

## **Извержения вулкана Ключевской в 2015-2016 гг.**

*Н.А. Жаринов, Ю.В. Демянчук, И.А. Борисов*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,*

*e-mail: [nzhar@kscnet.ru](mailto:nzhar@kscnet.ru)*

**Введение.** В работе о вершинных извержениях вулкана Ключевской в начале XXI столетия [6] была показана связь извержений вулканов северной группы (СГВ) с 18.6 летним лунным циклом обращения Луны вокруг Земли. Следующая активная фаза благоприятная для извержения вулканов СГВ должна бала происходить в период 2015.7-2017.9 гг. За минувшие два года произошло два вершинных извержения вулкана Ключевской: 04.01.2015 – 08.03.2015 г. и 19.03.2016 г. – 04.11.2016.

В данной статье представлена активность вулкана во время этих извержений. Извержение 2015 г. происходило по стромболианскому типу извержений. Извержение в 2016 г. имело значительные отличия от предыдущих извержений XXI столетия. В ходе извержения произошёл обвал в юго-восточном Апахончичском желобе. Сразу же после обвала на высоте 4500 м начал работать новый эруптивный центр побочного извержения. Предположения о возможности возникновения обвалов на вулкане Ключевской высказывались ранее [1, 5, 7, 11]. Рассматривались различные механизмы частичного разрушения постройки вулкана. При этом допускалась возможность обвалов с объёмом в несколько км<sup>3</sup>. В настоящей работе приводятся примеры обвалов, произошедших на вулкане во время пароксизмального извержения 1944 – 1945 гг., во время вершинного извержения 1985 г., а также приводятся данные об обвале во время вершинного извержения 2016 г.

Важной задачей при изучении вулканических извержений остаётся оценка объёма вулканических продуктов выносимых во время эксплозивных извержений. Оценка выноса тепла и пирокластике вулканическими извержениями и фумаролами по высотам эруптивных колонн, пепловых шлейфов, по высотам фумарольных струй предпринималась многими исследователями [2, 3, 10, 12-14]. В работе [12] даны примеры применения оценок выноса тепла и пирокластике для камчатских вулканов и условий. До настоящего времени постоянных оценок выноса тепла и пирокластике во время частых извержений северной группы вулканов Камчатки не проводилось. Причиной этого являлось отсутствие непрерывных данных о высотах эруптивных колонн и фумарольных струй. После постановки непрерывных видеонаблюдений за активными вулканами (в первую очередь вулканом Ключевской и Шивелуч) такая оценка выполнена.

**Активность вулкана в 2015-2016 гг.** Начало нового извержения в 2015, также как и предыдущих вершинных извержений 2003-2013 гг., было определено по появлению зарева из раскалённых бомб над кратером вулкана 4 января. Выбросы раскалённых бомб происходили по всему диаметру центрального кратера на высоту до 300-400 м. С 4 по 13 января на начальном этапе извержения мощные выбросы раскалённых бомб высотой до 300 м были направлены на СЗ желоб вулкана. На СЗ склоне 13 января в ночное время наблюдалось интенсивное свечение на протяжении двух километров. Съёмка выполнялась в инфракрасном диапазоне. Далее выбросы такой же мощности продолжались в отдельные дни: 19, 22, 30-31 января, 3 февраля. С 31 января выбросы происходили в трех направлениях: на юго-восточный, восточный и северо-западный склоны вулкана.

Вторая половина извержения характеризуется переходом в эксплозивную фазу. Всего за 63 дня извержения отмечено 14 дней эксплозивной деятельности с выбросами пепла: 4 дня в конце января, 9 дней в период с 15 по 28 февраля и один день - 5 марта перед окончанием извержения. Наиболее мощная эруптивная колонна высотой до 5,5 км над кратером вулкана наблюдалась 15 февраля.

Извержение 19 марта 2016 г. началось с появления свечения в ИК диапазоне в кратере вулкана. Извержение сопровождалось переменной сейсмической активностью. 25 февраля 2016 г. прошла серия глубоких землетрясений I-II типа [9] и через неделю такие землетрясения отсутствовали практически до конца извержения. Землетрясения II-III типа также прекратились с началом извержения и возобновились только к окончанию извержения. За два месяца до начала извержения отмечено увеличение количества землетрясений IV типа. Количество землетрясений IV типа в январе месяце менялось от 200 до 300 в сутки, в феврале достигало 350 в сутки. Максимальные величины отмечены 24 марта (457 в сутки) и 26 марта (506 в сутки). С началом извержения появляется вулканическое дрожание с амплитудой 2-2,5 мкм/с. В отдельные периоды амплитуда ВД увеличивалась до 8-10 мкм/с, что было связано с изменением характера извержения. 25 апреля на восточном склоне вулкана ночью в ИК-диапазоне наблюдалось интенсивное свечение. К этой дате можно отнести обвал на юго-восточном склоне вулкана в Апахончичском желобе. На рис. 1 (фото сделано через месяц после события), показаны очертания провала, образовавшегося в юго-восточном желобе. После обвала в привершинной части желоба образовался вытянутый провал длиной 600 м, шириной 350 м. При площади провальной части желоба близкой 0,34 км<sup>2</sup>, и средней глубине провала 70 м объем оценивается в 0,024 км<sup>3</sup>.

Большая часть обвалившегося материала осталась в конце провала на его нижней границе на высотах 3900-4000 м. Образовалось поле отложений крупного



Рис. 1. Вид на впадину в юго-восточном Апахончичском желобе, образовавшуюся после обвала 25 апреля 2016 г. со станции Апахончич. Расстояние до вулкана 13 км. Фото Демянчука Ю.В.

обломочного материала в виде своеобразной плотины. Более мелкие фракции разнесло ниже по склону на расстояние до 10 км от нижней границы провала. Поле отложений площадью 9 км<sup>2</sup> располагалось на высотах от 4000 до 1700 м (рис. 2).

После обвала 29 апреля в центре провала на высоте 4500 м начал работу новый побочный прорыв. Извержения, происходящие на вулкане Ключевской, на высотах от 4500 и более тыс. м, Б.И. Пийп относил к субтерминальным [7].

До обвала извержение сопровождалось выбросами раскалённого материала в ЮВ части кратера на высоту до 150 м над кромкой кратера. Днём наблюдалась мощная парогозовая деятельность с высотой выбросов до 1000 м над кромкой кратера.

Побочное извержение с самого начала и до окончания было в основном эффузивным (рис. 3). Только в конце июня во время одновременной активизации центрального кратера и побочного вырастают шлаковые конуса и в центральном кратере и на побочном прорыве. В конце июля вновь возобновилась работа центрального кратера. В ходе извержения неоднократно происходило изменение морфологии лавовых потоков, их количества и мощности. К окончанию извержения общий вид восточного склона вулкана претерпел значительные изменения (рис. 3, 4).



Рис. 2. Обвальные отложения мелких фракций обломочного материала (светлая линия). Нижняя граница обвалных отложений доходит до отметки 1700 м.



Рис. 3. Потоки лавы на восточном склоне вулкана 13 октября 2016 г.



Рис. 4. Поле отложений лавовых потоков после извержения. Вид с Апахончича, до вулкана 13 км. Фото Демянчука Ю.В. 4 ноября 2016 г.

По материалам видеонаблюдений выполнена оценка тепловой мощности устойчивых парогазовых и пепловых струй, объем пироклаستيку, объем излившейся за время извержения лавы. Расчёты выполнялись по методике, изложенной в работе [12]. Тепловая мощность парогазовых струй за 2015 г. близка  $122 \times 10^6$  квт, газопепловых струй  $5,9 \times 10^6$  квт. Объем вынесенной пироклаستيку за 2015 г.  $V=0,00007 \text{ км}^3$ . Для 2016 г. выделены два этапа изменения тепловой мощности: три месяца в начале извержения и два месяца в конце извержения, когда  $\lg Q$  изменялся от 5 до 7.  $Q$ -тепловая мощность. Суммарная тепловая мощность парогазовых струй за период извержения в 2016 г. оценивается в  $275 \times 10^6$  квт, пепловых в  $23,5 \times 10^6$  квт. Оценка примерного объема пироклаستيку, соответствующего полученной величине тепловой мощности, дают величину объема  $V=0,0003 \text{ км}^3$ . Величина объема пироклаستيку определялась по номограмме С.А. Федотова [12]. Для сравнения: значения тепловой мощности отдельных газопепловых струй северного прорыва БТТИ 1975-76 гг. достигали  $150 \times 10^6$  квт.

## Выводы

1. В 2015-2016 гг. на вулкане Ключевской произошло два вершинных извержения. Время извержений согласуется с фазами 18,6 лунного цикла обращения Луны вокруг Земли.
2. В результате обвала в юго-восточном желобе вулкана образовалась впадина площадью  $0,34 \text{ км}^2$  и объемом  $0,024 \text{ км}^3$ . Площадь обломочных отложений составила  $9 \text{ м}^2$ , объем отложений –  $0,009 \text{ км}^3$ .
3. Выполнены оценки тепловой мощности и объема пироклаستيку для извержений 2015 и 2016 гг.: тепловая мощность составила в 2015 г.  $-122 \times 10^6 \text{ кВт}$ , в 2016 г.  $-275 \times 10^6 \text{ кВт}$ ; объем вынесенной пироклаستيку за 2015 г.  $V=0,00007 \text{ км}^3$ , в 2016 г.  $V=0,0003 \text{ км}^3$ .

## Список литературы

1. Адушкин В.В., Зыков Ю.Н., Федотов С.А. Механизм разрушения вулканической постройки вследствие потери устойчивости и оценка размеров возможного обрушения Ключевского вулкана // Вулканология и сейсмология. 1194. №6. С 81-95.
2. Гостинцев Ю.А., Суханов Л.Н. Аэродинамика среды при больших пожарах. Линейный пожар. ИХФ АН СССР, 1977. 51 с.
3. Гостинцев Ю.А., Суханов Л.Н., Солодовник А.Ф. Динамика подъема газообразных продуктов горения и взрывов в атмосфере. – В кн.: Химическая физика процессов горения и взрыва. Горение газов и натуральных топлив. ИХФ АН СССР, 1980, с. 99-102.
4. Двигало В.Н. Кратер и вершинные извержения Ключевского вулкана в 1968-1988 гг. по аэрофотограмметрическим наблюдениям // Вулканология и сейсмология. 1991. № 5. С. 3-18.
5. Делемень И.Ф. Механизмы потери гравитационной устойчивости вулканической постройки (на примере Ключевского вулкана) // Вулканология и сейсмология. 1194. №6. С 64-80.
6. Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В. Вершинные извержения вулкана Ключевской (Камчатка) в начале XXI столетия, 2003-2013 гг. // Вулканология и сейсмология. 2016. №1. С.1-18.
7. Малышев А.И. Жизнь вулкана. Екатеринбург: НИСО УрО РАН, 2000. 261 с.
8. Пийп Б.И. Ключевская сопка и её извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом // Тр. Лаб. Вулканологии, 1956. Вып.11.311 с.
9. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981, 164 с.
10. Уорк К., Уорнер С. Загрязнение воздуха: источники и контроль. М.: Мир, 1980. 539 с.
11. Федотов С.А., Хренов А.П., Жаринов Н.А. Ключевской вулкан, его деятельность в 1932-1986 гг. и возможное развитие // Вулканология и сейсмология. 1987. №4. С.3-16.
12. Федотов С.А. Оценка выноса тепла и пироклаستيку вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 3-28.
13. Briggs G. A. Plume rise. Atomic Energy Commission. Critical Review Series, USEAS Rep. TID-25075, 1969, 64 p.
14. Briggs G. A. Plume rise. A Resent Critical Review. – Nuclear Safety, 1971, V. 12. № 1 P. 15-24.