СТАТИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПУЗЫРИСТОСТИ ЛАВ ТРЕЩИННОГО ТОЛБАЧИНСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ НА КАМЧАТКЕ

А. С. Мяндин¹, К. В. Тарасов²

¹Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар
anremand@gmail.com

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский
belfast@kscnet.ru

Исследования, посвященные современному вулканизму, почти не затрагивают такое свойство вулканических лав, как пузыристость. В нашей статье приводятся первые результаты изучения пузыристости продуктов трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. Были использованы планиметрические методы анализа горных пород по их изображениям и проведены статистические расчеты. В результате выявлены пять типов лав: от наименее пористых — плотных к наиболее пористым — шлакообразным. Преобладающим типом лав является пористо-пузыристый с совокупным объемом полостей в 30–55 %. Со степенью пористости-пузыристости прямо коррелирует размер пустот и степень их удлинения.

Ключевые слова: Толбачик, извержение вулкана, пористость-пузыристость лав.

STATISTICAL CHARACTERISTIC OF POROSITY IN LAVAS OF TOLBACHIK FISSURE ERUPTION, KAMCHATKA

A. S. Myandin¹, K. V. Tarasov²

¹Syktvykar State University named after Pitirim Sorokin, Syktvykar
anremand@gmail.com

²Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
belfast@kscnet.ru

At present, works, devoted to modern volcanism, hardly affect such a property of volcanic lavas as bubbling. In this article the first results of the study of the bubbling properties of the products of the Tolbachik Fissure Eruption 2012–2013 are given. Planometric methods for analyzing rocks from their images were used and statistical calculations were made. As a result, five types of lavas were identified — from the least porous — dense to the most porous scoria. The type of lava is porous-vesicular with a cumulative volume of cavities of 30–55 %. With increasing porosity-vesicularity, the size of the voids and the degree of their elongation are directly correlated.

Keywords: Tolbachik, volcanic eruption, porosity-vesicular lava.

Введение

Важным, но практически не изученным свойством излившихся вулканических пород является их пузыристость, то есть насыщенность пустотами разных форм и размеров. Очевидно, что эти пустоты образовались в результате дегазации еще жидких лав, а вариации формы и размеров пустот определяются динамикой лав и скоростью их остывания. Пузыристость свойственна не только современным эффузивам, но и их палеоаналогам, известным как миндалекаменные базальты и андезибазальты. Возможно, результаты изучения полостей в современных эффузивах позволят судить об условиях, при которых сформировались их палеоаналоги. Цель нашей работы — выявить закономерности изменения свойств пустот в лавах последнего извержения Плоского Толбачика 2012–2013 гг.

Трещинное Толбачинское извержение им. 50-летия Института вулканологии и сейсмологии (ТТИ-50) произошло в период с 27 декабря 2012 г. по 9 октября 2013 г. на юго-юго-западном склоне вулкана Плоский Толбачик. Сначала лава изливалась из двух трещин длиной по 500 м, открывшихся на высоте 2100 м. Затем извержение сосредоточилось в двух центрах: в верхнем — прорыве им. Меняйлова и нижнем — прорыве им. Набоко. Через пять дней прорыв Меняйлова прекратил свою активность, и до конца извержения действовал только прорыв Набоко.

В процессе ТТИ-50 образовалось три крупных лавовых поля: Водопадное, Ленинградское и Толуд [1].

Объекты и методы исследований

Исследованию подверглись 45 штучных образцов, отобранных авторами с лавовых полей ТТИ-50 и переданных для исследований Г. А. Карповым (рис. 1). Анализ проводился по шлифам размером 36 × 54 мм с использованием металлографических методов изучения планиструктуры [3] и приемов количественного анализа горных пород по их изображениям [4]. Совокупная пористость-пузыристость лав определялась методом случайных секущих. Размер отдельных пустот оценивался полусуммой их максимального и минимального измерения в шлифе. В качестве характеристики формы пустот использовалось отношение максимального измерения к минимальному (коэффициент удлинения, или анизометричности). Статистический анализ данных ограничивался расчетом среднего арифметического ($\bar{X}$), стандартного отклонения (S_x) и коэффициента вариации ($V_x, \%$).

Результаты исследований

Проведенные исследования показали, что в исследуемых лавах (рис. 2, 3) содержание пустот варьируется от 2.5 до 83 %, а размеры пустот изменяются в пределах 15–

Рис. 1. Схема лавовых потоков ТФИ-50 и точки отбора образцов. Контурсы потоков по [1]
Fig. 1. Schematic map of TFE-50 lava flows and samples location. Contours of flows by [1]

Рис. 2. Фотографии штучных образцов разных типов лав ТФИ-50: а — плотные; б — пористые; в — пористо-пузыристые; г — пузыристые (шлаки)

Fig. 2. Photos of specimens of TFE-50 different lava types: а — massive type, б — porous type, в — porous-vesicular type, г — scoria

7850 мкм. По форме пустоты изменяются от изометричных до очень сильно вытянутых, на что указывает широкий разброс коэффициента удлинения — от 1 до 28. На основании полученных данных мы разделили исследованные вулканиды на пять типов (см. таблицу): плотные (пористость < 5 %), пористые (5–10 %), пузыристо-пористые (10–30 %), пористо-пузыристые (30–55 %) и пузыристые шлаковидные (> 55 %).

В плотных лавах поры распределены довольно равномерно, их средний размер составляет 184 мкм, средний коэффициент удлинения — 2.2. В этом типе лав наблюдается наименьшая вариация коэффициента удлинения ($V_x = 40.9\%$).

Средний размер пустот в пористых лавах составляет 481 мкм, а средний коэффициент удлинения — 2.5. Пустоты зачастую имеют ориентированное расположение, также отмечаются участки с разным количеством пустот. Можно выделить два вида пор: относительно крупные вытянутые и почти изометричные мелкие.

В пузыристо-пористых лавах средний размер пустот составляет 661 мкм, средний коэффициент удлинения — 2.4. В этом типе лав поры расположены более сложным образом. Так, в некоторых образцах чередуются полосы с крупными и мелкими пустотами, вытянутыми и

Статистические данные о пористости, средних размерах и форме пустот в лавах ТФИ-50 разного типа
Statistical data on porosity, average sizes and shape of vesicles in different types of TFE-50 lavas

Тип лав Lava type	Частота Frequency, %	Пористость Porosity, %			Размер пор, мкм Pore size, mcm			Коэффициент удлинения Elongation coefficient		
		$\bar{X}$	S_x	V_x	$\bar{X}$	S_x	V_x	$\bar{X}$	S_x	V_x
Плотные Dense	4.4	3.6	1.3	37.7	184	211	114.7	2.2	0.9	40.9
Пористые Porous	13.3	8.5	1.3	15.3	481	614	127.7	2.5	1.2	48.0
Пузыристо-пористые Vesicular-porous	53.4	18.3	5.6	30.3	661	830	125.6	2.4	2.5	104.2
Пористо-пузыристые Porous-vesicular	15.6	39.4	7.8	19.8	1034	603	58.3	3.4	2.9	85.3
Пузыристые (шлаки) Scoria	13.3	62.3	5.9	9.5	1104	946	85.7	1.9	0.8	42.1

Рис. 3. Фотографии шлифов разных типов лав ТТИ-50: а — плотные; б — пористые; в, г — пузыристо-пористые; д, е — пористо-пузыристые; ж, з — пузыристые (шлаки)

Fig. 3. Photos of the sections of TFE-50 different lava types: а — massive; б — porous; в, г — vesicular-porous type; д, е — porous-vesicular type; ж, з — scoria

изометричными, ориентированными и хаотически расположенными. Есть области с явно выраженной флюидальностью, когда сильно удлинённые пустоты обнаруживают соориентацию удлинениями и образуют волнообразные или даже спиралевидные скопления. Этот тип лав характеризуется наибольшей вариацией коэффициента удлинения ($V_x = 104.2\%$).

В *пористо-пузыристых* лавах средний размер пустот составляет 1034 мкм, средний коэффициент удлинения достигает 3.4. Полости в образцах этого типа весьма неоднородны по форме, подразделяются на почти изометричные, равномерно распределенные и удлинённые, морфологически более сложные из-за коалесценции, субсогласно ориентированные и распределенные неравномерно.

В *пузыристых* лавах средний размер пустот составляет 1104 мкм, большинство из них по форме почти изометричные, средний коэффициент удлинения — 1.9.

Обсуждение результатов

Распределение изученных образцов по типам лав (рис. 4) в нашей выборке очень похоже на гауссовское. Это говорит о том, что пузыристость рассматриваемых вулканитов обусловлена множеством случайных и равносильных факторов [3, 7]. Иначе говоря, влияние таких факторов, как вязкость, плотность, температура, газонасыщенность, скорость движения лавы и др. на образование пустот было соизмеримым.

Полученные статистические данные показывают, что в ряду от плотных лав к пористо-пузыристым увеличиваются средние размеры пустот и их коэффициенты удлинения (рис. 5). То есть в указанном направлении происходит более или менее сопряженный рост пористости, средних размеров и коэффициентов удлинения пустот. Следует подчеркнуть, что с увеличением доли вытянутых пустот в лавах появляется и усиливается директивность — субсогласная ориентация пор удлинениями.

Рис. 4. Распределение исследованных образцов по типам лав: 1 — плотные, 2 — пористые, 3 — пузыристо-пористые; 4 — пористо-пузыристые, 5 — пузыристые

Fig. 4. Distribution of the samples according to the lava types: 1 — massive type, 2 — porous type, 3 — vesicular-porous type, 4 — porous-vesicular type, 5 — scoria

При переходе от пористо-пузыристых лав к пузыристым наблюдается относительно малый прирост среднего размера пустот, но разброс их размеров увеличивается. Помимо этого, в шлаковидных вулканитах скачкообразно уменьшается коэффициент удлинения. Отличия пустот шлаков от других типов лав, скорее всего, связаны с влиянием аэродинамического фактора.

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что в вулканитах ТТИ-50 пузыристость колеблется в очень широких пределах (2.5–83 %), а пустоты

Рис. 5. Корреляция размеров и степени удлинения пустот в лавах ТТИ-50: 1–5 — типы лав (см. рис. 4); точки — средние арифметические; эллипсы — средние арифметические $\pm$ стандартные отклонения. Стрелкой показан тренд изменения размеров и формы пустот в ряду от плотных лав к пористо-пузыристым

Fig. 5. Correlation between average sizes and elongation of vesicles in TFE-50 lavas: 1–5 — types of lava; points show arithmetic means; ellipses show areas of standard deviations. The arrow shows a trend of change in size and shape of vesicles in the series from the massive lavas to the porous-vesicular type

сильно варьируют по размеру (15–7474 мкм) и степени удлинения (1–28). Все это свидетельствует о значительной неоднородности условий формирования лавовых потоков, что может быть формализовано путем подразделения лав на пять типов, из которых преобладающим является пузыристо-пористый. В ряду от плотных к пористо-пузыристым лавам наблюдается сопряженное увеличение совокупного объема полостей, среднего их размера и коэффициента. В шлаковидных лавах эта тенденция нарушается, что может быть связано с влиянием аэродинамического фактора.

Статистические расчеты показали, что распределение образцов по типам лав в нашей выборке очень похоже на нормальное гауссовское. Это позволяет говорить о соизмеримом влиянии на пузыристость лав всего множества факторов — плотности, газонасыщенности, вязкости, динамики и др.

Авторы благодарят д. г.-м. н. Г. А. Карпова за руководство полевыми исследованиями, д. г.-м. н. С. А. Хубуная за переданные для исследований образцы из уникальной музейной коллекции.

Литература

1. Двигало В. Н., Свирид И. Ю., Шевченко А. В. Аэрофотограмметрические исследования нового трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг.: Материалы ежегодной конференции, посвящённой дню вулканолога, 27–28 марта 2014 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 58–62.
2. Карпов Г. А., Силаев В. И., Аникин Л. П., Ракин В. И., Васильев Е. А., Филатов С. К., Петровский В. А., Флёров Г. Б. Алмазы и сопутствующие минералы в продуктах трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. // Вулканология и сейсмология. 2014. № 6. С. 3–20.

3. Никифоров И. А. Статистический анализ геологических данных: Учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2010. 170 с.
4. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. М.: Металлургия, 1976. 270 с.
5. Соколов В. Н. Количественный анализ микроструктуры горных пород по их изображениям в растровом электронном микроскопе // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 8. С. 72–78.
6. Хубуная С. А., Ерёмкина Т. С., Соболев А. В. Формационная принадлежность калиевых трахиандезит-базальтов побочного извержения 2012–2013 гг. вулкана Плоский Толбачик по геохимическим признакам (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2016. № 1. С. 1–19.
7. Чини Р. Ф. Статистические методы в геологии. М.: Мир, 1986. 189 с.
8. Plechov P., Blundy J., Nekrylov N., Melekyova E., Shcherbakov V., Tikhonova M. S. Petrologia and volatile content of magmas erupted from Tolbachik Volcano, Kamchatka, 2012–2013 // J. Volcanology and Geothermal Research, 2015. V. 307. P. 182–199.

References

1. Dvigalo V. N., Svirid I. Yu., Shevchenko A. V. *Aerofotogrammetricheskie issledovaniya Novogo treschin-nogo Tolbachinskogo izverzheniya 2012–2013 gg* (Aerophotogrammetrical researches of new fissure Tolbachik eruption in 2012–2013). Proceedings of conference, March, 27–28 2014. Petropavlovsk-Kamchatskii: IViS DVO RAN, 2014, pp. 58–62.
2. Karpov G. A., Silaev V. I., Anikin L. P., Rakin V. I., Vasilev E. A., Filatov S. K., Petrovskii V. A., Flerov G. B. *Almazy i soputstvuyushchie mineraly v produktakh Treschin-nogo Tolbachinskogo izverzheniya 2012–2013 gg* (Diamonds and accompanying minerals in products of Fissure Tolbachik eruption). *Vulkanologiya i seismologiya*, 2014, No. 6, pp. 3–20.
3. Nikiforov I. A. *Statisticheskii analiz geologicheskikh dannykh* (Statistical analysis of geological data). Orenburg: OGU, 2010, 170 pp.
4. Saltykov S. A. *Stereometricheskaya metallografiya* (Stereometrical metallography). Moscow: Metallurgiya, 1976, 270 pp.
5. Sokolov V. N. *Kolichestvennyi analiz mikrostruktury gornyh porod po ih izobrazheniyam v rastrovom elektronnom mikroskope* (Quantitative analysis of rocks microstructure by their images in electronic microscope). *Sorosovskii obrazovatelnyi zhurnal*, 1997, No. 8, pp. 72–78.
6. Hubunaya S. A., Eremina T. S., Sobolev A. V. *Formatsionnaya prikladnost kalievyykh trahiandezibazaltov poboch-nogo izverzheniya 2012–2013 gg. vulkana Ploskii Tolbachik po geohimicheskim priznakam (Kamchatka)* (Formational affinity of potassium trachyandesibasalts of adventives eruption in 2012–2013 of Plosky Tolbachik volcano by geochemical features (Kamchatka)). *Vulkanologiya i seismologiya*, 2016, No. 1, pp. 1–19.
7. Chini R. F. *Statisticheskie metody v geologii* (Statistical methods in geology). Moscow: Mir, 1986, 189 pp.
8. Plechov P., Blundy J., Nekrylov N., Melekyova E., Shcherbakov V., Tikhonova M. S. Petrologia and volatile content of magmas erupted from Tolbachik Volcano, Kamchatka, 2012–2013 J. Volcanology and Geothermal Research, 2015, V. 307, pp. 182–199.