenko<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Il’ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*  
<sup>#</sup> *E-mail: dolgikh@poi.dvo.ru*

The Lamb wave caused by the explosive phase of the eruption of the Hunga-Tonga-Hunga-Haapai volcano located on the same name island circled the globe several times, exciting on their way similar disturbances in the Earth’s crust and oceans. They were recorded at cape Schultz with a laser nanobarograph, and the deformation perturbations caused by it were recorded with a laser strainmeter. The first recording of a 2 hPa perturbation was made in 7 h 50 min after the volcanic eruption.

*Keywords:* volcanic eruption, explosion, atmospheric anomaly, deformation anomaly, Lamb wave