

Вершинные извержения вулкана Ключевской в 1935-2024 гг.

Гирина О.А.

The 1935-2024 summit eruptions of Klyuchevskoy volcano

Girina O.A.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: girina@kscnet.ru

В работе дана сравнительная характеристика вершинных извержений вулкана Ключевской в 1935-2024 гг. и пароксизмальных фаз наиболее сильных эруптивных событий.

Введение

Ключевской (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volc?name=Klyuchevskoy>) относится к числу наиболее мощных активных базальтовых вулканов мира, его продуктивность достигает 60 млн т в год. Для вулкана характерны магнезиальные и глиноземистые базальты нормальной щелочности [9]. Согласно работе [4], высокоглиноземистые базальты представляют собой исходные магмы, выплавляемые из мантии, высокомагнезиальные базальты образовались в глубинном очаге вулкана, промежуточные разности – в его канале или промежуточном очаге в течение извержений.

Сведения об извержениях вулкана Ключевской известны с 1697 г. [1, 8]. В XX веке зарегистрировано 26 вершинных извержений и 19 боковых прорывов [3, 5, 9]. Последнее в XX веке мощное терминальное извержение Ключевского произошло в 1994 г. [7]. Между вершинными извержениями происходил отток магматического вещества по каналу вулкана, и в его кратере формировалась глубокая воронка или несколько воронок, вложенных друг в друга. Например, в 1995-1999 гг. отток магмы по каналу вулкана сопровождался иногда резкими усилениями активности Ключевского: в период с 5 марта по 7 сентября 1997 г. наблюдался подъем пепловой колонны до 9 км над уровнем моря (н.у.м.) [6]. В XXI веке произошло 14 вершинных извержений и 3 боковых прорыва [2, 3, 5, 6]. Современная активность вулкана Ключевской в 2003-2024 гг., основанная на ежедневном мониторинге вулкана по видео-визуальным и спутниковым данным, детально описана в работе [2].

В 1935-2024 гг. проявилось 18 боковых прорывов на западных и восточных склонах вулкана. В период с 1945 по 1953 гг. наблюдалось четыре краткосрочных (от 10 до 29 дней) боковых прорыва (Юбилейный 19.06-15.07.1945, Апахончич 23.10-22.11.1946, Былинкиной 20.11-30.11.1951, Белянкина 13.06-25.06.1953) при отсутствии терминальных извержений вулкана. Остальные прорывы происходили на фоне вершинных извержений Ключевского или в скором времени после их окончания. Наиболее длительным был прорыв Билукай (06.02.1938 – 02.03.1939) – 390 дней, наиболее кратким 8 Марта (1980 г.) – 7 дней.

Вершинные извержения вулкана Ключевской в 1935-2024 гг.

В рассматриваемый период произошло 30 вершинных извержений вулкана (табл. 1): 11 эксплозивных продолжительностью от 6 (27.12.2023 – 02.01.2024) до 1110 (08.03.1960 – 23.03.1963) дней и 19 эксплозивно-эффузивных длительностью от 26 (07.09-03.10.1994) до 1100 (28.07.1987 – 01.08.1990) дней [1-3, 5-10]. Если рассмотреть кумулятивную длительность извержений отдельно в XX и XXI веках, то величина достоверности аппроксимации (R^2) будет, соответственно, 0,94 и 0,98. Учитывая, что в XXI веке для мониторинга вулканов применяются видео и спутниковые наблюдения, которых не было в прошлом веке, можно говорить, что более низкая величина R^2 для XX века связана со сложностями в определении начала и окончания извержений.

В течение всех терминальных извержений вулкана Ключевской наблюдалась стромболианская (фонтанирование лавы в кратере вулкана) и вулканская (вынос пепла из кратера) активность.

Таблица 1. Вершинные извержения вулкана Ключевской в 1935-2024 гг.

| Дата | Тип извержения | Дата | Тип извержения | Дата | Тип извержения |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 11.06 – 30.12.1935 | Эксплозивное | 12.03.1984 – 28.01.1985 | Эксплозивно-эффузивное | 16.09.2009 – 09.12.2010 | Эксплозивно-эффузивное |
| 03.04.1937 – 10.02.1938 | Эксплозивно-эффузивное | 13.09.1985 – 21.01.1986 | Эксплозивно-эффузивное | 14.10.2012 – 10.01.2013 | Эксплозивное |
| 05.12.1944 – 31.01.1945 | Эксплозивно-эффузивное | 07.06 – 11.07.1986 | Эксплозивно-эффузивное | 15.08 – 15.12.2013 | Эксплозивно-эффузивное |
| 28.05 – 20.06.1954 | Эксплозивное | 27.11.1986 – 06.03.1987 | Эксплозивно-эффузивное | 01.01 – 24.03.2015 | Эксплозивно-эффузивное |
| 08.03.1960 – 23.03.1963 | Эксплозивное | 28.07.1987 – 01.08.1990 | Эксплозивно-эффузивное | 03.04 – 06.11.2016 | Эксплозивно-эффузивное |
| 22.01 – 31.05.1964 | Эксплозивное | 07.09 – 03.10.1994 | Эксплозивно-эффузивное | 01.11.2019 – 03.07.2020 | Эксплозивно-эффузивное |
| 01.08.1965 – 15.12.1966 | Эксплозивное | 11.05.2003 – 28.01.2004 | Эксплозивное | 30.09.2020 – 08.02.2021 | Эксплозивно-эффузивное |
| 30.03.1972 – 23.08.1974 | Эксплозивное | 15.01 – 10.04.2005 | Эксплозивно-эффузивное | 16.11 – 26.11.2022 | Эксплозивное |
| 31.05.1978 – 15.03.1980 | Эксплозивно-эффузивное | 15.02 – 26.07.2007 | Эксплозивно-эффузивное | 22.06 – 05.11.2023 | Эксплозивно-эффузивное |
| 05.01 – 28.02.1983 | Эксплозивное | 13.10.2008 – 27.01.2009 | Эксплозивно-эффузивное | 27.12.2023 – 02.01.2024 | Эксплозивное |

Во время эксплозивных извержений эмиссии пепла достигали 10 и 11 км н.у.м. (30.10.1966 г. и 10.04.1964 г., соответственно) (табл. 2). Наиболее сильными были эксплозивно-эффузивные извержения с излиянием лавовых потоков по Крестовскому, Апахончичскому и Козыревскому желобам. Во время кульминационных фаз таких извержений эксплозии поднимали пепел до 13-15 км н.у.м. (табл. 2, рисунок). Следует отметить, что пароксизмальные фазы эруптивных событий с выносом пепла на максимальную высоту (15 км н.у.м. – ~10 км над кратером) характерны только для эксплозивно-эффузивных извержений вулкана Ключевской, т.е. только тогда, когда в системе «вулкан – магматический очаг» достаточно много относительно жидкой лавы.

Таблица 2. Максимальная высота выноса пепла во время кульминационных фаз вершинных извержений вулкана Ключевской в 1935-2024 гг.

| Дата | Вынос пепла, км н.у.м. | Дата | Вынос пепла, км н.у.м. | Дата | Вынос пепла, км н.у.м. | Дата | Вынос пепла, км н.у.м. |
|-----------------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|
| Эксплозивные извержения | | | | | | | |
| 17.12.1935 | 8 | 10.04.1964 | 11 | 18.05.1974 | 8 | 08.10.2003 | 8.5 |
| 07.06.1954 | 7 | 30.10.1966 | 10 | 25.02.1983 | 7 | 01.01.2024 | 7 |
| 14.12.1962 | 8 | | | | | | |
| Эксплозивно-эффузивные извержения | | | | | | | |
| 24.06.1937 | 13 | 19.02.1987 | 10.5 | 09.12.2008 | 8 | 13.04.2020 | 7 |
| 31.12.1944 | 15 | 29.01.1990 | 11 | 26.10.2010 | 9 | 18.01.2021 | 7.5 |
| 26.02.1980 | 12 | 01.10.1994 | 13 | 19.10.2013 | 12 | 31.10.2023 | 14 |
| 13.11.1984 | 15 | 23.03.2005 | 9 | 15.02.2015 | 8 | 02.11.2023 | 11 |
| 02.12.1985 | 10 | 19.06.2007 | 12 | 28.10.2016 | 8 | | |

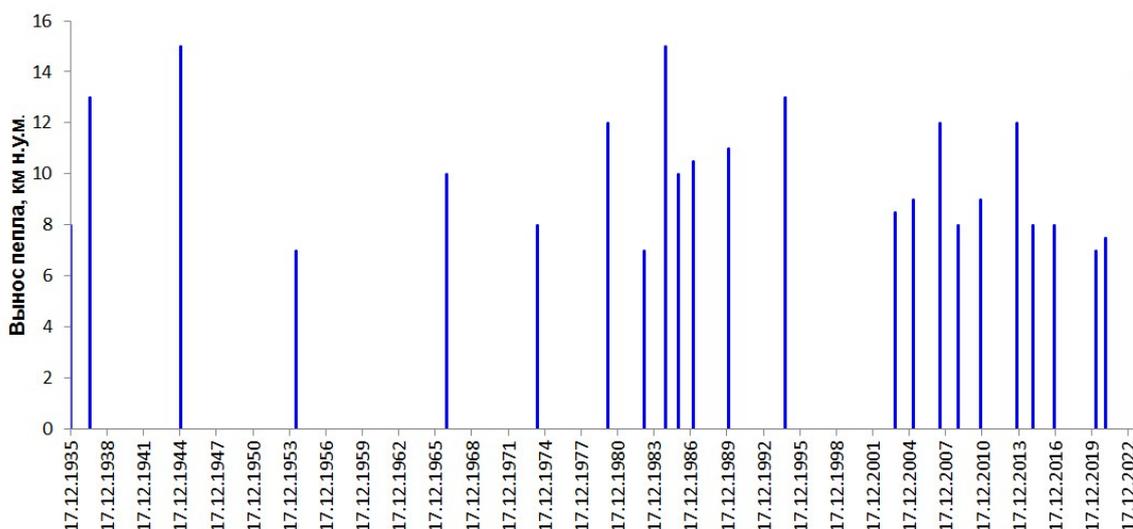


Рисунок. Высота подъема пепла во время кульминационных фаз вершинных извержений вулкана Ключевской в 1935-2024 гг.

В 1935-2024 гг. наблюдалось 9 пароксизмальных фаз извержений, во время которых фонтаны лавы поднимались до 2.5 км над кромкой кратера Ключевского (табл. 2) [1-10]. Перерыв в 36 лет между пароксизмальными событиями (с 31 декабря 1944 г. по 26 февраля 1980 г.) обусловлен, вероятно, образованием 7 боковых прорывов преимущественно на восточных склонах Ключевского, т.е. отток лавы на периферию постройки вулкана значительно снижал активность вершинного кратера.

С 1980 по 1994 гг. наблюдалось пять пароксизмальных извержений вулкана с выносом пепла до 15 км н.у.м. (табл. 3). Паузы между пароксизмами длились, соответственно, 4 года 8.5 месяцев (до 1984 г.), 2 года 3 месяца (до 1987 г.), 2 года 11 месяцев (до 1990 г.) и 4 года 8 месяцев (до 1994 г.). В XXI веке произошло три пароксизмальных извержения с выносом пепла до 14 км н.у.м. (табл. 3). Паузы между пароксизмами продолжались 16 лет (с 1994 по 2010 гг.), 3 года (до 2013 г.) и 10 лет (до 2023 г.). Явной закономерности в частоте пароксизмальных фаз извержений вулкана Ключевской не наблюдается.

Таблица 3. Пароксизмальные фазы вершинных извержений влк. Ключевской в 1935-2024 гг.

| Дата | Вынос вулканических бомб, км над кратером | Вынос пепла, км н.у.м. | Дата | Вынос вулканических бомб, км над кратером | Вынос пепла, км н.у.м. |
|------------|---|------------------------|------------|---|------------------------|
| 31.12.1944 | 1.5 | 15 | 01.10.1994 | 2.5 | 13 |
| 26.02.1980 | 1 | 12 | 26.10.2010 | 1 | 9 |
| 13.11.1984 | 1 | 15 | 19.10.2013 | 0.8 | 12 |
| 19.02.1987 | 1.5 | 10.5 | 31.10.2023 | 1 | 14 |
| 29.01.1990 | 1.5 | 11 | | | |

Также отметим, что пароксизмальные фазы извержений наблюдались, как правило, за 6-15 дней или 1-2.5 месяца (изредка за 2 дня или за 7 месяцев) до их окончания, т.е. усиление мощности выноса пепла по каналу вулкана иногда приводило к подъему на дневную поверхность новых порций лавы, а иногда к опустошению магматического резервуара.

О связи вершинных извержений и боковых прорывов

Например, прорыв Билукай (1938-1939 гг.) образовался спустя 10 месяцев после начала вершинного эксплозивно-эффузивного извержения вулкана; извержение, связанное с прорывом, продолжалось еще год и месяц после окончания вершинного.

Прорыв Пийпа (1966 г.) появился спустя 2 месяца после начала эксплозивного извержения вулкана и длился на 20 дней дольше вершинного. Прорыв 8 Марта (1980 г.) образовался спустя неделю после пароксизмальной фазы вершинного извержения и закончился на 3 дня раньше терминального. Прорыв Предвиденный (1987 г.) также образовался спустя 5 дней после пароксизмальной фазы вершинного извержения, но закончился на неделю позднее терминального извержения. Прорывы Октябрьский (2013 г.) и Мархинина (2016 г.) появились, соответственно, спустя 2 месяца и 23 дня после начала эксплозивно-эффузивных извержений вулкана и продолжались до их завершения. Прорыв Горшкова образовался спустя 9 дней после окончания вершинного извержения.

Работа выполнена в рамках темы ИВиС ДВО РАН «Комплексный мониторинг активных вулканов Камчатки и Курильских островов наземными и дистанционными методами: изучение, оценка опасности, прогноз извержений вулканов. Геологический, энергетический, экологический эффекты извержений вулканов; анализ динамики вулканогенного процесса средствами геоинформационных технологий; моделирование механизмов извержений» (№ 124031400008-3).

Список литературы

1. *Влодавец В.И., Пийп Б.И.* Каталог действующих вулканов Камчатки // Бюллетень вулканологических станций. 1957. № 25. С. 5-95.
2. *Гирина О.А.* Современная активность вулканов Северной группы Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2024. 300 с.
3. *Гирина О.А., Луян Е.А., Сорокин А.А. и др.* Комплексный мониторинг эксплозивных извержений вулканов Камчатки / Отв. ред. О.А. Гирина. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018. 192 с.
4. *Кирсанов И.Т., Марков И.А.* Эволюция базальтов в процессе формирования Ключевского вулкана / Проблемы глубинного магматизма / Отв. ред. В.С. Соболев. М.: Наука, 1979. С. 80-96.
5. *Озеров А.Ю.* Ключевской вулкан: вещество, динамика, модель. М.: ГЕОС, 2019. 306 с.
6. *Озеров А.Ю., Гирина О.А., Жаринов Н.А. и др.* Извержения вулканов Северной группы Камчатки в начале XXI века // Вулканология и сейсмология. 2020. № 1. С. 3-19. <https://doi.org/10.31857/S0203030620010058>
7. *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.
8. *Пийп Б.И.* Ключевская сопка и ее извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом // Труды Лаборатории вулканологии АН СССР. 1956. Вып. 11. 312 с.
9. *Хренов А.П., Двигало В.Н., Кирсанов И.Т. и др.* Вулкан Ключевской // Действующие вулканы Камчатки / Отв. ред. С.А. Федотов, Ю.П. Масуренков. М.: Наука, 1991. С. 106-153.
10. *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.