

ПРОГНОЗ ИЗВЕРЖЕНИЙ

И. Т. КИРСАНОВ, Г. П. ПОНОМАРЕВ, Г. С. ШТЕЙНБЕРГ

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗВЕРЖЕНИЙ
КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА

Одной из главных задач изучения современной вулканической деятельности является прогноз извержений. При ее решении используют хронологию извержений с учетом дополнительных характеристик: силы и характера их, массы изверженного материала и, в последнее время, некоторых элементов статистики.

При качественном анализе деятельности Ключевского вулкана Б. И. Пийпом выявлены межпароксизмальные и пароксизмальные извержения, их цикличность, а также другие закономерности, на основании которых дан прогноз наиболее сильных пароксизмов (Пийп, 1956, 1957).

Попытка выделить циклы вулканической активности с учетом динамики процесса (период покоя — накопление энергии, активизация — разгрузка) для андезитовых и андезито-базальтовых вулканов разных типов извержений (Ковалев, 1971) представляется рациональной применительно только к лавовым извержениям. Для камчатских вулканов с преимущественно эксплозивным характером извержений (коэффициент эксплозивности 0,5—0,6) указанный подход не представляется обнадеживающим из-за невозможности точного определения объема выброшенного материала. Слабой стороной метода является также предположение о постоянстве теплового потока на активных вулканах, что приводит к необходимости включения в эруптивный цикл и всего времени покоя, хотя имеются данные о сравнительно коротком периоде подготовки как слабых, так и сильных извержений: от нескольких дней до месяца у побочных кратеров Ключевского вулкана и Безымянного, до 6 месяцев у вулкана Шевелуч (Токарев, 1966, 1968; Кирсанов, 1968). Кроме того, совершенно не учитывается энергия фумарольной деятельности, которая равна и может превосходить энергию извержения (Поляк, 1966).

Статистический анализ чистой хронологии извержений без внесения дополнительных характеристик на ограниченном количестве данных (10—15 извержений) в некоторых случаях не оправдывает себя (Токарев, 1971).

В настоящей работе еще раз сделана попытка учесть все известные особенности извержений и проанализировать пространственные и временные закономерности расположения побочных кратеров на Ключевском вулкане за сравнительно короткий, но детально изученный промежуток времени с 1920 по 1970 г.

Все извержения Ключевского вулкана нанесены на график (рис. 1). График построен в координатах время извержений — высота выброса материала над кромкой кратера. Последняя условно характеризует силу извержения (слабое извержение — до 3000 м, среднее — 3000—5000 м, сильное — до 8000 м и очень сильное — более 8000 м). На графике отчетливо выделяются три эруптивных цикла продолжительностью 18, 12 и 7,5 лет с периодом покоя 6 и 4 года. Эруптивные циклы и промежутки

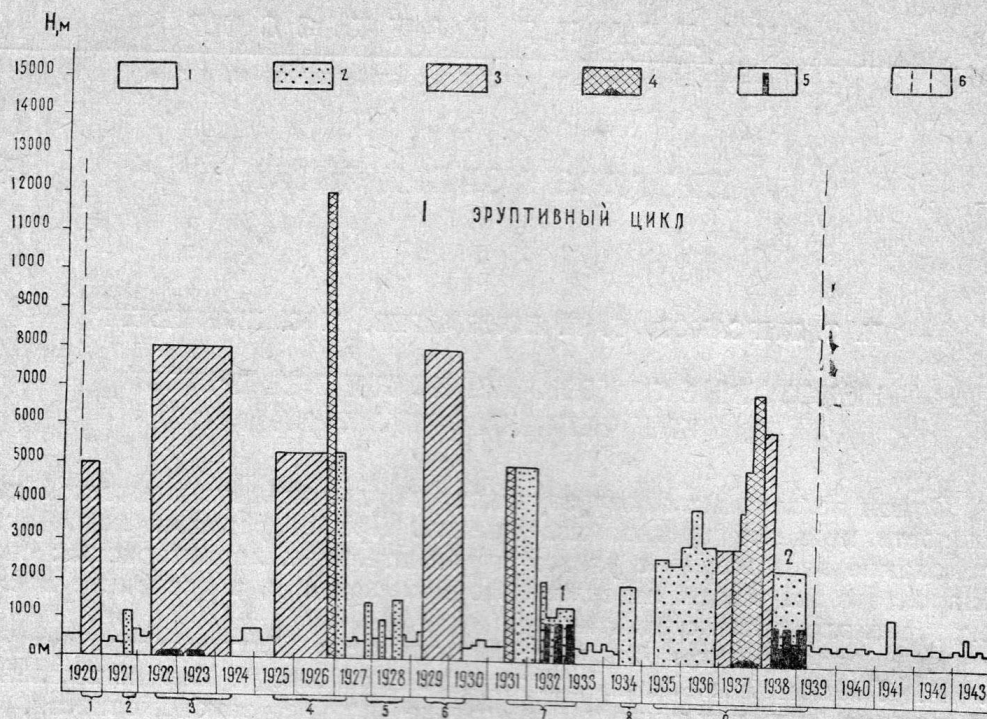


Рис. 1. Обобщенный график деятельности
 1 — газовые извержения и фумарольная деятельность; 2 — вулканический тип извержения; 5 — извержения побочных кратеров;

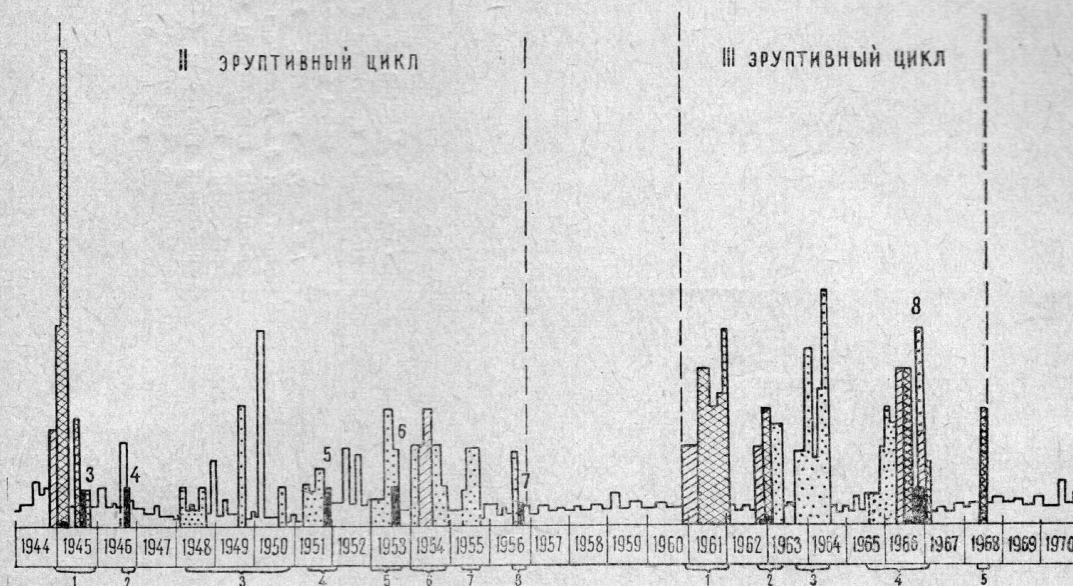
между ними продолжительностью в 5 ± 1 год отмечаются и на более ранних этапах деятельности Ключевского вулкана с 1877 г. * В каждом цикле насчитывается соответственно 9, 8 и 5 извержений со средней продолжительностью 1,6; 0,2; 0,8 лет и перерывами 1,7; 1,0; 0,8 лет. Вероятность извержения в каждом цикле 0,5, 0,8 и 0,7. Для извержений продолжительностью 1,5—2 года наблюдается постепенная смена типов от вулканического через стромболианский к чисто лавовым. Пароксизмы (бурное извержение во всей полости кратера и очищение его от накопившегося материала) характерны для каждого извержения и составляют с ним единый процесс. В цикле в зависимости от его продолжительности их насчитывается от 1—2 до 20 (Меняйлов, 1947; Кирсанов, 1970).

За цикл происходит от 1 до 5 эксцентрических извержений. Каждый прорыв побочных кратеров предворяется извержением вершинного, что указывает на их тесную связь. Чем выше прорыв на склоне, тем отчетливей эта зависимость. Особенно наглядно она проявлялась в последнем извержении вулкана (1966 г.). При усилении извержения побочных активность вершинного кратера значительно ослабевала и наоборот. Все это указывает на единый источник питания. За изучаемый период произошло 8 побочных извержений (см. таблицу). Промежутки

Время и высота побочных извержений

Прорыв	Начало извержения	Высота прорыва, м
Киргурич	Январь 1932	500
Туйла	Июнь 1932	500
Биокось	Ноябрь 1932	500
Билукай	Февраль 1938	950
Юбилейный	Июнь 1945	1200
Апахончич	Октябрь 1946	1500
Былинкиной	Ноябрь 1951	900
Белянкина	Июнь 1953	1400
Крыжановского, Вернадского	Июль 1956	1500
Пийпа	Октябрь 1966	2000

* Определение извержения и eruptивного цикла следует из графика (рис. 1): а) под извержением понимается одно- или многократное выделение газового, обломочного и лавового материала на дневную поверхность, продолжительность его от 2 месяцев до 3,5 лет, перерыв между ними — от 6 месяцев до 1,5 лет; б) под циклом понимается серия извержений, разделенных периодом покоя продолжительностью 5 ± 1 год.



Ключевского вулкана с 1920 по 1970 г.

3 — стромболианско-вулканический тип извержения; 4 — вулканико-стромболианский тип извержения; 6 — граница эруптивных циклов.

между ними составляли от 1 до 10, в среднем 5 лет. Побочные извержения внутри цикла происходили без какой-либо закономерности, но, как правило, заканчивали его. От начала проявления активности в цикле время первого прорыва побочных кратеров составляло от 1 до 6 лет (по двум циклам).

По форме проявления на поверхности эксцентрические извержения можно разделить на 3 типа: 1) трещинные, представляющие цепочку воронок взрыва, к низу заканчивающиеся эффузивным кратером (Козей-Билюкай, Юбилейный и Пийпа); 2) единичные кратеры (Апахончич, Былинкиной); 3) «кустовые» — группа произвольно расположенных побочных кратеров (Киргурич, Туйла, Биокось, Вернадского-Крыжановского). Лавовые потоки всех наблюдавшихся эксцентрических извержений имеют различную протяженность.

Продолжительность извержений первого типа 3—13 месяцев, причем активные центры в верхних частях трещин имеют чисто эксплозивный характер и действуют очень короткий промежуток времени. Извержения второго типа и некоторые извержения третьего типа длятся от нескольких дней до месяца.

Побочные извержения как форма активности Ключевского вулкана не новы. В формировании постройки вулкана они играли значительную роль. Появление их, по-видимому, можно объяснить следующими общими закономерностями. По Ритману (1964), стратовулкан в своем развитии достигает некоторой морфологической емкости, и целостность вулканического конуса начинает нарушаться под действием внешних и внутренних факторов. Основной тип нарушений, возникающий при этом, — радиальные трещины разрыва.

Статистический анализ вулканических построек Камчатки, Японии, Индонезии показал, что при достижении вулканом определенной высоты побочные кратеры являются его неотъемлемой частью. Располагаются они в пределах деформированного основания постройки и контролируются в основном радиальными разломами. Предельная высота правиль-

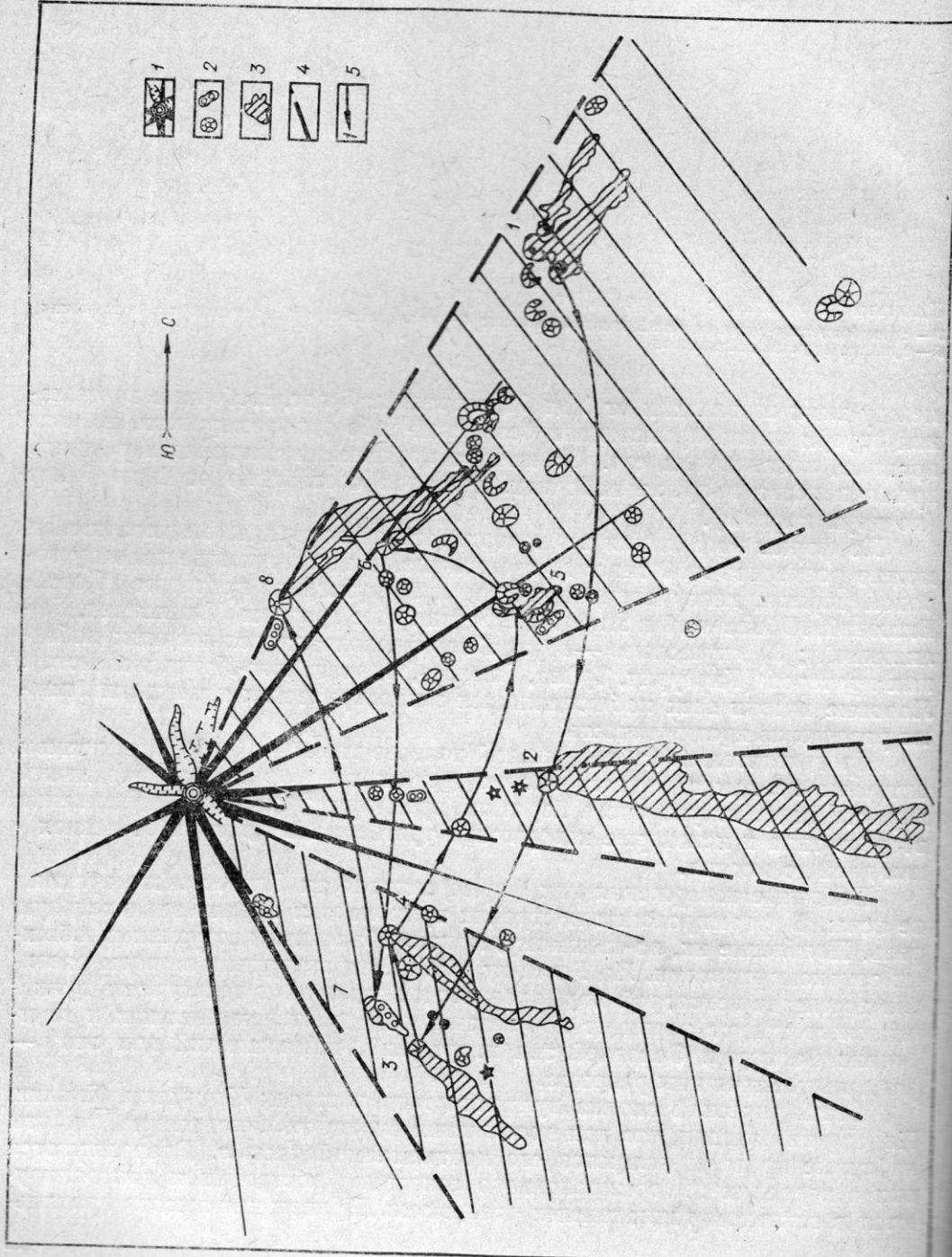


Рис. 2. Схема расположения
побочных кратеров на Ключев-
ском вулкане.

1 — конус
вулкана; 2 — побочные
кратеры; 3 — лавовые потоки дати-
рованных извержений; 4 — границы
секторов с наибольшим скоплением
побочных кратеров; 5 — последова-
тельность датированных извержений
во времени.

ного (недеформированного) конуса относительно фундамента 2—2,5 км. Связь высоты конуса и наличия побочных кратеров у вулканов проверена по критерию χ^2 . С вероятностью 0,95 побочные кратеры наблюдаются у вулканов Камчатки высотой более 1800 м, Японии и Индонезии — 1000—2000 м соответственно. Видимо, различие в высотах связано со строением и глубиной фундамента под вулканическими постройками.

Отмеченная закономерность подчиняется внешним и внутренним факторам и определяется простыми энергетическими соотношениями. При достижении вулканом определенных размеров, в том числе высоты, энергии, необходимой для подачи жидкого расплава к вершинному кратеру, становится недостаточно, и разрядка его происходит на более низких уровнях через побочные извержения. Этим закономерностям подчиняется и Ключевской вулкан.

Побочные кратеры Ключевского вулкана располагаются на склонах в интервале высот 400—2500 м над уровнем моря. Всего их насчитывается более 80. Наибольшее их скопление отмечается в северо-восточном, восточном и юго-восточном секторах (рис. 2). Они вытянуты цепочками вдоль склонов, что подчеркивает приуроченность их к зонам радиальных нарушений. Наиболее веским доказательством существования этих нарушений служат датированные извержения трещинного типа и наличие рвов вулcano-тектонического происхождения в привершинной части вулкана (Кирсанов и др., 1970).

По датированным извержениям (см. рис. 2) был проведен анализ пространственно-временной связи расположения побочных кратеров. Стрелкой на схеме показана последовательность извержений во времени. Отчетливо наблюдается следующая закономерность: два соседних по времени прорыва побочных кратеров происходят в разных секторах, исключение составляют кратеры Апахончич, Былинкиной и Белянкина; они располагаются в одном секторе в результате его расширения.

Последовательное смещение извержений из сектора в сектор, возможно, обусловлено застыванием магмы в подводящих каналах, что увеличивает жесткость постройки и препятствует образованию повторного прорыва.

Зависимость высоты прорывов побочных кратеров от времени (рис. 3) является криволинейной с разрывом, в связи с чем наблюдаются две ветви, переходящие из цикла в цикл. Продолжительность каждой ветви 15 лет, разрыва — 5 лет. Корреляционное отношение для первой ветви 0,95, для второй 0,88, в целом 0,86.

Кроме указанных закономерностей обращает на себя внимание тот

факт, что извержение побочных кратеров падает на вполне определенные месяцы и происходит в определенной последовательности: январь — февраль, июнь — июль, октябрь — ноябрь (см. таблицу, рис. 4).

В заключение отметим закономерности, ко-

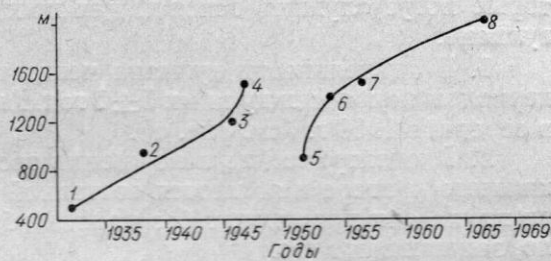


Рис. 3. Зависимость высоты прорыва побочных кратеров от времени (высота прорывов взята по нижним эффузивным кратерам).

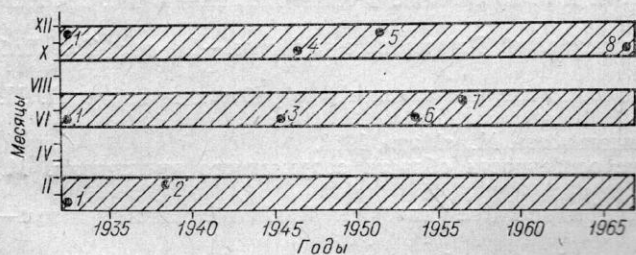


Рис. 4. Распределение начала побочных извержений по месяцам.

торые могут служить основой для прогноза извержений на Ключевском вулкане.

1. В деятельности вулкана четко выделяются эруптивные циклы с периодом покоя между ними 5 ± 1 год. Активность последнего закончилась в середине 1968 г. (см. рис. 1).

2. Эксцентрические извержения тесно связаны с деятельностью вершинного кратера и являются составной частью эруптивного цикла. Внутри цикла они происходят без какой-либо закономерности, но, как правило, заканчивают его.

3. Пространственное положение побочных кратеров определяется морфологической емкостью вулкана и контролируется в основном радиальными зонами нарушений. На Ключевском вулкане побочные кратеры развиты главным образом в северо-восточном, восточном и юго-восточном секторах (см. рис. 2).

4. Хронология извержений побочных кратеров и высота подъема их по склонам подчиняются следующим закономерностям: а) два соседних по времени извержения, как правило, происходят в разных секторах (растянутость северо-восточного сектора искажает это положение); б) высота прорывов побочных кратеров на склонах вулкана растет со временем (см. рис. 2).

5. Установлена криволинейная зависимость высоты прорыва побочных кратеров от времени с разрывом в 5 лет. Продолжительность каждой ветви 15 лет. Обе ветви проходят из цикла в цикл (см. рис. 3).

На основании выявленных закономерностей можно предположить следующее.

1. Новый эруптивный цикл Ключевского вулкана начнется в 1973 ± 1 году.

2. Место и время эксцентрического извержения можно прогнозировать двояко: а) если характер обхода секторов сохранится, а высота прорыва будет расти, новое извержение произойдет в юго-восточном секторе в интервале высот 2000—2400 м и время его неопределенно; б) если принять за основу продолжительность ветви в 15 лет и разрыв в 5 лет, то предстоящий прорыв произойдет в одном из выделенных секторов (вероятно, северо-восточном) на высоте 500—700 м в 1973 ± 1 году, но обязательно после начала активизации вершинного кратера.

ЛИТЕРАТУРА

- Влодавец В. Н., Пийп Б. И.* Каталог действующих вулканов Камчатки.— «Бюлл. Вулк. ст.», 1957, № 25.
- Влодавец В. Н.* Ключевский вулкан.— «Бюлл. МОИП. Землевед.», 1940, т. 1 (XII).
- Кирсанов И. Т.* Извержение Ключевского вулкана в 1966 г. с прорывом побочных кратеров Пийпа.— «Бюлл. Вулк. ст.», 1968, № 44.
- Кирсанов И. Т., Серафимова Е. К., Марков И. А.* Главный и побочный кратеры Ключевского вулкана в 1967—1968 гг.— «Бюлл. Вулк. ст.», 1970, № 46.
- Ковалев Г. Н., Калашикова Л. Н., Слезин Ю. Б.* О связи между энергией извержений и периодом покоя действующих вулканов.— «Геол. и геофиз.», 1971, № 3.
- Меняйлов А. А.* Динамика и механизм извержения Ключевого вулкана в 1937—1938 гг.— В кн.: Тр. Лаб. вулк., вып. 4, 1947.
- Пийп Б. И.* Ключевская сопка и ее извержение в 1944—1945 гг.— В кн.: Тр. Лаб. вулк., вып. 11, 1956.
- Пийп Б. И.* Особенности извержений Ключевского вулкана.— В кн.: Тр. Лаб. вулк., вып. 13, 1957.
- Пустыльник Е. И.* Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М., «Наука», 1968.
- Ритман А.* Вулканы и их деятельность. М., «Мир», 1964.
- Поляк Б. Г.* Геотермические особенности области современного вулканизма. М., «Наука», 1966.
- Токарев П. И.* О долгосрочном прогнозе извержений Авачинского вулкана.— «Бюлл. Вулк. ст.», 1971, № 47.
- Токарев П. И.* Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М., «Наука», 1966.
- Токарев П. И., Широков В. С., Зобин В. М.* Сейсмические явления, связанные с побочным кратером Пийпа в октябре — декабре 1966 г.— «Бюлл. Вулк. ст.», 1968, № 44.