

И. Т. КИРСАНОВ

**ИЗВЕРЖЕНИЕ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА в 1966 г.  
С ПРОРЫВОМ ПОБОЧНЫХ КРАТЕРОВ им. ПИЙПА**

После извержения 1961—1963 гг. (Гущенко и др., 1964) до 1965 г. деятельность Ключевского вулкана сводилась к активному выделению газов из вершинного кратера и периодическим слабым извержениям, главным образом вулканского типа.

Усиление деятельности Ключевской сопки началось со второй половины 1965 г. С августа по ноябрь в вершинном кратере периодически происходили слабые взрывы с выбросом небольшого количества пепла на склоны вулкана.

В конце ноября — декабре 1965 г. извержение активизировалось. В ночь с 28 по 29 ноября над кратером можно было видеть вишнево-красное зарево. Выбросы пепла происходили сначала через 5—7, а затем через 1—2 мин. Высота их менялась от 1,5 до 3,5 км. 8 и 20 декабря пепел выпал на сейсмической станции Апахончич, а 11 декабря — в пос. Ключи. Площадь распространения пепла варьировала от 100 до 500 км<sup>2</sup>. Общий вес его составил около 600 тыс. т.

Извержение, периодически усиливаясь, продолжалось в течение всего 1966 г. Из 207 дней, когда вулкан был виден, 103 дня в кратере происходили взрывы с выбросом пепла и периодически наблюдалось зарево.

Финалом извержения явился прорыв побочных кратеров на северном склоне вулкана. Группа побочных кратеров прорыва была названа именем выдающегося советского вулканолога Б. И. Пийпа.

Визуальные наблюдения за извержением вершинного и побочных кратеров проводились с территории сейсмической станции Апахончич и непосредственно с кромки кратера. Кроме того, изучение извержения побочных кратеров с 9 октября и до конца года, под руководством И. Т. Кирсанова, проводилось научными сотрудниками Института вулканологии СО АН СССР непосредственно на месте прорыва и в районе распространения лавового потока.

Кроме сотрудников, фамилии которых будут указаны по ходу изложения материала, в изучении извержения принимали участие Г. С. Горшков, И. И. Гущенко, Е. К. Мархинин, Г. С. Штейнберг, Б. В. Иванов, Н. В. Огородов, М. С. Попов, И. А. Марков, В. А. Подтабачный и др.

В ходе извержения изучались: его динамика, скорость подъема и высота выброса материала, скорость излияния лавы, ее вязкость, пластичность, газонасыщенность и температура. Из различных кратеров и лавовых бокк и порций отбирались образцы пород, на потоке и в кратерах — газы, конденсаты и возгоны, в окрестностях вулкана — пепел и атмосферные осадки. На сейсмостанциях велась постоянная регистрация сейсмических явлений. В районе прорыва периодически проводились

магнитные наблюдения. Постоянно фиксировались изменения, происходящие в строении кратеров, конуса, лавовых бокк и лавового потока.

В обработке собранного материала принимали участие Е. К. Серафимова, Т. П. Кирсанова и А. А. Важеевская.

Результаты наблюдений и предварительной обработки собранного материала коротко изложены в данном сообщении.

## ИЗВЕРЖЕНИЕ ВЕРШИННОГО КРАТЕРА

### Характер извержения и его особенности

Извержение вершинного кратера Ключевского вулкана в 1966 г. по характеру деятельности можно разделить на три периода.

Первый период (январь — июнь) в целом характеризовался периодическими взрывами вулканского типа с выбросом пепла на высоту от 0,2 до 5,0 км над кратером. В моменты максимальной активности, ко-

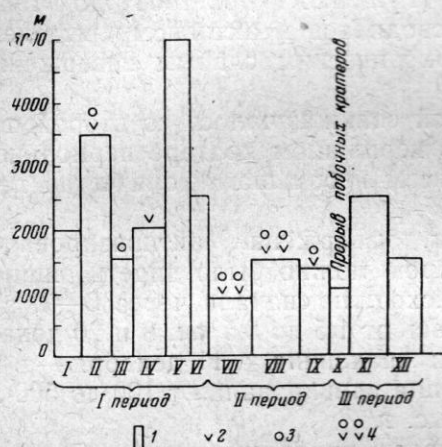


Рис. 1. Обобщенный график извержения вулкана

1 — количество дней извержения и обобщенная высота подъема пепловых туч; 2 — спазматическое вулканическое дрожание; 3 — подземный гул взрывов; 4 — вулканическое дрожание с взрывными землетрясениями

торая отмечалась в первой половине февраля, в конце марта, конце апреля и в мае, наряду с вулканическим проявлялся (кратковременно) смешанный — стромболианско-вулканический тип извержения. В это время над кратером изредка наблюдалось вишнево-красное (до красного) свечение; до сейсмостанции Апахончич временами доносился гул взрывов; сейсмографы регистрировали дрожание спазматического характера (рис. 1).

Второй период (июль — октябрь) характеризовался вулканико-стромболианским типом извержения и наибольшей активностью. В это время над кратером почти постоянно было видно зарево, высота которого иногда достигала 450 м; до сейсмостанции Апахончич доносился постоянный гул взрывов, приборами регистрировалось непрерывное вулканическое дрожание. Кроме того, над кратером довольно часто наблюдались мощные газовые взрывы, изредка сопровождавшиеся выбросом большого количества обломочного материала, который в основном разгружался в пределах вершины. Особенно хорошо это было видно при подъеме на вершину вулкана и с кромки кратера.

22 августа (данные И. Я. Власова) в центральной части дна кратера была отмечена эксплозивная воронка, окруженная насыпным валом высотой 15—20 м; диаметр ее был 70—75 м. На дне имелись две небольшие бокки, в которых непрерывно происходили слабые пепловые взрывы. Через 30—40 мин они сменялись мощными взрывами с выбросом большого количества раскаленного и пластичного лавового материала. Фон-

таны раскаленной лавы поднимались на высоту 150—200 м. В кратере отмечалось постоянное обрушение стенок.

11 сентября (наблюдения автора) на дне кратера появился шлаковый конус высотой 35—40 м, который был вытянут в юго-западном направлении и прислонен к западной стенке. На его вершине действовали три эффузивно-эксплозивные бокки диаметром 50, 10 и 30 м. Бокки располагались на одной линии и были вытянуты вдоль вершины конуса. Две меньшие бокки действовали периодически, на дне большей постоянно клокотала, вспучивалась и взрывалась жидкая лава, фонтаны которой поднимались на высоту 300—800 м.

Изредка наблюдались мощные всплески, когда дно кратера полностью покрывалось пластичной лавой. Пепловых взрывов практически не было. Через каждые 1,5—2 часа происходили сильные взрывы, при этом отчетливо ощущалась ударная волна, а открытые части тела чувствовали тепло. В кратере наблюдалось постоянное наращивание мощности выбрасываемых шлаков и закупорка жерл, что впоследствии, по-видимому, способствовало прорыву побочных кратеров.

В морфологии главного кратера, по сравнению с предыдущими наблюдениями (Ермаков и др., 1966б), особых изменений отмечено не было; по-видимому, несколько увеличился диаметр (за счет обрушения стенок), в целом же форма кратера отвечала взрывному типу.

Третий период извержения вершинного кратера Ключевского вулкана начался прорывом побочных кратеров (6.X 1966 г.).

В начале извержения побочных кратеров и особенно в наиболее активную стадию деятельность вершинного кратера резко снизилась, в октябре в нем было отмечено всего лишь несколько слабых пепловых взрывов.

В конце октября и начале ноября, с уменьшением силы извержения на прорыве, в вершинном кратере произошло резкое повышение активности, выразившееся в довольно сильных взрывах с выбросом пепла на высоту 2,5—5,0 км.

13 ноября пепловая туча на большой высоте прошла над районом оз. Харчинского. В пос. Ключи в течение шести часов наблюдался сильный пеплопад. Во второй половине ноября, с усилением излияния лавы на прорыве, в вершинном кратере вновь наблюдалось уменьшение активности. Все эти факты говорят о непосредственной связи основного канала вулкана с его ответвлением, питавшим побочные кратеры. Не менее интересным моментом является и то, что после начала излияния лавы из нижней части трещины прорыва в кратере ни разу не наблюдалось свечения. После прекращения излияния лавы на прорыве (25—26 декабря), в начале января 1967 г., над вершинным кратером неоднократно появлялось слабое зарево.

#### **Явления, сопровождавшие извержение главного кратера и предшествовавшие прорыву побочных кратеров**

Сейсмические явления. В первый период, когда проявился стромболианско-вулканский тип, извержение вершинного кратера сопровождалось кратковременным слабым спазматическим вулканическим дрожанием, амплитуда смещения которого на станции Апахончи была 0,1—0,2  $\mu$ . С мая дрожание стало фиксироваться значительно чаще, а с июля, с появлением вулканско-стромболианского типа извержения, оно стало регистрироваться непрерывно и достигало максимума в августе. Суммарная энергия вулканического дрожания в августе составляла  $5 \cdot 10^{14}$  эрг, амплитуда максимальных смещений достигала

1,0 м. С этого же периода стали регистрироваться взрывные землетрясения с энергией до  $10^{13}$  эрг. Перед прорывом побочных кратеров количество взрывных землетрясений и вулканическое дрожание резко уменьшились.

Вулканические землетрясения, предвалявшие прорыв побочных кратеров, появились за 3,5 суток до начала извержения. Слабые землетрясения ( $E=10^{12}$  эрг) наблюдались перед прорывом. Количество их постоянно увеличивалось, но суммарная энергия снижалась. Сильные ( $E=10^{15}-10^{17}$  эрг), достигнув максимума в первый день, продолжали держаться примерно на этом уровне вплоть до прорыва (см. рис. 3 в статье П. И. Токарева в настоящем сборнике).

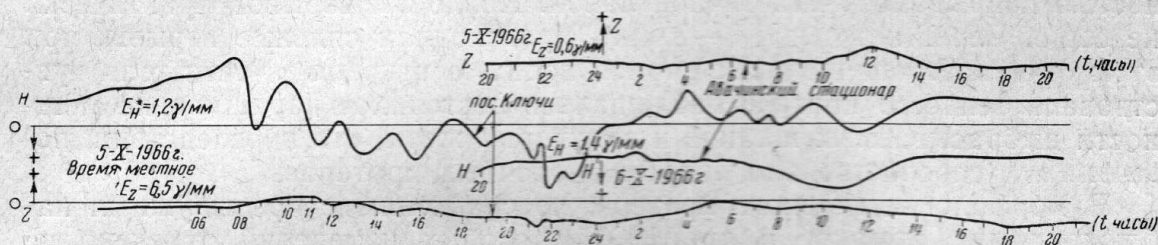


Рис. 2. График электромагнитных колебаний, зафиксированных МВС в пос. Ключи перед прорывом побочных кратеров и на Авачинском стационаре.

Составил Э. Рындина

После прорыва побочных кратеров количество землетрясений резко снизилось, с 7 октября приборы регистрировали непрерывное вулканическое дрожание и множество взрывных землетрясений, которые сопровождали и полностью отражали характер деятельности кратеров и излияние лавы на прорыве.

Электромагнитные явления. Прорыв побочных кратеров предвалялся электромагнитными возмущениями, которые были зарегистрированы магнитно-вариационной станцией, установленной в пос. Ключи на территории вулканологической станции (наблюдения Э. А. Рындины).

За 24 часа до начала извержения на горизонтальной составляющей ( $H$ ) четко стали фиксироваться электромагнитные колебания синусоидальной формы с периодом 2,2—2,5 час. Амплитуда колебаний составляла 30—40  $\gamma$ ; общий уровень поля с 7 до 21 час 5 сентября возрос на 110  $\gamma$ . Между 21 и 22 час в магнитном поле произошел резкий скачок с уменьшением частоты колебания, затем оно снова стало выравниваться до нормального состояния (рис. 2). На вертикальной составляющей ( $Z$ ) эти возмущения были выражены более слабо в связи с заглублением канала ( $E_Z=6,5$   $\gamma/мм$ ;  $E_H=1,2$   $\gamma/мм$ ). Тем не менее в первый период возмущений уровень поля на  $Z$ -составляющей также слегка возрос. Между 21 и 22 час здесь снова наблюдался резкий скачок его в сторону уменьшения, а затем, произошло выравнивание до нормального состояния.

Природа таких колебаний пока еще не совсем ясна. В данном случае возмущения магнитного поля имели локальный характер (рис. 2) и несомненно были связаны с прорывом побочных кратеров.

**ПРОРЫВ ПОБОЧНЫХ КРАТЕРОВ им. ПИЙПА****Характер извержения и его особенности**

Начало извержения. 6/X 1966 г. около 8 час утра на северном склоне вулкана на высоте около 2000 м над уровнем моря между ледниками Сопочным и Влодавца появилась небольшая струйка пара (рис. 3). Постепенно перемещаясь вниз по склону, к 12 час она поднялась до высоты 1 км, а к 15 час превратилась в небольшую эруптивную тучу темно-серого цвета высотой в 2,0—2,5 км. Верхняя часть тучи отклонялась ветром к востоку. Шлейф ее протягивался на расстояние 10—15 км. На северо-восточном склоне вулкана легла широкая полоса выпавшего пепла. К концу дня пункты взрывов отмечались уже на высоте 1800 м над уровнем моря. К этому времени в месте прорыва четко наблюдалось несколько стабильных центров извержения. Наиболее активно действовал второй сверху, из которого периодически происходили выбросы раскаленного материала. К 19 час в нижней части прорыва образовался насыпной вал небольшой высоты, а с наступлением сумерек стали видны непрерывно действующие фонтаны раскаленной лавы. До пос. Ключи периодически доносился гул взрывов. Примерно к десяти часам вечера началось излияние лавового потока, направление которого можно было определить по мерцающим участкам ниже фонтанов раскаленной лавы.

7 октября извержение побочных кратеров достигло максимума и на этом уровне держалось примерно до 22—23 октября 1966 г.

При непосредственном изучении места извержения было установлено, что прорыв побочных кратеров произошел по трещине субмеридионального простирания (азимут простирания  $15^\circ$ ), северный конец которой поворачивал в северо-восточном направлении (азимут простирания  $45^\circ$ ).

9 октября на трещине уже действовало восемь эксплозивных, а ниже них два эффузивно-эксплозивных и одно эффузивное жерла. Несколько

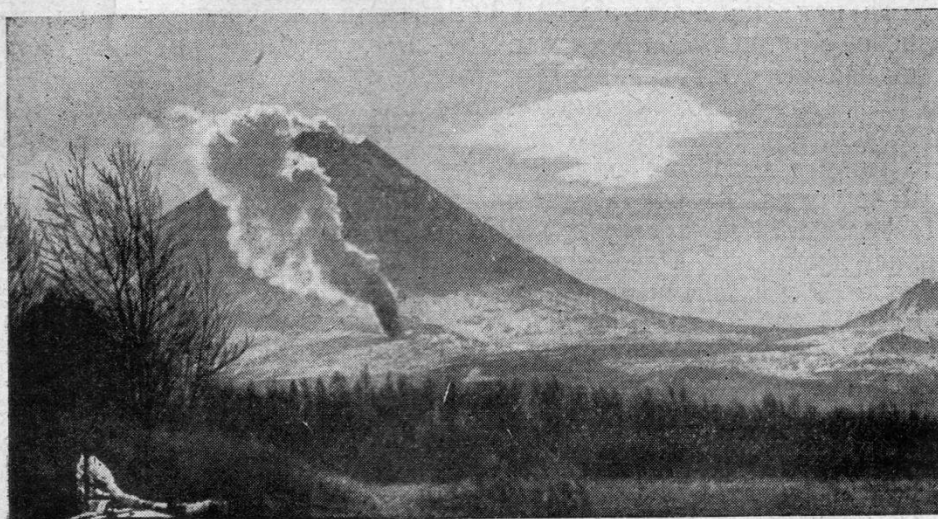


Рис. 3. Начало извержения побочных кратеров Ключевского вулкана 6 октября 1966 г., 12 ч. дня.  
Фото И. Т. Кирсанова

позже, после прекращения деятельности эксплозивных жерл, в северо-восточном подножье шлакового конуса появилось еще несколько лавовых бокк, причем некоторые из них действовали до конца извержения.

### Извержение эксплозивных кратеров

С 7 по 20 октября (наблюдения И. Т. Кирсанова, М. В. Федорова, Ю. М. Дубика, И. А. Меняйлова) для всех эксплозивных кратеров была характерна очень высокая активность. До 10 октября в кратерах наблюдались сильные газовые взрывы, сопровождавшиеся выбросом пепла и небольшого количества раскаленного и остывшего лавового материала. С 10 октября характер деятельности их заметно изменился. Центр постоянного выделения пепла переместился в три кратера, причем из самого верхнего непрерывно поступала темная масса газов с пеплом, которая периодически пополнялась менее интенсивной деятельностью двух других жерл. Слабые взрывы происходили бесшумно через 1—2 мин, сильные — с глухим рокотом через 5—15 мин. Наиболее мощные из них отмечались 11, 12, 15, 18 и 19 октября.

Газы, нагруженные обломочным материалом, поднимались в виде мощного столба, иногда приобретающего грибообразную форму. Высота подъема достигала 2,5—3,0 км, радиус разброса крупного материала (обломки диаметром до 30 см) — 0,8—1,0 км; мелкий материал в виде широкого шлейфа распространялся на 15—30 км.

После 20 октября взрывы стали реже; наиболее сильные из них отмечались в верхнем кратере. Последние пепловые взрывы в этих кратерах отмечены 8 и 9 ноября.

В это же время в нижней группе, состоящей из трех эксплозивных кратеров, наблюдались сильные пепловые взрывы, которые часто перемежались с газовыми. В начале взрыва обычно слышался резкий звук, напоминающий переход звукового барьера реактивным самолетом, затем появлялась плотная масса газов с пеплом, которая острым клином врзалась в небо, и, быстро поднимаясь вверх, приобретала форму пинии или атомного гриба, часто в нижней части расцвеченных раскаленными обломками. Наиболее сильные взрывы в этих кратерах были наклонными. Угол наклона достигал 60—80°, направление было любым, кроме северного. Крупные обломки (до 15—20 см в диаметре) при этом выбрасывались на значительное расстояние от кратера (0,5—2,0 км). Частота взрывов в этот период варьировала от 5 до 20 мин; высота выбросов материала — от 0,3 до 3,5 км. Почти после каждого взрыва такого типа в кратерах происходила мощная «продувка», напоминающая по звуку работу сопла реактивного самолета.

Деятельность двух других кратеров, расположенных между верхней и нижней группами, была значительно слабее и выражалась в слабых «продувках» и одиночных взрывах — выстрелах с выбросом пепла на высоту 300—400 м, изредка до 1,0 км.

К концу октября (наблюдения А. М. Чиркова, Т. П. Кирсановой и А. А. Важеевской) в кратере, расположенном ближе к шлаковому конусу, кроме пепловых, отмечались мощные лавовые выбросы. Обломки пород имели угловатые очертания и были раскалены до 900—950°. В целом же деятельность эксплозивных кратеров, расположенных ниже верхней группы, была очень неравномерной. Действовали они обычно одновременно или же периодически один за другим с обязательным проявлением активности во всех кратерах в течение одного цикла взрывов.

В начале ноября взрывы в этих кратерах полностью прекратились.

### Извержение explosивно-эффузивного кратера

Эксплозивная деятельность. В результате активной деятельности explosивно-эффузивных жерл в нижней части прорыва уже к 9 октября образовался невысокий шлаковый конус высотой до 30 м с кратером на вершине. Кратер был вытянут и открыт в северном направлении и вследствие разной высоты бортов имел асимметричное строение. В первые дни извержения на дне кратера отмечалось два жерла, расположенных в западной и юго-восточной его частях. Жерла находились на линии трещины, в 25—30 м одно от другого. Диаметр западного жерла достигал 15—20 м, юго-восточного — 8—10 м. Деятельность их проявлялась в непрерывных взрывах с выбросом пластичного лавового материала на дно кратера и склоны конуса (рис. 4). Частота взрывов 11, 12 октября достигла 85—90 взрывов в минуту. Угол наклона их часто менялся от вертикального до косоого. Это отражалось на скорости роста отдельных частей шлакового конуса.

Температура лавы в нижних частях фонтанов по цвету (соломенному и иногда белому) была определена в 1100—1150°; несколько позже с помощью пирометра получена величина в 1050°. Каждое жерло «работало» самостоятельно. Взрывы в западном жерле были в 2—3 раза сильнее, чем в восточном, фонтаны раскаленной лавы достигали здесь высоты 300—400 м, отдельные бомбы выбрасывались на высоту 800—1000 м. В выбросах постоянно наблюдались пластичные куски лавы, которые, растягиваясь в воздухе, рвались в клочья. Были здесь и уже застывшие, но еще раскаленные обломки пород.

В конце октября и первой половине ноября (наблюдения А. М. Чиркова, Т. П. Кирсановой, А. А. Важеевской, А. А. Пронина и В. А. Дрознина) активность жерл резко снизилась. Так, в юго-восточном жерле вначале отмечалось 3—5 взрывов в сутки, затем деятельность его полностью прекратилась. В западном жерле сначала происходило 20—25 взрывов в минуту. Значительно уменьшилась распыляемость лавового материала, и вместо фонтанов были видны мощные всплески. Крупные куски лавы выпадали вблизи жерла и попадали в исток лавового потока. Затем деятельность западного жерла резко снизилась, слабые взрывы сменились газовой «продувкой». В выбросах стал появляться пепловый материал.

Вторая половина ноября (наблюдения А. М. Чиркова, И. Т. Кирсанова, М. И. Зубина и др.) характеризовалась резким повышением активности explosивного жерла, фактически ставшего кратером шлакового конуса. С 16 ноября в кратере частота взрывов увеличилась до 30 взрывов в минуту. Лавовые выбросы часто сменялись пепловыми, причем взрывы были иногда настолько сильными, что напоминали деятельность верхних explosивных воронок. В этот период у северо-восточного подножья конуса появилось несколько лавовых бокк, в которых периодически наблюдались взрывы, сопровождаемые фонтанами раскаленной лавы. Вначале фонтанирование в бокках возникало через 0,5—1,5 час, затем интервал между ними значительно увеличился. В некоторых бокках вместо фонтанов периодически появлялись мощные всплески, причем лава имела красновато-розовый цвет. Между деятельностью бокк и explosивного кратера наблюдалась четкая связь. Перед фонтанированием бокк резко снизилась активность explosивного кратера, и, наоборот, после фонтанирования — нарастала.

В начале декабря explosивная активность на прорыве заметно уменьшилась и к 15 декабря полностью прекратилась. Шлаковый конус,

совершенно черный до 1 декабря, к 3 декабря почти полностью, кроме самой верхней кромки, был покрыт снегом.

Эффузивная деятельность. С начала извержения побочных кратеров основными источниками излияния лавы, по-видимому, было юго-восточное жерло (на короткий период), западное и лавовая бокка, расположенная в северной открытой части кратера (постоянно).

Из двух верхних бокк, наряду с фонтанированием раскаленного и пластичного лавового материала, непрерывно изливалась жидкая лава, которая, вытекая из открытой части кратера, сформировала поток шириной 0,3—0,8 км и мощностью 3—5 м. К 9 октября поток спустился в долину р. Киргурич и прошел около 5 км. Лавовый поток продвигался широким фронтом; бортовые валы только начали формироваться у его истоков.

Существование нижней лавовой бокки, практически расположенной в начале русла лавового потока, в первое время определялось по выжиманию застывшей, но еще раскаленной лавы. Обычно на поверхности потока, примерно в 10—15 м ниже западного жерла, периодически появлялись крупные глыбы и целые блоки пород, которые одновременно с ростом в высоту постепенно разваливались и медленно плыли вниз, значительно отставая от основной массы изливающейся лавы. Иногда они перегораживали русло, и лава начинала давать боковые ответвления, перекрывая бортовые валы более ранних порций. Уровень лавы в основном потоке заметно понижался. Такого типа блоки изредка наблюдались 11, 12 и 13 октября и значительно чаще после 14 октября. 13 октября было замечено, что такого же размера блоки могут отваливаться от стенок кратера и также в виде островов плыть по потоку. В отличие от предыдущих, эти блоки были менее раскалены, и при остывании в них наблюдалась структура спекания.

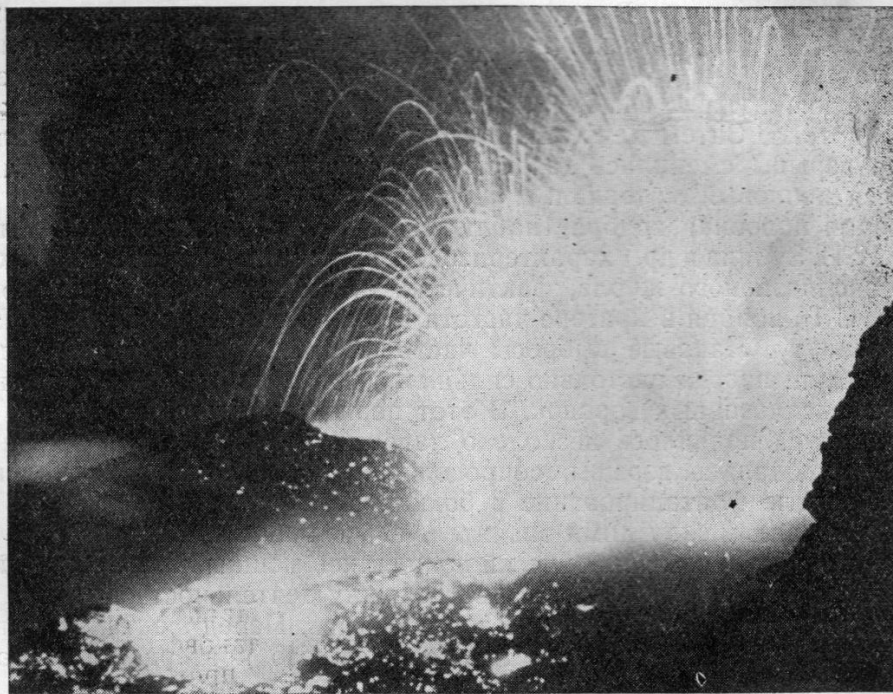


Рис. 4. Фонтанирование раскаленной лавы в двух жерлах нижнего кратера и излияние лавы из открытой его части.

Фото М. В. Федорова

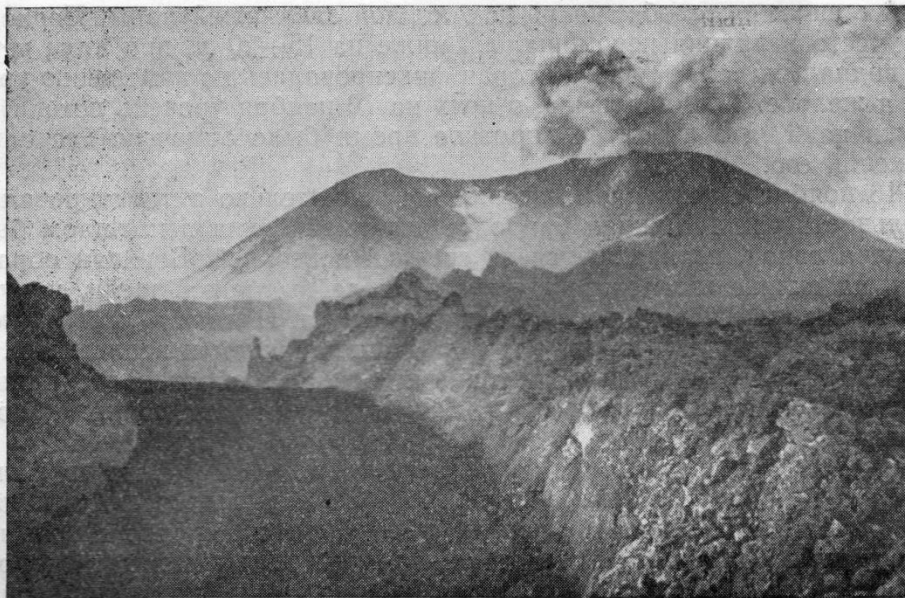


Рис. 5. Шлаковый конус в нижней части прорыва и русло лавового потока в его истоке. Конец октября 1966 г.  
Фото А. М. Чиркова

К 13 октября высота бортовых валов у прорыва достигла 8—20 м. Поверхность потока была сравнительно ровной, покрыта плоскими шлаковидными глыбами и на значительном расстоянии раскалена до красного свечения. Скорость продвижения потока менялась от 500 до 800 м/час.

14 октября, примерно в 200—250 м от истока, на поверхности лавового потока появились и начали лопаться газовые пузыри.

17 октября излияние лавы из бокк приобрело пульсирующий характер, что было зафиксировано по изменению уровня лавы в потоке, который к этому времени почти на всем протяжении уже выработал русло с высокими бортовыми валами. Скорость движения лавы также не оставалась постоянной, меняясь от 150 до 500 м/час. В это же время в восточной части потока появилось много ответвлений, которые, соединяясь с основным руслом, значительно увеличивали его ширину.

В конце октября излияние лавы из западного жерла прекратилось, и у северного подножия шлакового конуса четко обозначилась лавовая бокка диаметром 3—5 м. Из нее спокойно, без пульсаций, вытекала лава красновато-желтого цвета (температура 1000°С), которая по постепенно расширяющемуся руслу стекала вниз со скоростью 600 м/час (рис. 5).

Примерно в 250 м от истока этот поток разделялся на два рукава (ширина каждого 15—20 м). Течение лавы здесь было спокойным, ламинарным и отчетливо была видна разница в скорости движения лавы: максимальная в осевой, минимальная — в краевой части потока.

В первой половине ноября (наблюдения А. А. Пронина, В. А. Дроздина) на северо-восточном склоне и у подножия шлакового конуса были отмечены три новые лавовые бокки. Верхние две представляли собой небольшие воронки, из которых периодически изливалась лава и растекалась в виде лавовых потоков небольшой мощности (1 м), иногда изометричной формы площадью в 2,0—2,5 км<sup>2</sup>. Нижняя лавовая бокка, из которой вытекал лавовый поток, имела вид небольшой ниши, образо-

ванной стенками желоба, покрытого коркой застывшей лавы. Периодически место излияния перемещалось ниже на 15—20 м, при этом четко была видна пульсация лавы, которая фиксировалась по изменению уровня ее в желобе. Так, например, в ночь на 10 ноября уровень потока повысился на 6 м, а затем за короткое время было отмечено несколько понижений его.

С 16 ноября с усилением извержения значительно активизировалась деятельность бокк. Нижняя наиболее активная бокка в прошлом была затоплена лавой, изливавшейся из средней и верхней. Верхняя образовалась на склоне шлакового конуса и имела вид узкой щели, приуроченной к вершине небольшого шлакового конуса. Излияние лавы из всех бокк в этот период сопровождалось фонтанированием и всплесками.

К 18 ноября между двумя верхними бокками образовался каньон, который заполнился лавой и впоследствии превратился в исток лавового потока.

К 22 ноября верхняя бокка была засыпана шлаками. Лава постоянно поступала из средней бокки. Из нижней бокки периодически выжимались обелски вязкой лавы высотой 7—8 м. По сравнению с предыдущим временем уровень лавы в потоке значительно понизился, а скорость повысилась до 600 м/час. Последнее, по-видимому, можно объяснить уменьшением вязкости за счет большей газонасыщенности лавы. С поступлением новой порции лавы на поверхности потока постоянно наблюдались лавовые пузыри, диаметр которых иногда достигал 4—5 м, а высота раздува — 1,5—2,0 м.

В конце ноября — начале декабря (наблюдения И. Т. Кирсанова, А. М. Чиркова и М. А. Зубина), характер деятельности бокк оставался примерно прежним. Лава из них поступала периодически, что фиксировалось по лавовым валам, появляющимся на поверхности лавового потока. Наибольшие порции лавы поступали на поверхность в период фонтанирования в бокках. В подножии конуса, несколько юго-западнее средней бокки, появилась еще одна, деятельность которой характеризовалась мощными всплесками лавы.

Во второй половине декабря две верхние лавовые бокки прекратили свое существование, а нижняя уменьшилась в размерах.

17, 19 декабря (наблюдения И. А. Меняйлова и Л. П. Никитиной) излияние лавы происходило из трещины глубиной в 7—8 м. Скорость продвижения ее в потоке достигала 90 м/час, а температура 950—1000°С. Вблизи истока лава была настолько жидкой, что, встречая преграду на дне, приобретала вид пенистого потока. Несколько ниже по потоку скорость ее заметно снижалась, и через 150 м лава уже представляла собой шевелящуюся массу обломков.

24 декабря (наблюдения В. В. Аверьева и Е. А. Вакина) излияние лавы происходило из «пещеры» клиновидной формы, глубина которой достигала 4—5 м, ширина — 1,5—2,0 м. Лава вытекала со скоростью 1,2 м/мин. На первых 10—15 м лавовый поток расширялся до 7—8 м; в 100 м ниже истоков его ширина была 25—30 м. На перегибе скорость потока значительно возрастала и он приобретал блоковое строение. Несколько выше перегиба поток разрежался на два рукава.

25—26 декабря излияние лавы из нижней части прорыва прекратилось, и извержение побочных кратеров практически закончилось.

В процессе всего извержения характер и скорость движения фронта лавового потока существенно менялись. Как уже было сказано, к 9 октября лавовый поток прошел расстояние около 5 км. В эти дни поток еще не выработал русла, и лава, постепенно заполняя долину реки, широким фронтом поступала вперед и в стороны.

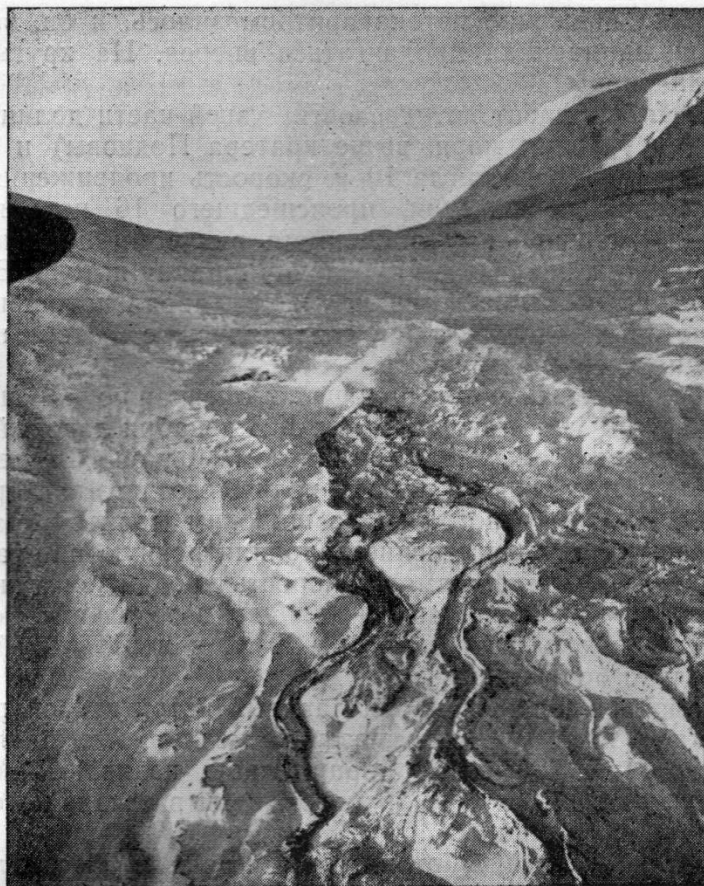


Рис. 6. Лавовый поток в январе 1967 г. В правой части первая порция, в левой — вторая, излившаяся после усиления извержения.

Фото И. Т. Кирсанова

К 13 октября поток прошел еще 1,5 км вниз по долине. В фронтальной части ширина его достигала 250 м, мощность — 4—5 м, скорость продвижения — 8—10 м/час (в боковых частях — 2—3 м/час). На фронте потока особенно отчетливо прослеживался характер движения лавы. Центральная, наиболее пластичная лава, несущая всю глыбовую, уже застывшую часть породы, как бы выдавливалась из массы потока, иногда повисала в виде карниза, подворачивалась вниз и отрывалась в виде отдельных глыб, оставляя в средней части вытягивающиеся клочья. При ударе молотком лава ковалась, поэтому отбить образец было трудно. Нижние и верхние слои потока представляли собой уже застывшие обломки различного размера, причем верхний слой в отдельных местах был значительно мощнее нижнего. В верхнем слое крупные глыбы были часто приварены к средней пластичной части потока. На отдельных участках пластичная лава в потоке не просматривалась, продвижение его происходило путем обрушения глыб. Температура лавы в пластичных разностях при ярко-оранжевом свечении колебалась в пределах 1000—1025°, снижаясь на отдельных участках до 950°.

14 октября лавовый поток достиг пологой части долины р. Киргурич, и мощность его стала резко увеличиваться, достигая в отдельных местах 20—30 м. Продвижение фронтальной части приобрело следующий характер. Вначале узкий язык покрывал осевую часть долины, затем на

пологом участке движение потока притормозилось, и он, заполнив все понижения, вновь начинал продвигаться вперед. На крутых участках отмечались лавопады.

В конце октября фронт потока достиг узкой части долины р. Киргурич (800 м над уровнем моря, выше кратера Подкова) и стал заполнять ее. Мощность его достигла 10 м, скорость продвижения — 7 м/час.

После усиления извержения, происшедшего 16 ноября, основная часть лавы, вытекавшей из бокк, двумя рукавами прошла восточнее предыдущей порции, значительно увеличив ширину потока. В начале нового цикла поток, особенно в верхней части, давал довольно много ответвлений, которые впоследствии соединялись с основным потоком, образуя единую его поверхность.

К 21 ноября лавовый поток подошел к окончанию моренных холмов и расход его в этом месте был  $1 \text{ м}^3/\text{сек}$ . К 3 декабря лавовый поток спустился до шлакового конуса перед кратером Подкова. Встретив препятствие в виде старого лавового потока, излившегося из кратера Белянкина, основная часть восточного рукава широким фронтом стала продвигаться к северо-востоку, постепенно заполняя ровную площадку, расположенную ниже моренных холмов. Скорость продвижения лавового потока в основном русле равнялась 5—6 м/час, в боковых — до 3 м/сутки.

Мощность его здесь достигала 15—20 м, в центральной части она была значительно больше.

Уже в первой половине декабря лавовый поток второй порции полностью перекрыл первую и узким языком медленно спускался вниз по долине р. Киргурич. Последние порции лавы, изливающиеся из бокк, уже не доходили до конца потока и застывали в средней его части, постепенно наращивая мощность.

К 5 января продвижение потока в его истоке и фронтальной части полностью прекратилось, и поверхность его в большей своей части покрылась снегом (рис. 6).

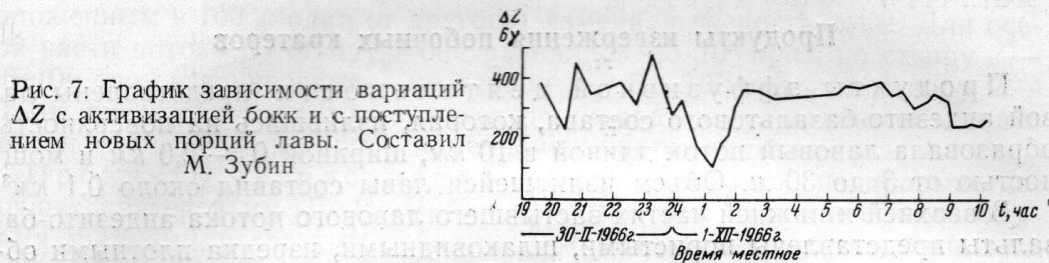
### Явления, сопровождавшие извержение

Сейсмические явления. После прорыва побочных кратеров сейсмический режим вулкана резко изменился. Вулканические землетрясения, предвалявшие извержение, к 8 октября полностью прекратились и появилось непрерывное вулканическое дрожание, а также множество взрывных землетрясений.

Вулканическое дрожание сопровождало излияние лавы из нижней части участка прорыва, полностью отражая характер этого излияния. До 22 октября оно было непрерывным. С появлением пульсаций в лавовых бокках и уменьшением количества поступающей лавы оно в начале резко, затем плавно стало снижаться, вплоть до нового усиления извержения.

Взрывные землетрясения сопровождали извержение верхних эксплозивных кратеров, также полностью отражая характер их деятельности. С 10 по 15 октября они проявлялись наиболее интенсивно, суточная энергия их достигала  $3 \cdot 10^{16}$  эрг, энергия отдельных взрывов равнялась  $2 \cdot 10^{15}$  эрг. В конце деятельности эксплозивных кратеров количество взрывов сократилось до одного в сутки, энергия же их составила до  $10^{16}$  эрг.

Усиление извержения, отмечавшееся в ноябре, вновь предварялось и первое время сопровождалось вулканическими землетрясениями. Магнитные явления. В ночь с 30 ноября на 1 декабря в 250—300 м от прорыва, на борту лавового потока М. И. Зубиным были проведены наблюдения вариаций  $\Delta Z$  магнитного поля. Измерения проводились магнитометром М-2 с ценой деления в 35  $\gamma$ . На графике  $\Delta Z$  наглядно показаны значительные по амплитуде (до 250  $\gamma$ ) и длительные по времени вариации  $\Delta Z$  (рис. 7).



В результате наблюдений была установлена тесная связь этих вариаций с активностью лавовых бокков и излиянием лавы. Повышение значений  $\Delta Z$  совпадало по времени с понижением уровня лавы в потоке, а уменьшение — с повышением уровня и фонтанированием бокка.

Кроме сейсмических и магнитных явлений, извержение побочных кратеров Ключевского вулкана сопровождалось явлениями электрическими, ударно-воздушными волнами, «горением» вулканических газов и вторичными взрывами на потоке.

Электрические явления можно было наблюдать в виде линейных молний в эруптивных тучах и огней святого Эльма, возникавших в окрестностях участка прорыва в момент интенсивных пеплопадов.

Ударно-воздушные волны ощущались человеком по резкому перепаду давления и воздушным толчкам. В активную стадию извержения их можно было наблюдать при взрывах почти над всеми кратерами.

«Горение» газов было выражено периодическим появлением синего пламени с желтоватым ореолом над кратером шлакового конуса.

Вторичные взрывы отмечались на лавовом потоке в местах перекрытия многолетних снежников и небольших ледников.

## ПРОДУКТЫ ИЗВЕРЖЕНИЯ

### Продукты извержения вершинного кратера

Продукты извержения вершинного кратера были представлены explosивным материалом и газами. Крупный обломочный материал, вулканические бомбы и шлаки разгружались в пределах вершины, мелкий материал распространялся на значительное расстояние. Пеплопады с интенсивностью от 1,5 до 18,5 г/м<sup>2</sup> в час периодически отмечались в пос. Козыревск, Ключи и на сейсмической станции Апахончич. Общий вес выпавшего пепла за весь период извержения составил около 4 млн. т. По химическому составу пепел относится к андезито-базальту, причем содержание SiO<sub>2</sub> меняется с расстоянием от 52,4% на кромке кратера до 54,1% в 30—50 км от центра извержения (пос. Козыревск, Ключи).

Более подробно сейсмический режим извержения описан в статье П. И. Токаева в настоящем сборнике.

Газы вершинного кратера, судя по анионной части водных вытяжек из пепла, были представлены  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , с явным преобладанием последнего. Кроме водных вытяжек, была проанализирована проба газов, отобранная на кромке кратера во время извержения, в которой обнаружены (в %):  $\text{CO}_2$ —2,1;  $\text{CH}_4$ —0,15;  $\text{F}$  (в поглотителе) — 0,01;  $\text{HCl}$ —0,1;  $\text{SO}_2$ —6,6 и  $\text{H}_2\text{S}$ —11,7 (объемн. %) и следы  $\text{H}_2\text{O}$ .

В фумаролах, как и в водных вытяжках из пепла, наблюдается явное преобладание сернистых газов над галоидными.

### Продукты извержения побочных кратеров

Продукты эффузивной деятельности представлены лавой андезито-базальтового состава, которая, излившись на поверхность, образовала лавовый поток длиной в 10 км, шириной 0,3—2,0 км и мощностью от 3 до 30 м. Объем излившейся лавы составил около 0,1 км<sup>3</sup>.

В верхней и нижней частях застывшего лавового потока андезито-базальты представлены пористыми, шлаковидными, изредка плотными обломками, в средней — плотными, почти афанитовыми разностями пород.

Петрографические особенности андезито-базальтов данного извержения изучены неполно. Лавы первого цикла излияния имеют порфировую структуру с гиалопилитовой структурой основной массы. Вкрапленники составляют 15—20% породы и представлены плагиоклазом, оливином и единичными зернами пироксенов. Величина зерен плагиоклаза варьирует от 0,3 до 1,2 мм (состав — лабрадор с 57—58% An). Зерна оливина достигают 0,3—0,5 мм и представлены магнезиальной разностью с содержанием фаялитовой составляющей до 14—20%, которая слегка увеличивается в процессе извержения. В целом же состав и структура пород в этот период не меняются (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав пеплов вершинного кратера Ключевского вулкана и пеплов и лавы побочных кратеров им. Б. И. Пийпа, %

№ пробы	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{F}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}$	$\text{MnO}$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{O}^-$	$\text{H}_2\text{O}^+$	$\text{P}_2\text{O}_5$	Сумма
2	54,10	1,65	18,38	2,87	5,23	0,23	4,62	8,04	8,44	0,88	0,12	0,65	0,17	100,38
14	52,40	1,33	17,88	3,24	5,80	0,27	6,05	7,90	3,24	1,20	0,08	0,53	0,14	100,10
1п	52,46	1,31	17,93	2,93	5,86	0,29	4,76	8,34	3,79	1,30	0,02	0,31	0,13	99,43
2п	52,48	1,31	17,82	2,68	5,86	0,25	5,43	8,80	3,70	1,17	0,08	0,32	0,13	100,04
16	53,06	1,28	17,26	3,71	5,46	0,26	4,52	8,32	3,55	1,29	0,06	0,71	0,13	99,61
31	52,12	1,27	17,80	2,52	6,32	0,26	5,71	8,24	3,53	1,20	0,08	0,21	0,30	99,59

Примечание. 2 — пепел вершинного кратера пос. Ключи; аналитик Милованова; 14 — пепел, отобранный на кромке вершинного кратера; 1п. 2п — лава первого цикла извержения прорыва побочных кратеров; 16 — пепел, отобранный на сейсмической станции Апахончич; 31 — пепел, отобранный у прорыва побочных кратеров; аналитик Н. Р. Русакова.

При изучении характера излияния лавы была замечена четкая зависимость вязкости лавы от ее газонасыщенности.

В первые дни извержения над лавовым потоком наблюдалось бесцветное марево. Поток двигался широким фронтом и имел глыбовое строение. На поверхности его в крупных блоках, раскаленных до 1000°, совершенно отсутствовали признаки пластичности лавы. Постепенно разваливаясь с поверхности, кусочки пород стекали в виде «сухого» песка, раскаленного до соломенно-желтого, иногда белого свечения.

С поступлением более газонасыщенной лавы (на поверхности потока стали появляться и лопаться лавовые пузыри, активизировалась эксплозивная деятельность кратеров, в лавовых бокках периодически стали появляться фонтаны раскаленной лавы) несколько увеличилась скорость продвижения ее вниз по склону. В потоке образовались узкие глубокие русла с довольно ровной поверхностью и четко выраженными поперечными валами в конце потока.

Во втором цикле извержения А. А. Пронин и В. А. Дрозниин геодезическим методом (замер скоростей движения лавы по двум створам, расположенным в 100 м один от другого) измерили вязкость лавы. Для осевой части потока по створу 1 она равнялась  $4,3 \cdot 10^6$  пуаз, по створу 2 —  $6,6 \cdot 10^7$  пуаз; для краевых — по створу 1 —  $5,8 \cdot 10^7$  пуаз, по створу 2 —  $10 \cdot 10^7$  пуаз. Такое различие вязкости, по-видимому, можно объяснить разной температурой лавы в измеряемых частях потока.

Продукты эксплозивной деятельности на прорыве побочных кратеров им. Б. И. Пийпа представлены вулканическими бомбами, шлаками, угловатыми обломками плотных пород, лапиллями, вулканическим песком и пеплом.

Вулканические бомбы типа «хлебной корки», плоских «лепех», сложно закрученных форм, шлаки и лапилли целиком слагают шлаковый конус, расположенный в нижней части трещины прорыва. Диаметр этих образований колеблется от долей сантиметров до 1,5 м. Объем шлакового конуса примерно равен  $0,002 \text{ км}^3$ .

Обломки плотных лав, вулканический песок и пепел слагают насыпные валы, окружающие верхние эксплозивные воронки. Размер этих обломков несколько меньше предыдущих и колеблется в пределах от долей миллиметра до 0,3—0,5 м. Объем насыпных валов составляет  $0,004 \text{ км}^3$ . Кроме того, более мелкий обломочный материал — вулканический песок и пепел — распространен на значительном расстоянии от центра извержения (до 50 км). Наиболее интенсивное выпадение пепла наблюдалось в период с 6 по 30 октября. В радиусе 0—15 км интенсивность выпадения достигала  $5,5—95 \text{ г/м}^2$  в час, а в отдельные моменты увеличивалась до  $225 \text{ г/м}^2$  в час. Вес выпавшего пепла за все время извержения составил примерно 4 млн. т. По химическому составу он также относится к андезито-базальту (табл. 1).

Сведения о составе газов эксплозий в данном извержении базируются на анализах проб атмосферных осадков и водных вытяжек из пеплов.

В первые дни извержения в осадках с пеплом, отобранных в 0,5, 4,5 и 11,5 км от участка прорыва, в анионной части преобладал  $\text{Cl}^-$ , в водных вытяжках из пеплов —  $\text{F}^- + \text{Cl}^-$  (табл. 2). После 9—12 дней извержения в сортированной части газов как вблизи прорыва, так и на некотором удалении наблюдалось четко выраженное преобладание иона  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Выделение газов на потоке появилось после стабилизации отдельных его участков, а также в связи с поступлением более газонасыщенной порции лавы.

Наиболее обильные газо-паровые выделения наблюдались в центральной, остановившейся части потока и на бортовых валах. К 17 октября здесь парили целые участки площадью 10—12 м<sup>2</sup> и больше. Резкий удушливый запах иногда затруднял работу. Температура газов на выходе колебалась в пределах 150—200°, глубже в потоке породы были нагреты до 800°. Химический состав газов этих фумарол представлен в табл. 3.

Вблизи выходов газов на поверхности глыб к этому времени наблюдалось большое количество возгонов. В некоторых местах они имели

Таблица 2

Химический состав атмосферных осадков и водных вытяжек из пеплов, отобранных во время извержения в окрестностях прорыва побочных кратеров им. Пийпа в октябре 1966 г.  
Аналитики Е. К. Серафимова, С. Ф. Попова

Компоненты	Правый борт лавового потока к северу от прорыва; пепел						Осевая часть пеллопада в 300 м от Нижнего кратера к востоку от участка прорыва					
	12.X			14.X			7.X			26.X		
	мг/л	мг-экв	мг-экв%	мг/л	мг-экв	мг-экв%	мг/л	мг-экв	мг-экв%	мг/л	мг-экв	мг-экв%
<b>Катионы</b>												
H <sup>+</sup>	H/o	—	—	H/o	—	—	H/o	—	—	H/o	—	—
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3,00	0,17	9,82	2,40	0,12	5,06	6,00	0,33	21,71	15,00	0,83	22,19
Na <sup>+</sup>	9,28	0,40	23,12	11,55	0,50	21,40	7,59	0,33	21,71	18,62	0,81	21,66
K <sup>+</sup>	4,88	0,04	2,33	2,80	0,07	2,95	H/o	—	—	H/o	—	—
Ca <sup>2+</sup>	12,02	0,60	34,68	24,05	1,20	50,63	9,62	0,48	31,58	31,06	1,55	41,44
Mg <sup>2+</sup>	6,32	0,52	30,05	5,84	0,48	20,26	4,62	0,38	25,00	6,69	0,55	14,71
Fe <sup>3+</sup>	H/o	—	—	H/o	—	—	H/o	—	—	H/o	—	—
Fe <sup>2+</sup>	H/o	—	—	H/o	—	—	H/o	—	—	H/o	—	—
Al <sup>3+</sup>	H/o	—	—	H/o	—	—	H/o	—	—	H/o	—	—
Сумма . . . . .	32,40	1,73	100,00	46,34	2,37	100,00	27,83	1,52	100,00	71,37	3,74	100,00
<b>Анионы</b>												
Cl <sup>-</sup>	11,35	0,32	17,78	25,17	0,71	26,39	18,44	0,52	34,21	13,47	0,38	10,16
F <sup>-</sup>	12,00	0,63	35,00	18,00	0,95	35,32	2,00	0,08	5,26	10,00	0,53	14,17
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	32,66	0,68	37,78	40,00	0,83	30,86	4,11	0,08	5,26	100,40	2,09	55,88
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10,37	0,17	9,44	12,20	0,20	7,43	51,26	0,84	55,27	45,15	0,74	19,79
Сумма . . . . .	66,38	1,80	100,00	95,37	2,69	100,00	21,36	1,52	100,00	169,02	3,74	100,00



зональное строение. Непосредственно на поверхности глыб возгоны представляли собой буровато-оранжевые скопления мелкокристаллического строения (хлориды и фториды Fe, Al, качественный анализ). На их поверхности в виде щеток толщиной 0,3—0,8 мм отлагался нашатырь. По периферии наблюдались тонкие пленки желтовато-бурого цвета, по-видимому, гидроокислы железа. В других местах возгоны были представлены только нашатырем.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Извержение Ключевского вулкана 1966 г. относится к разряду межпароксизмальных извержений вулканского и вулканско-стромболианского типа с прорывом побочных кратеров в наиболее активную стадию извержения.

2. Извержение побочных кратеров, по сравнению с предыдущими (Горшков, 1954; Пийп, 1958; Токарев, 1966), произошло при несколько иных обстоятельствах. Так, перед прорывом побочных кратеров вершинный находился в стадии активного извержения вулканско-стромболианского типа. Кроме того, вулканические землетрясения появились за 3,5 суток перед прорывом, причем сильные землетрясения, достигнув максимума в первые сутки, держались примерно на таком уровне вплоть до начала извержения, а количество слабых постепенно увеличивалось при снижении суммарной их энергии.

3. Кроме сейсмических явлений, данное извержение предварялось и сопровождалось электромагнитными и магнитными возмущениями. Природа их пока еще не совсем ясна. Первые связаны непосредственно с прорывом побочных кратеров, вторые проявились в процессе извержения и были тесно связаны с активизацией бокк и излиянием лавы.

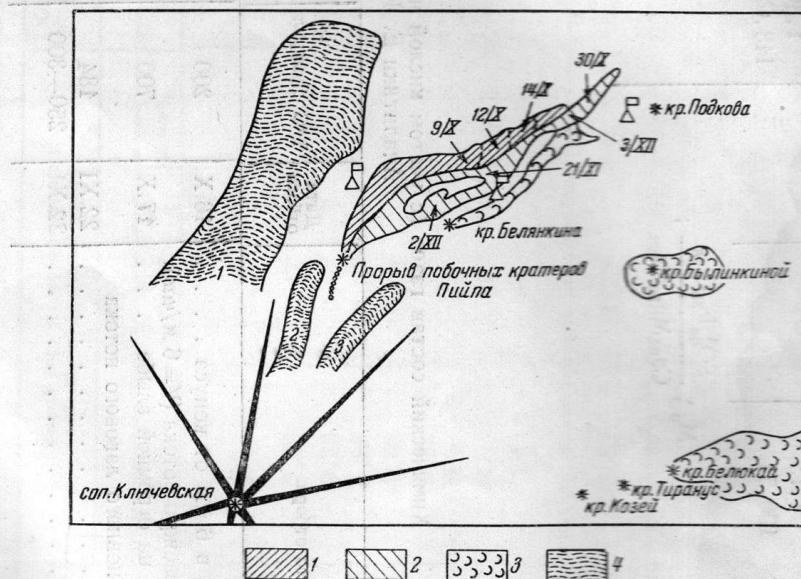


Рис. 8. Схема расположения прорыва побочных кратеров им. Пийпа и лавового потока на северо-восточном склоне Ключевского вулкана

1 — лава первого цикла извержения; 2 — лава второго цикла извержения; 3 — лавовые потоки предыдущих извержений побочных кратеров; 4 — ледники (цифры на рисунке: 1 — Эрмана, 2 — Влодавца, 3 — Сопочный)

4. Прорыв побочных кратеров им. Пийпа произошел по радиальной трещине субмеридионального простираания, северный конец которой повернул на северо-восток.

5. В процессе извержения в верхней части трещины активно проявлялся взрывной характер деятельности, в нижней — взрывно-эффузивный, что свидетельствовало о единстве подводящего канала для всех действовавших жерл.

6. В результате извержения на склоне вулкана образовались: восемь взрывных воронок диаметром от 50 до 200 м, шлаковый конус высотой 80 м с кратером на вершине, несколькими лавовыми бокками в северо-восточном подножии и лавовый поток, длина которого достигала 10 км, ширина 0,3—2,0 км и мощность менялась от 3 до 30 м (рис. 8).

На склоны вулкана за все время извержения излилось около 0,1 км<sup>3</sup> лавы и было выброшено примерно 0,01 км<sup>3</sup> обломочного материала.

7. В первые моменты извержения, несмотря на активные взрывы в верхних взрывных кратерах, лава была сильно обеднена газами.

В водных вытяжках из пеплов и атмосферных осадках наблюдалось преобладание иона Cl<sup>-</sup> или Cl<sup>-</sup>+F<sup>-</sup>. Через 9—12 дней извержения во всех анализах стал преобладать ион SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Гущенко И. И. и др. Терминальное извержение Ключевского вулкана в 1961—1963 гг.— Бюлл. вулканол. станций, № 37, 1964.
- Горшков Г. С. Сейсмические наблюдения в 1949 г.— Бюлл. вулканол. станции, 1954, № 19.
- Ермаков В. А., Меняйлов И. А., Никитина Л. П. Состояние действующих вулканов Северной Камчатки.— Бюлл. вулканол. станций, № 40, 1966а.
- Ермаков В. А., Трубицин С. М. О кольцевых обрушениях в кратере Ключевского вулкана.— Бюлл. вулканол. станций, № 40, 1966б.
- Набоко С. И. Извержение Билукая, побочного кратера Ключевского вулкана в 1938 г.— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, вып. 5, 1947.
- Пийп Б. И. Особенности извержений Ключевской сопки.— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, вып. 13, 1958.
- Токарев П. И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М., изд-во «Наука», 1966.