

## EXPERIMENTAL MODELING OF PERIODICITIES IN THE DYNAMICS OF LAVA FOUNTAINING

**Ozerov A. Yu.**

Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, ozerov@ozerov.ru

Periodic fountaining of incandescent volcanic bombs is one of the most grandiose processes on the Earth. Fountaining episodes begin sharply, without preliminary seismic preparation. Glowing bombs in the form of a fan or a vertical stream are thrown out to the height of 50 – 500 m depending on the character of the volcano and intensity of the eruption. During low intensity fountaining about 10 - 100 tons/s of volcanic bombs are ejected to the surface, during average – 100 - 1 000 tons/s, and during strong – over 1 000 tons/s.

Volcanic bombs are formed of liquid basalt magma as a result of bursting of gas bubbles formed in the melt during magma's ascent to the surface. Mass exsolution of magmatic bubbles from the melt leads to fountaining of incandescent bombs.

Since 1983 we have been conducting volcanological and geophysical (volcanic tremor) studying of incandescent fountains at Klyuchevskoy volcano. Analysis of continuously registered geophysical data (volcanic tremor), processed by means of statistical analysis, allowed us for the first time to identify steady periodicities in the dynamics of fountaining which are manifested in a wide time range: from tens of minutes – to tens of hours [Ozerov and Konov, 1988]. During studying of eruptions in 1984, 1993 and 2007 it has been established that at steady increase of magma discharge in the volcanic crater three regimes of fountaining are sequentially manifested: steady low-intensity, periodic and steady high-intensity. Two intervals of change of the regime (ICR) – ICR-1 of "entry" to the periodic regime and ICR-2 of "exit" from it have been identified [Ozerov *et al.*, 2007]. The obtained results laid the basis for laboratory experiments.

Analysis of descriptions of eruptions and seismograms at other basalt volcanoes of the world has allowed to establish periodic fountaining at the following volcanoes: Tolbachik (Kamchatka), Etna (Sicily), Kilauea (Hawaii), Niragongo (Africa), Karkar (Papua New Guinea); in literature only 1 description of periodicity in the dynamics of fountaining can be found for an underwater volcano NW Rota-1 in the Mariana Trench [Chadwick *et al.*, 2008].

Fountaining of incandescent bombs is poorly studied in Volcanology. Attempts to involve known gas-liquid regimes in vertical conduits - bubbly, slug, annular and disperse - have not offered an unambiguous explanation of the reasons of this phenomenon. Therefore to study this phenomenon the author undertook laboratory experiments since 2003.

Our goal was to reveal the reasons of periodicities in the dynamics of fountaining of incandescent bombs at basalt volcanoes. Experimental studies included studying of behavior of gas bubbles during their barbotage in vertical pipes through model liquids of various densities with subsequent comparison of the obtained data to real volcanic events. For these studies a Complex Apparatus for Modeling Basaltic Eruptions – CAMBE in a "barbotage column" version has been designed.

While constructing the complex apparatus we did our best to consider the parameters of real feeding magma systems. Klyuchevskoy volcano (Kamchatka) has been accepted as a basis – a typical basaltic volcano. The complex apparatus consists of two systems – modeling and registering.

The modeling system represents a transparent, vertically positioned plastic hose with the height of 15 700 mm and internal diameter of 18 mm. The bottom end of the hose is plugged with a stopper through which a hollow needle is entered. The top part of the hose is opened; it enters an aquarium that receives the arriving model liquid. The hose simulates a feeding channel of a volcano, and an aquarium - a volcano crater. In the experiments liquid and gas are used. For modeling liquid we used a 35 % glycerin in water solution. As a barbotage gas we used usual compressed air

supplied from a gas cylinder. The majority of experiments have been conducted with the bubbles of one size that relates to the internal diameter of the hose as  $\sim 1:20$  which excludes a possibility of locking the internal section of the hose with a large bubble.

In the course of experiments, a new earlier unknown morphologically steady gas-hydrodynamic structure - an open bubbly cluster has been identified. It represents a volume of liquid with high concentration of bubbles, separated with a liquid containing no free gas phase from above and from below. A set of open bubbly clusters (following one another at a fixed distance), divided by liquid without bubbles, represents a periodic regime of open clusters. This regime is the key one in the course of periodic fountaining of incandescent bombs in the volcanic crater.

Origination of cluster regime leads to essential redistribution of bubbles in the barbotage column which at the surface results in intensive splatter of the liquid due to bursting of cluster bubbles. In the intervals between arrival of clusters the liquid surface remains quiet. Thus, steady periodic fountaining of the liquid is realized. These data allow us to assume that during volcanic eruption similar process takes place, when bursting of cluster bubbles at the crater in liquid magma produces lava fountaining, and elastic basalt bombs are thrown out.

Additional information was obtained through acoustic studies on CAMBE on the change of pressure of the sound wave generated by bursting of bubbles on the surface of the model liquid. Results of acoustic studies are comparable with the data of volcanic tremor during eruptions at Klyuchevskoy in 1984, 1993 and 2008. Comparison of natural and experimental plots shows their big similarity in consecutive realization of three regimes (accordingly, in the pair natural process – experiment: uniform low-intensity – uniform low debit, periodic in both processes, uniform high-intensity – uniform high debit). Two intervals of change of the regime (ICR) have been identified, both during volcanic eruptions and in the experiments: ICR-1 "entry" in a periodic regime and ICR-2 "exit" from it. The obtained data justified the experimental results on CAMBE with reference to the mechanism of the processes occurring in the feeding conduit of Klyuchevskoy volcano.

Based on the conducted experiments and natural studies a new model of gas-hydrodynamic movement of magma melt in the conduit of a basalt volcano is offered. Realization of various regimes of the two-phase magma melt flow on the surface is responsible for variety of explosive phenomena in the volcanic crater. Depending on the manifestation of the type of the regime basaltic volcanoes can display various types of explosive activity: 1 – steady low debit regime – steady ash emission with a small amount of volcanic bombs, 2 – periodic regime – energetic periodic fountaining of incandescent bombs, and 3 – steady high debit regime – intensive long monotonous “work” of fountains of volcanic bombs.

#### References:

- Chadwick W.W., Cashman K.V., Embley R.W., Matsumoto H., Dziak R.P., de Ronde C.E.J., Lau T. K., Dearthoff N.D., Merle S.G.* Direct video and hydrophone observations of submarine explosive eruptions at NW Rota-1 volcano, Mariana arc. *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113, B08S10, P. 1–23.
- Ozerov A.Yu., Firstov P.P., Gavrilov V.A.* Periodicities in the dynamics of eruptions of Klyuchevskoy volcano, Kamchatka // *Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region. Geophysical Monograph Series.* 2007. V. 172. P. 283–291.
- Ozerov A.Yu., Konov A.S.* Regularities the dynamics of Klyuchevskoy volcano eruption // *Proceeding Kagoshima International Conference of Volcanoes.* Japan. 1988. P. 63–65.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ В ДИНАМИКЕ ЛАВОВЫХ ФОНТАНОВ

Озеров А.Ю.

Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, ozerov@ozerov.ru

Периодическое фонтанирование раскаленных бомб - один из наиболее грандиозных процессов на Земле. Эпизоды фонтанирования начинаются резко, без предварительной сейсмической подготовки. Светящиеся бомбы в виде веера или вертикальной струи могут выбрасываться на высоту, которая в зависимости от характера вулкана и интенсивности извержения, изменяется в интервале 50-500 м. При фонтанировании слабой интенсивности на поверхность Земли поступает - 10 - 100 тонн/с вулканических бомб, при средней – 100 - 1 000 тонн/с, при сильной – свыше 1 000 тонн/с.

Вулканические бомбы образуются из жидкой базальтовой магмы за счет лопающихся газовых пузырей, образующихся в расплаве при подъеме к поверхности. Массовое выделение магматических пузырей из расплава приводит к фонтанированию раскаленных бомб.

С 1983 года нами проводились вулканологические и геофизические (вулканическое дрожание) изучение раскаленных фонтанов на Ключевском вулкане. На основе анализа непрерывно регистрируемых геофизических данных (вулканическое дрожание), обработанных с помощью методов статистического анализа, впервые в динамике фонтанирования установлены устойчивые периодичности, которые проявляются в широком временном диапазоне: десятки минут – десятки часов [Ozerov and Konov, 1988]. При исследовании извержений 1984, 1993 и 2007 гг. было установлено, что при равномерном повышении расхода магмы в кратере вулкана последовательно проявляются три режима фонтанирования: равномерный низкоинтенсивный, периодический и равномерный высокоинтенсивный. Были определены две области смены режима – ОСР-1 «входа» в периодический режим и ОСР-2 «выхода» из него [Ozerov et al., 2007]. Полученные результаты были положены в основу лабораторных экспериментов.

Анализ описаний извержений и сейсмограмм на других базальтовых вулканах мира позволил установить периодическое фонтанирование на вулканах: Толбачинском (Камчатка), Этна (Сицилия), Килауэа (Гавайи), Нирагонго (Конго, Африка), Каркар (Папуа Новая Гвинея), в литературе известно единственное описание периодичности в динамике фонтанирования для подводного вулкана NW Rota-1 в Марианской впадине [Chadwick et al., 2008].

Процесс фонтанирования раскаленных бомб является одним из слабоизученных в вулканологии. Попытки привлечь известные газожидкостные режимы в вертикальных каналах: пузырьковый, снарядный, кольцевой и дисперсный не дали однозначного объяснения причин этого явления. Поэтому для изучения этого феномена автором с 2003 года проводились лабораторные эксперименты.

Задачей исследований было предусмотрено выявление причин периодичностей в динамике фонтанирования раскаленных бомб на базальтовых вулканах. Экспериментальные исследования включали изучение поведения газовых пузырьков при их барботировании сквозь модельные жидкости разной плотности в вертикальных трубах с последующим сопоставлением полученных данных с реальными вулканическими событиями. Для этих исследований был сконструирован Комплекс Аппаратуры Моделирования Базальтовых Извержений – КАМБИ в варианте «барботажная колонна».

При создании установки мы стремились максимально учесть соотношения параметров реальных питающих магматических систем. За основу принят вулкан Ключевской (Камчатка) – типичный представитель базальтовых вулканов. Установка состоит из двух систем - моделирующей и регистрирующей.

Моделирующая система представляет собой прозрачную вертикально расположенную пластиковую трубку высотой – 15 700 мм, внутренний диаметр 18 мм. Нижний торец трубки герметизирован пробкой, сквозь которую в трубку введена полая игла. Верхняя часть трубки открыта и введена в аквариум, созданный для приема поступающей модельной жидкости. Трубка имитирует питающий канал вулкана, а аквариум - кратер вулкана. В работе используется жидкость и газ. В качестве модельной жидкости применяется 35% раствор глицерина в воде. В качестве барботирующего газа применяется обычный воздух,

поступающий под давлением из газового баллона. Основной массив экспериментов был проведен с пузырьками одного размера при отношении диаметра пузырька к внутреннему диаметру трубки примерно 1:20, что исключает возможность запираания внутреннего сечения трубки крупным пузырьком.

В процессе экспериментальных исследований выявлена новая, ранее неизвестная морфологически устойчивая газогидродинамическая структура – открытый пузырьковый кластер. Он представляет собой объем жидкости с высокой концентрацией пузырьков, сверху и снизу ограниченный жидкостью, не содержащей свободной газовой фазы. Совокупность открытых пузырьковых кластеров (следующих друг за другом на фиксированном расстоянии), разделенных между собой слоем жидкости без пузырьков, представляет периодический режим открытых кластеров. Этот режим – определяющий в процессе периодического фонтанирования раскаленных бомб в кратере вулкана.

Возникновение кластерного режима приводит к существенному перераспределению пузырьков в барботажной колонне, которое на поверхности жидкости приводит к интенсивному разбрызгиванию жидкости за счет лопающихся пузырьков кластера. В промежутках между поступлением кластеров поверхность жидкости остается в спокойном состоянии. Таким образом, реализуется устойчивое периодическое фонтанирование жидкости. Эти данные позволяют полагать, что во время извержения на вулкане наблюдается аналогичный процесс, когда из жидкой магмы в кратере за счет лопающихся пузырьков кластера происходит фонтанирование лавы, и вылетают пластичные базальтовые бомбы.

Дополнительную информацию дало акустическое исследование на КАМБИ по изменению давления звуковой волны, генерируемой лопающимися пузырьками на поверхности модельной жидкости. Результаты акустических исследований сопоставлены с данными вулканического дрожания при извержениях Ключевского вулкана 1984, 1993 и 2008 гг. Сравнение природного и модельного графиков демонстрирует большое их сходство в последовательной реализации трех режимов (соответственно в паре природный процесс – эксперимент: равномерный низкоинтенсивный – равномерный низкодебитный, периодический в обоих процессах, равномерный высокоинтенсивный – равномерный высокодебитный). При этом выявлены две области смены режима (ОСР) как при извержениях вулкана, так и в экспериментальных исследованиях: ОСР-1 «входа» в периодический режим и ОСР-2 «выхода» из него. Полученные данные подтвердили справедливость приложения результатов экспериментальных исследований на КАМБИ применительно к механизму процессов, происходящих в подводном канале Ключевского вулкана.

На основе проведенных экспериментальных и натурных исследований предложена новая модель газогидродинамического движения магматического расплава в подводном канале базальтового вулкана. Реализация на поверхности различных режимов течения двухфазного магматического расплава ответственна за многообразие взрывных явлений в кратере вулкана. В зависимости от проявления типа режима на базальтовых вулканах могут проявляться различные типы взрывной деятельности: 1 – равномерный низкодебитный режим – равномерная пепловая эмиссия с небольшим количеством вулканических бомб, 2 – периодический режим – энергичное периодическое фонтанирование раскаленных бомб, 3 – равномерный высокодебитный режим – интенсивная продолжительная монотонная «работа» фонтанов раскаленных бомб.

#### References:

- Chadwick W.W., Cashman K.V., Embley R.W., Matsumoto H., Dziak R.P., de Ronde C.E.J., Lau T. K., Deardorff N.D., Merle S.G.* Direct video and hydrophone observations of submarine explosive eruptions at NW Rota-1 volcano, Mariana arc. *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113, B08S10, P. 1–23.
- Ozerov A.Yu., Firstov P.P., Gavrilov V.A.* Periodicities in the dynamics of eruptions of Klyuchevskoy volcano, Kamchatka // *Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region. Geophysical Monograph Series.* 2007. V. 172. P. 283–291.
- Ozerov A.Yu., Konov A.S.* Regularities the dynamics of the Klyuchevskoy volcano eruption // *Proceeding Kagoshima International Conference of Volcanoes.* Japan. 1988. P. 63–65.