

Пароксизмальные извержения Ключевского вулкана в 1945, 1994, 2023 гг.: динамика, отложения, механизм

Белусов А.Б., Озеров А.Ю., Белоусова М.Г., Демянчук Ю.В.

Paroxysmal eruptions of Klyuchevskoy volcano in 1945, 1994, 2023: dynamics, deposits and mechanism

Belousov A.B., Ozerov A.Yu., Belousova M.G., Demyanchuk Yu.V.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский; e-mail: belousov@mail.ru

В 1945 г. Б.И. Пийп наблюдал сильное эксплозивное извержение вершинного кратера вулкана Ключевской, которое выделил в особый «пароксизмальный» тип извержений этого вулкана. С тех пор произошло еще 2 извержения такого же типа (в 1994 и 2023 гг.), что позволило провести их сравнение и уточнить некоторые характеристики извержений этого типа.

В 1945 г. Б.И. Пийп [6] наблюдал, изучил и описал сильное эксплозивное извержение вершинного кратера вулкана Ключевской (рис. 1а), которое выделил в особый «пароксизмальный» тип извержений этого вулкана. В понятие «пароксизмальное извержение» Пийп включил не только тот факт, что активность 1945 г. резко выделялась интенсивной эксплозивной деятельностью с образованием эруптивного облака высотой 10 км над кратером и выбросом бомб на высоту 1.5 км (рис. 2а), но и то, что оно сопровождалось рядом особых геологических явлений, к которым Пийп отнес:

- формирование «горячих лавин» (пирокластических потоков);
- образование протяженных водных потоков (лахаров), достигающих уровня поселка Ключи;
- резкое углубление вершинного кратера;
- образование на склоне вулкана нового крупного радиального желоба – «шарра» (термин предложен Пийпом по аналогии с желобом Sciarra del Fuoco на склоне вулкана Стромболи) (рис. 3а).

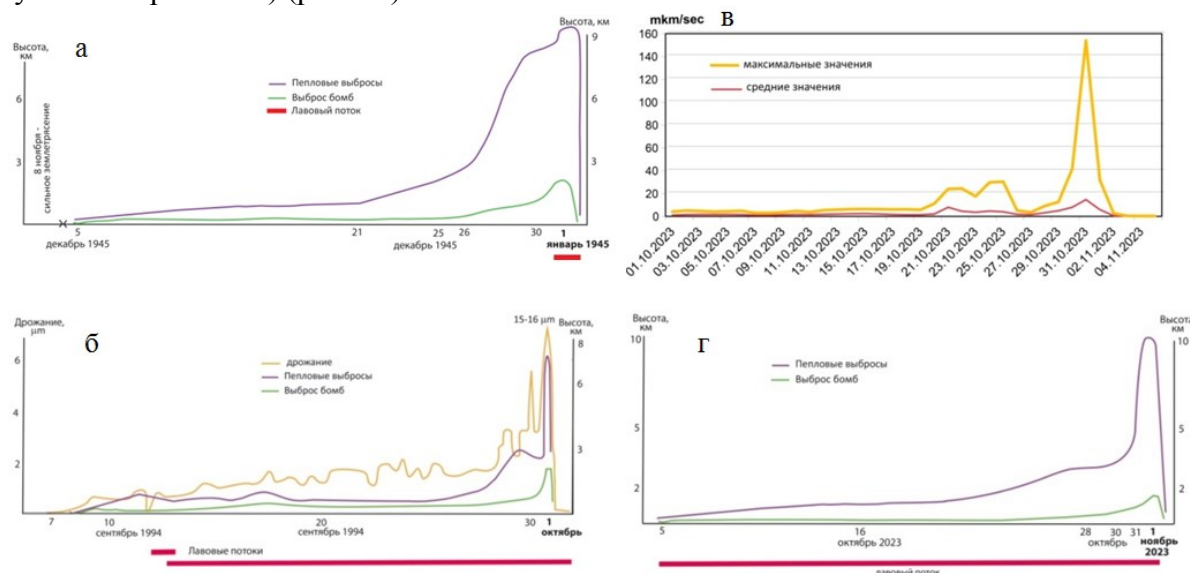


Рис. 1. Динамика параметров пароксизмальных извержений Ключевского вулкана. а – для извержения 1945 г. [6]; б – для извержения 1994 г. [5]; в, г – для извержения 2023 г.: в – вулканическое дрожание на сейсмостанции Цирк, г – выбросы бомб и пепла и наличие лавовых потоков.

На основе этих критериев, среди прошлых извержений вулкана Ключевской, Б.И. Пийп отнес к пароксизмальным извержения 1737, 1762, 1790(?), 1821, 1853, 1878, 1904, 1926(?) гг., и средний интервал между ними оценил в 26 лет.



Рис. 2. Пароксизмальные извержения вулкана Ключевской:

а – 1 января 1945 г., рисунок Б.И. Пийпа [6];
б – 1 октября 1994 г., фото А.Б. Белоусова;
в – 1 ноября 2023 г., фото А.Б. Белоусова.

Появившийся позднее ряд наблюдений за вулканом показал, что некоторые из явлений, отнесенных Пийпом к чертам пароксизмальных извержений, могут наблюдаться и при рядовых («непароксизмальных») извержениях. Так образование протяженных лахаров и пирокластических потоков наблюдалось в ходе извержений 1985 г. [1] и 2016 г. [2]. В 1984 г. также наблюдалось существенное углубление Крестовской шарры [3], образовавшейся в 1945 г., а в 2016 г. заметно углубилась Апахончичская шарра, время образования которой неизвестно [2].

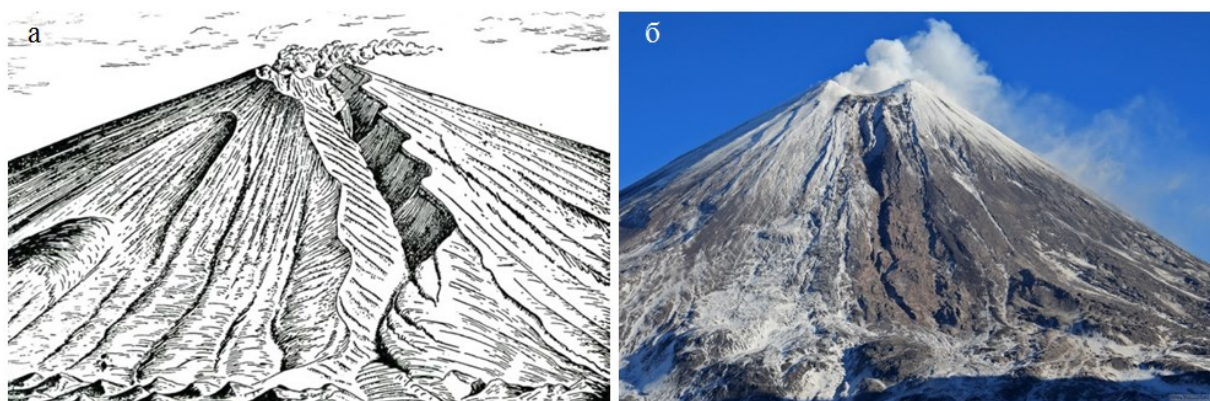


Рис. 3. Новые желоба (шарры) на склонах вулкана Ключевской: а – северо-западный склон после извержения 1945 г., рисунок Б.И. Пийпа [6]; б – западный склон после извержения 2023 г. Фото Ю.В. Демянчука.

Следующее после 1945 г. пароксизмальное извержение Ключевского вулкана произошло через 49 лет, в 1994 г. (рис. 16 и 26). Оно оказалось во многих деталях сходно с извержением 1945 г. [5]. Наиболее значимое его отличие – отсутствие формирования новой шарры (однако в ходе этого извержения произошло углубление Крестовской шарры).

В 2023 г., то есть еще через 29 лет, произошло новое пароксизмальное извержение Ключевского вулкана (рис. 1в, г, 2в), которое имело многие характерные черты извержений 1945 и 1994 гг. Событие сопровождалось формированием многочисленных пирокластических потоков и лахаров, а также образованием новой шарры на западном склоне конуса вулкана (рис. 3б). Вершинный кратер, также как и после извержений 1945 и 1994 гг., резко углубился. Характеристики наблюдавшихся пароксизмальных извержений Ключевского вулкана суммированы в таблице.

Таблица. Характеристики пароксизмальных извержений вулкана Ключевской в 1945, 1994 и 2023 гг.

Дата извержения	Длит-ть извержения, часы	Высота пепл. облака над кратером, км	Высота выбросов бомб над кратером, км	Лавовый поток	Пир. поток	Грязевой поток	Углубление кратера	Образование шарра
1.01.1945	15	10	>1.5	+	+	+	+	+
1.10.1994	8-10	8	2	+	+	+	+	-
1.11.2023	13	8-10	1.5	+	+	+	+	+

Продукты извержения 2023 г. – типичные для вершинных извержений Ключевского вулкана субафировые известково-щелочные андезибазальты. Отложения пирокластических потоков извержения еще не исследованы, но можно предположить, что их характеристики близки потокам 1994 г. Механизм эксплозивной деятельности пароксизмальных извержений, вероятно, связан с извержением магмы, содержащей крупные пакеты газовых пузырей, которые всплывают в магме, поднимающейся по подводящему каналу вулкана [4]. Пакеты образуются при увеличении скорости подъема магмы по каналу (визуально отмечено в 1994 и 2023 гг. по усилению активности лавовых потоков, которое начиналось незадолго до и продолжалось во время пароксизмального усиления эксплозивной активности вершинного кратера). Природа и механизм образования шарр Ключевского вулкана долгое время оставался дискуссионным, им приписывалось тектоническое, обвальное и другое происхождение [3]. Накопленные данные наблюдений пароксизмальных извержений показывают, что их формирование происходит при разрушении верхнего многолетнемерзлого слоя вулканокластики, покрывающего конус вулкана, при термическом воздействии лавовых потоков и бомб, извергаемых из вершинного кратера. Обвалы и фреатомагматические взрывы, которые сопровождают этот процесс, приводят к образованию пирокластических потоков и лахаров [7].

Углубление вершинного кратера в процессе пароксизмальных извержений происходит в результате оседания (провала) дна кратера в подводящий канал вулкана, опустошенный в результате интенсивной эксплозивной деятельности.

Заключение

Пароксизмальное извержение 2023 г. во многих чертах повторило события 1945 и 1994 гг. В ходе извержений наблюдались не только сильная эксплозивная деятельность в вершинном кратере, но и все сопутствующие явления, выделенные Б.И. Пийпом в 1945 г. [6] как критерии пароксизмальных извержений (пирокластические потоки, лахары, углубление кратера и образование новой шарры). Временной интервал между наблюдавшимися пароксизмальными извержениями (49 и 29 лет) оказался продолжительнее, чем предполагалось. Вероятно, Пийп при анализе прошлых извержений включил в список пароксизмальных и некоторые рядовые извержения в связи с отсутствием исчерпывающей информации об извержениях до 1935 г., когда была организована Камчатская вулканостанция.

Через полгода после пароксизмального извержения 1945 г. на восточном склоне вулкана произошел крупный побочный прорыв Юбилейный [6]. После извержения 1994 г. подобного явления не наблюдалось, и, в целом, частота образования побочных прорывов резко снизилась, однако, нельзя исключить образование крупного побочного прорыва Ключевского вулкана после извержения 2023 г. в ближайшее время.

Список литературы

1. *Белоусов А.Б.* Фреатический взрыв на Ключевском вулкане 2 декабря 1985 г. // Вопросы географии Камчатки. 1990. № 10. С. 108-112.
2. *Белоусов А.Б., Белоусова М.Г.* Пирокластические потоки вулкана Ключевской, Камчатка. Вулканизм и связанные с ним процессы // Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 28-29 марта 2019 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 11-13.
3. *Двигало В.Н., Мелекесцев И.В.* Крупные современные обвалы на конусе вулкана Ключевской (по результатам ревизии последствий событий 1944-1945 и 1984-1985 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2000. № 1. С. 3-17.
4. *Озеров А.Ю.* Ключевской вулкан: вещество, динамика, модель. М.: ГЕОС, 2019. 306 с.
5. *Озеров А.Ю., Карпов Г.А., Дроздин В.А. и др.* Динамика извержения Ключевского вулкана 7 сентября – 2 октября 1994 г. (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1996. № 5. С. 3-16.
6. *Пийп Б.И.* Ключевская сопка и ее извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом. // Труды Лаборатории вулканологии АН СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1956. Вып. 11. 310 с.
7. *Belousov A., Behncke B., Belousova M.* Generation of pyroclastic flows by explosive interaction of lava flows with ice/water-saturated substrate // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2011. V. 202. P. 60-72.