

## Глава III

# ЮЖНЫЙ ПРОРЫВ

### ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Извержение на Южном прорыве (ЮП) вместе с извержением на Северном прорыве (СП) и вершинными обрушениями Плоского Толбачика составили совокупность событий, названных Большим трещинным Толбачинским извержением (БТТИ). БТТИ в целом заслужило оценку «крупнейшего базальтового извержения за все историческое время в Курило-Камчатском поясе» [Федотов, 1978, с. 3]. При этом доля ЮП составляет более половины общего количества вещества, выброшенного через жерла БТТИ, — 54,6 вес.% (57%, если учитывать только лаву и тефру, без газовой фазы).

Если извержение СП продолжалось с короткими перерывами лишь около 2,5 месяцев, то эффузивно-эксплозивная деятельность на Южном прорыве длилась непрерывно почти 1 год 3 месяца.

Главной особенностью извержения Южного прорыва был его резко выраженный эффузивный характер. Лава ЮП по высокой текучести и характерной морфологии потоков близка к лавам извержения гавайского

типа. Извержение ЮП — единственное крупное историческое извержение такого рода, наблюдавшееся на территории СССР .

В главе III особое внимание уделено описанию эффузивного процесса. Хронология извержения дана по возможности подробно, чтобы позволить читателю оценить заключения авторов и сделать собственные выводы. В заключительных разделах главы рассмотрены основные особенности истечения жидких базальтовых лав и возникающие при нем структуры, в частности горизонтальные и слабонаклонные лавоводы (лавовые трубы). Закономерности возникновения и развития шлакового конуса и других пирокластических сооружений изложены в тесной связи с описанием эффузивных событий.

Значительная часть времени ЮП пришлось на зимний период, что вызвало определенную специфику в изучении извержения. Обязательная программа наблюдений за ходом извержения выполнялась сменными отрядами по 4—7 человек, которых доставляли в район извержения вертолетом на срок обычно до 1—1,5 месяцев. Эта программа включала ведение дневника извержения, определение баланса его продуктов, определение свойств текущей лавы (ее температуры и вязкости), отбор образцов лав, бомб, шлаков и пеплов для петрологических и петрохимических исследований, отбор проб газа.

Настоящая глава написана преимущественно по материалам этих исследований. Помимо наблюдений за ходом извержения, проводились большие специализированные исследования.

Краткие описания извержения ЮП содержатся в ряде публикаций [Чирков, 1976; Геншафт, Ермаков, 1976; Федотов и др., 1978а; Гусев, Зеленев, Шилин, 1979; Леонов, Храмов, 1979; Цюрупа, 1979а; Цюрупа, 1979б; Fedotov et al., 1980a]. Отдельные работы были посвящены физике различных сторон процесса извержения: питанию из глубинного очага [Федотов, 1982], дегазации [Ковалев, Слезин, 1979а], вулканическим взрывам [Ковалев, Самойленко, Сторчеус, 1980], дипамике и реологии лавовых потоков [Андреев, 1978; Слезин, 1981], а также результатам аэрофотограмметрических исследований [Гусев и др., 1979]. Списки публикаций по результатам некоторых специализированных исследований (геофизических, геодезических, геохимических, петрологических) приведены в соответствующих главах. По мере упоминания данных конкретных исследований читатель отсылается к этим главам, и только там, где это необходимо, — непосредственно к первоисточникам. В хронологическом описании широко использованы неопубликованные отчеты Института вулканологии, а также дневники исследователей извержения, отмеченные в примечаниях. Авторы приносят благодарность составителям отчетов и дневников, а также фотографам Института вулканологии Н. П. Смелову и В. А. Подтабачному за хорошую съемку Южного прорыва.

## 1. ПРЕДВЕСТНИКИ, ВРЕМЯ И МЕСТО ЮЖНОГО ПРОРЫВА

Северный прорыв затих 15 сентября 1975 г., на 72-й день извержения (гл. I). В последнюю педелю его деятельности, начиная с 7 сентября, резко увеличилась подвижность лавы и упала до  $6 \times 10^4$  Пз ее вязкость. Это отражало изменение состава вулканитов (см. рис. VI.17). Вместо высокомагнезиальной базальтовой магмы умеренной щелочности к поверхности

<sup>1</sup> Среди последних Камчатских извержений близким к гавайскому было извержение на восточном склоне Ключевской сопки в марте 1980 г. [Иванов, Кирсанов, 1980]. Но это был незначительный эпизод: излилось всего 31,5 тыс. м лавы [Двигалю, Кирсанов, Селезнев, 1981].

стали поступать продукты ее смешения с магмой иного, субщелочного высокоглиноземистого типа (гл. VI). Извержение приняло пульсирующий характер: серии мощных взрывов чередовались с паузами в деятельности кратера и конуса.

Менее чем через сутки после прекращения деятельности Северного прорыва и затухания вулканического дрожания резко возросли количество и энергия землетрясений, эпицентры которых группировались к югу от СП в зоне длиной до 10 км (гл. XII). Этот рой землетрясений, четвертый по счету в извержении, начался с первых чисел сентября. 15—16 сентября число землетрясений показывало: внедрение магмы продолжается и возможен новый прорыв. Однако непосредственными признаками начинающегося нового прорыва оказались резкий спад числа и энергии землетрясений и возобновление вулканического дрожания (см. рис. XII.6).

Эруптивный процесс начался одновременно с возобновлением вулканического дрожания 17 сентября 1975 г. в 20 ч по Гринвичу, что соответствует 8 ч утра 18 сентября по камчатскому времени. Дрожание было обнаружено на сейсмостанциях Толбачик и Левый Толбачик наблюдателями В. В. Степановым и В. В. Фешиным. В 9 ч утра (здесь и далее время камчатское) эти данные были переданы по радиосвязи в лагерь вулканологов, а в 13 ч В. Н. Андреев и Г. Б. Флеров, находясь на маршруте, увидели голубоватый магматический газ в районе ЮП. Между 13 и 14 ч группой А. М. Чиркова был совершен облет ЮП на вертолете и произведена фото- и киносъемка местности (рис. III.1, см. цв. вкл.). К 15 ч к ЮП подошла наземная группа.

Так же как СП, ЮП (см. рис. В.1) произошел в полосе шлаковых конусов, вытянутой вдоль трещинной зоны шириной в среднем 5—10 км и протягивающейся к юго-западу от вершины Плоского Толбачика примерно на 40 км. Место прорыва расположено в 10 км на 210° ЮЗ, в 500 м ниже по рельефу от Первого конуса СП и приблизительно в 1 км на запад от горы Каменистой, шлакового вулканического конуса, имеющего возраст от 400 до 1000 лет (гл. V). Абсолютная отметка места прорыва — 380 м. Район прорыва представляет собой равнину, полого (3—4°) наклонную к западу — юго-западу, сложенную разновозрастными лавами голоценовых извержений (непосредственно в месте прорыва — лавами Каменистой). Микрорельеф поверхности типичен для базальтовых лавовых полей аа и пахоэное. Это кекурник — хаос лавовых глыб, гребней, трещин и впадин на поверхности лавовых потоков. Мезоформы рельефа представлены отдельными лавовыми потоками и шлаковыми конусами. Промежуточными между микро- и мезоформами являются лавовые своды, валы и гребни выдавливания. К провалам лавовых сводов и лавовых труб, поперечник которых достигает десятков метров, иногда приурочены круглогодичные или сезонные озера. В лавовых пещерах нередки скопления льда и талой воды. Поверхностных водотоков в районе ЮП нет. Преобладает мелкокустарниковая и травянистая разреженная растительность; широко распространены разомкнутые куртины кедрового стланика и отдельно стоящие деревца рябины, березы, лиственницы и ольхи. На шлаковых конусах и наиболее старых лавовых потоках встречаются «островки» лиственничного леса, ограниченные более молодыми лавовыми потоками.

## 2. ХРОНОЛОГИЯ ИЗВЕРЖЕНИЯ

### 1 — 13-е сутки (18—30 сентября 1975 г.)<sup>2</sup>

*Трещинное, существенно эффузивное извержение при постепенном сокращении длины действующего участка трещины и превращении вытянутого шлакового вала в подковообразный конус*

Во время первых наблюдений с воздуха длина эруптивной трещины составляла около 200 м. Через день она увеличилась до 600 м [Федотов и др., 1977.]. Трещина была прямолинейной, ориентированной на ССЗ (аз. 330—340°). Днем 18 сентября на ней уже действовали десятки отдельных жерл, неравномерно распределенных вдоль трещины. Из них выбрасывалось свыше 30 фонтанов лавы (см. рис. III.1). Отдельные бомбы взлетали вверх на 100—150 м. Лава вытекала по всей длине трещины и распространялась к западу, под уклон местности, со скоростью 20—30 м/ч.

В течение всего первого дня количество действующих жерл сокращалось, а деятельность оставшихся усиливалась. В конце дня В. Н. Андреев отметил лишь 4—5 действующих кратеров, но бомбы из них взлетали уже на высоту до 300—400 м. Быстро растущие шлаковые сооружения увеличивались в объеме и, сближаясь, объединялись. К 20 сентября они уже слились в хорошо различимый вытянутый вал (рис. III.2).

Восточнее трещины пирокластика накапливалась на неподвижном основании, а к западу от нее падала на поверхность движущейся лавы и уносилась лавовыми потоками под уклон местности. Поэтому первоначальные шлаковые вал и конус были асимметричными, с относительно пологими западными и крутыми восточными склонами (рис. III.3). По мере сокращения активного участка трещины уже к концу 18 сентября основной объем лавы изливался из ее южной части. По наблюдениям 19 и 20 сентября взрывная активность в северной части трещины также была слабее, чем в южной.

Однако до окончательного отмирания северного конца трещины было еще далеко. Начиная с 22 сентября лава прорывалась из-под края шлаковой постройки, лавовые языки разрушали ее и выносили на себе отдельные части появившегося конуса. В осевой части потоков отмечалась скорость до 0,12—0,13 м/с (800 м/ч). Истечение лавы из южного конца трещины в это время не прекращалось, хотя заметно ослабевало. В целом южный конец трещины оставался более активным, чем северный.

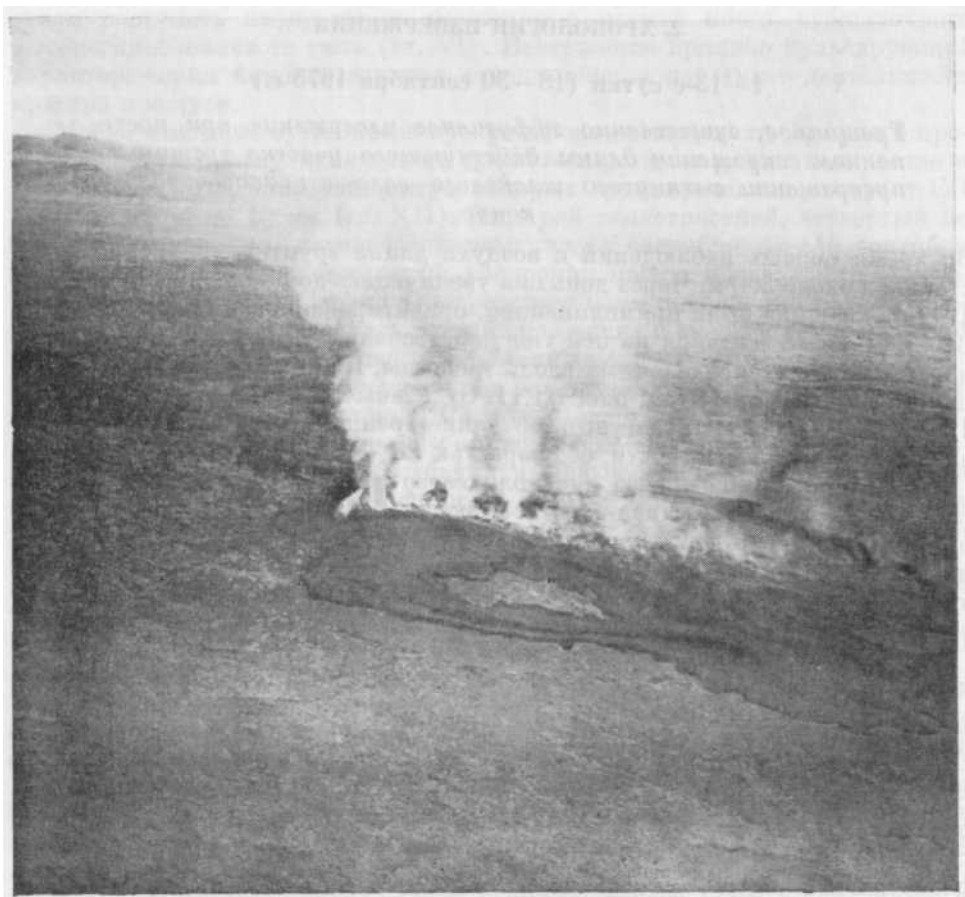
Площадь лавового поля за первые двое суток извержения составила 1,7 км<sup>2</sup> (табл. III.1). Если принять среднюю мощность лавового покрова равной 4 м, то средние расчетные расходы за первые двое суток составят около 40 м<sup>3</sup>/с.

22 сентября южный край асимметричного, открытого на запад шлакового конуса достиг высоты примерно 70 м. По наблюдениям Е. К. Мархиной, поднявшегося в этот день на его вершину, наиболее активным был южный участок трещины. Здесь располагался исток лавового потока, скорость истечения лавы достигала 1 м/с. Изливаясь, лава образовывала обширное озеро, из которого медленно вытекала двумя рукавами.

Из другого жерла на том же южном участке происходили наиболее интенсивные взрывы; бомбы взлетали высоко в воздух, время падения их на конус составляло 8—10 с.

<sup>2</sup>

Здесь и далее все периоды времени отсчитываются от 18 сентября. Описание сделано по дневникам В. Н. Андреева (18—24 сентября), А. А. Разиной (18—19 и 27 сентября), Е. К. Мархиной (19—26 сентября) и устным сообщениям Г. Б. Флорова.



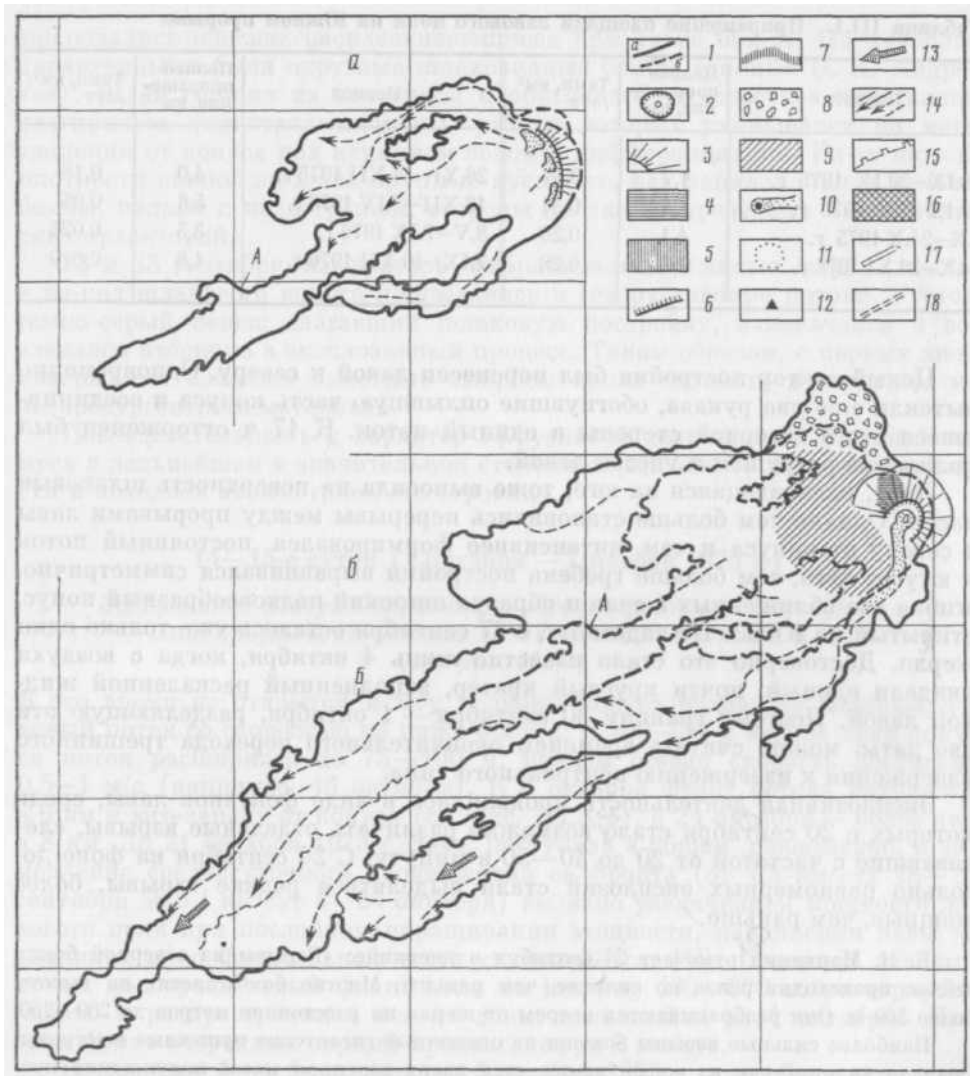
**Рис. III.2.** Вид на Южный прорыв с северо-запада 20 сентября 1975 г. на третьи сутки его деятельности (схема на рис. III.3, а). Аэрофотоснимок

Видны три жерла, слева от них шлаковый вал, справа — лавовые потоки, текущие на юго-запад. Вдоль русла главного потока выделяются газы

На площадку размером  $4 \text{ м}^2$  в южной части конуса в среднем в минуту падала одна крупная (более 30 см в поперечнике) бомба. Фронтальные части лавовых потоков высотой 4—5 м двигались с небольшой скоростью. На северном фланге лавового поля скорость продвижения фронта лавы составляла от 20 до 30 м/ч, на южном языке эта скорость в первые двое суток была в среднем более 60 м/ч. Лава сформировала за эти два дня поток длиной около 3 км (см. рис. III.3, а).

23 сентября северная часть шлакового конуса была разрушена. Е. К. Мархинин записывает в дневнике: «Наконец-то конус с северной стороны окончательно разорвало, раздвинуло на две половины, и в том месте, где раньше был склон конуса, образовалась новая бокка, в которой непрерывно происходят сильные взрывы, «поливающие» восточную внутреннюю часть конуса обрывками полужидкой лавы. Из основания бокки изливается новый лавовый рукав. В сотне метров от истока он течет со скоростью 0,25 м/с. Поток несет на себе осыпанные черным шлаком, но горячие внутри (трещины светятся ярко-красным огнем) фрагменты разрушенной части конуса. Величина их иногда достигает 10—15 м в поперечнике. Стоит неумолчный грохот взрывов, но все же слышен шелест и потрескивание текущей лавы...

Лава взломала конус около 12 ч 30 мин. В это время, стоя в сотне метров от конуса, мы ощущали исходящие от него интенсивные подземные толчки».



**Рис. III.3.** Вулканохронологические схемы (составил по материалам дешифрирования аэрофотоснимков и наземным наблюдениям А. И. Цюрупа)

а — на 20 сентября 1975 г.; б — на 4 октября 1975 г. Ориентировка линий условной сетки: север — юг; восток — запад, сторона квадрата сетки — 1 км.

Условные обозначения общие для рис. III.3; III.7; III.10; III.12; III.23; III.26; 1 — границы шлаковых сооружений и лавового поля (А — на 20 сентября, Б — на 4 октября 1975 г.); 2 — кратер п эксплозивное жерло; 3 — шлаковый конус; 4 — участок шлакового конуса, подвергшийся деформациям; 5 — участок шлакового конуса, не полностью залеченный после деформаций; 6 — обрывы и сбросы; 7 — шлаковые валы; 8, 9 — зоны на поверхности лавового поля, покрытые чехлом пирокластических «морен»: 8 — разобленным, 9 — сплошным (шлаковые холмы); 10 — бокка и время деятельности (арабская цифра — № бокки; римская — № зоны); точками условно обозначена область свечения; 11 — группа сближенных бокк; 12 — горнитос или ревушая фумарола; 13 — главное направление течения лавы; 14 — структурные линии на поверхности лавового поля (границы единичных потоков, бортовых валов, линии течения); 15 ступени лавового поля; 16 — лавовое плато с прослоями и внедрениями жидкой лавы; 17 — опоясывающая расщелина; 18 — кровля крупнейших лавоводов

Таблица III.1. Приращение площади лавового поля на Южном прорыве

Период	Полное приращение, км <sup>2</sup>	Темп, км <sup>2</sup> /сут	Период	Полное приращение, км <sup>2</sup>	Темп, км <sup>2</sup> /сут
18.IX–20.IX 1975 г.	1,7	0,57	26.XI–18.XII 1975 г.	4,0	0,18
20.IX–4.X 1975 г.	4,4	0,31	18.XII–8.IV 1976 г.	5,6	0,05
4.X–24.X 1975 г.	4,1	0,20	8.V–7.IX 1976 г.	3,5	0,023
24.X–26.XI 1975 г.	9,2	0,28	7.IX–10.XII 1976 г.	1,8	0,019

Целый сектор постройки был перенесен лавой к северу. Одновременно вытекли еще два рукава, обогнувшие оплывшую часть конуса и соединившиеся с его северной стороны в единый поток. К 17 ч отторженец был полностью разрушен и унесен лавой.

Лава, изливающаяся на юге, тоже выносила на поверхность шлаковые массы. Однако чем больше становились перерывы между прорывами лавы к северу от конуса и чем интенсивнее формировался постоянный поток к югу от него, тем больше гребень постройки выравнивался симметрично, огибая два сближенных жерла и образуя широкий подковообразный конус, открытый на ЮЮЗ. По-видимому, с 27 сентября осталось уже только одно жерло. Достоверно это стало известно лишь 4 октября, когда с воздуха увидели единый, почти круглый кратер, заполненный раскаленной жидкой лавой. Поэтому границу 30 сентября — 1 октября, разделяющую эти две даты, можно считать временем окончательного перехода трещинного извержения к извержению центрального типа.

Эксплозивная деятельность проявлялась в виде фонтанов лавы, среди которых с 20 сентября стало возможно различать отдельные взрывы, следовавшие с частотой от 20 до 40—50 в минуту. С 24 сентября на фоне довольно равномерных эксплозий стали выделяться редкие взрывы, более мощные, чем раньше.

Е. К. Мархинин отмечает 24 сентября в дневнике: «Взрывы из северной бокки сейчас происходят реже, но сильнее, чем раньше. Многие бомбы летят па высоту более 300 м. Они разбрасываются веером от жерла на расстояние метров до 200—250.

Наиболее сильные взрывы похожи на одиночные гигантские пушечные выстрелы. Сначала видишь, как из жерла взмывает вверх огненная масса полужидких кусков лавы, потом слышишь нечто подобное пушечному выстрелу и ощущаешь взрывную волну, от которой вздрагивает конус. При таких взрывах полотно палаток заметно вибрирует на расстоянии более 2-х километров» .

Подобные взрывы были «прозрачными», т. е. выбрасывали сжатый газ, почти не содержащий пепла. Отдельные взрывы являлись лишь газовыми продувками без бомб и сопровождалась вначале резкими хлопающими звуками, а затем монотонным шелестом.

По уменьшению равномерного фонтанирования можно было судить об обособлении отдельных расширенных жерл. 23—24 сентября произошла некоторая смена составов лавы, что могло сказаться на режиме извержения (гл. IV).

Бомбы первого периода имели эллипсоидную, цилиндрическую и ленточную формы, были покрыты продольными бороздками. Наряду с ними

<sup>3</sup> Подобная стромболианская деятельность конуса Южного прорыва хорошо показана в кинофильмах, названных во Введении.

наблюдались плоские расплескивающиеся при ударе бомбы. Но наиболее характерными были округлые шлаковидные бомбы (данные В. И. Андреева). Шлак состоял из пластинок и орехоподобных сростков кристаллов плагиоклаза (кристаллолапилли), размер которых уменьшался по мере удаления от конуса под влиянием эоловой дифференциации. Из-за низкой плотности шлака довольно крупные куски его, как лапилли, так и мелкие бомбы, падали с подветренной стороны далеко за пределами баллистических траекторий.

22 и 23 сентября из кратера выбрасывались мощные клубы пепла, а из-под шлакового конуса прорывались к северу лавовые потоки. Густой темно-серый пепел, слагавший шлаковую постройку, измельчался и вовлекался вторично в взрывной процесс. Таким образом, с первых дней извержения наиболее заметные выбросы пепла состояли в основном из авторезургентного материала.

Последовательность и характер эффузивной деятельности Южного конуса в дальнейшем в значительной степени определялись уклоном местности и исходной асимметрией его строения.

#### 14—15-е сутки (1 октября — 7 ноября 1975 г.)<sup>4</sup>

*Эффузивное извержение подковообразного конуса. Периодические прорывы вторичных лавовых бокк в зонах I и II (см. рис. III.4)*

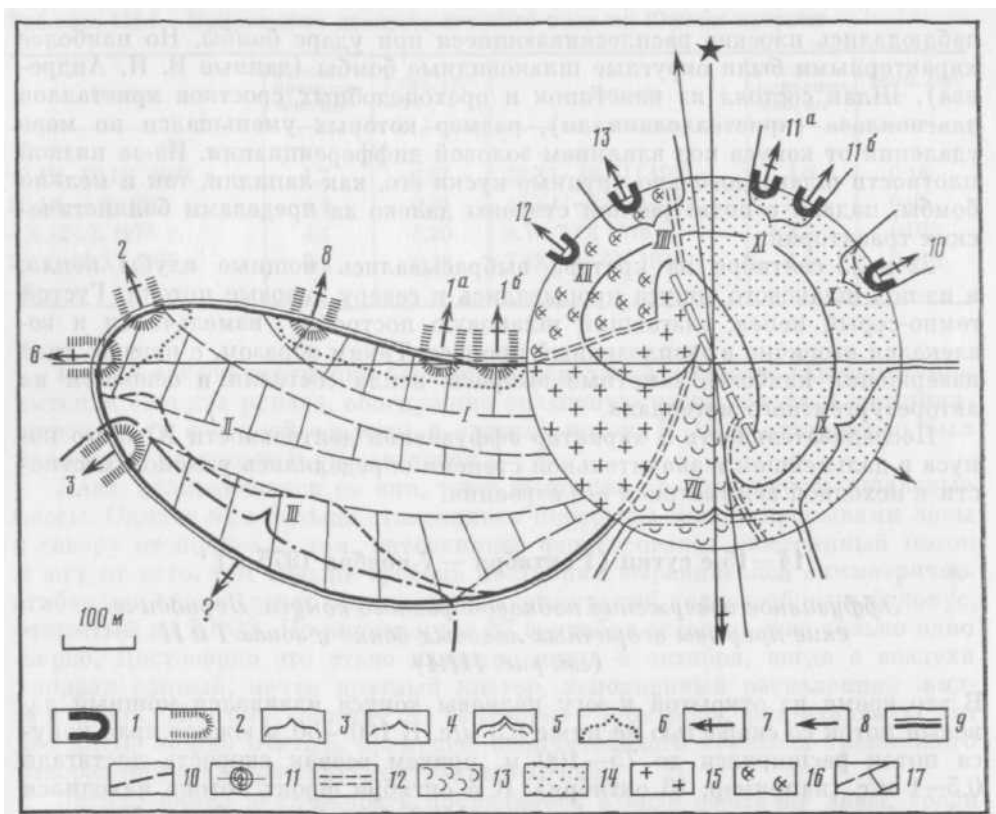
В это время из открытой к югу подковы конуса изливался мощный лавовый поток со скоростью не ниже 0,3 м/с. В 100—50 м южнее края конуса поток расширялся до 75—100 м, причем осевая скорость достигала 0,5—1 м/с (например, 16 октября). К 4 октября фронт потока находился в 6 км к юго-западу от конуса (см. рис. III.3, б), а 24 октября — более чем в 8 км. До 21 декабря 1975 г. лава поступала в общем равномерно, и замедление среднесуточного продвижения ее фронта (от 1,5 км/сут 18—20 сентября до 0,1 км/сут 4—24 октября) вызвано увеличением мощности лавового поля при послойном наращивании мощности, накоплении лавы во впадинах и во фронтальной части ступеней (гл. IV). Основной лавовый поток, надстроив левый фланг поля на ширину 400—600 м, развернулся вправо и распространился поверх лавы, излившейся до 4 октября. При этом фронт очередных порций продвигался до 2 км/сут.

Нумерация бокк была введена 8 ноября 1975 г. для облегчения привязки наблюдений. Она сохранена на схеме (рис. III.4) и в описании (арабские цифры). Зоны лавоистечения, использующие самостоятельные лавоводы, обозначены римскими цифрами, совпадающими (во избежание путаницы) с наименьшим из номеров бокк.

14 октября из-под северного края шлаковых холмов в зонах I и II прорвались короткие языки плоскоглыбовых лав длиной 75—100 м, шириной 30—40 м и толщиной до 5—6 м. 21—22 октября прорывы повто-

<sup>4</sup> Дневники А.А. Разиной (1-7 октября), А. Е. Шанцера (10—26 октября), А. Л. Иванова (26 октября - 5 ноября), А. И. Цюрупы (5—7 ноября).

<sup>5</sup> В данной главе первичными лавовыми бокками называются те, которые имеют прямую связь с жерлом или питающим каналом шлакового конуса. Они располагаются обычно у подножия конуса или под склоном пирокластических холмов. Вторичными лавовыми бокками называются источники потоков, выходящих из лавовых труб, лавовых пещер и резервуаров-накопителей, лежащих в толще лавового поля. Вторичные бокки разбросаны по всему лавовому полю вплоть до расстояния 9 км от конуса.— *Примечание отв. ред.*



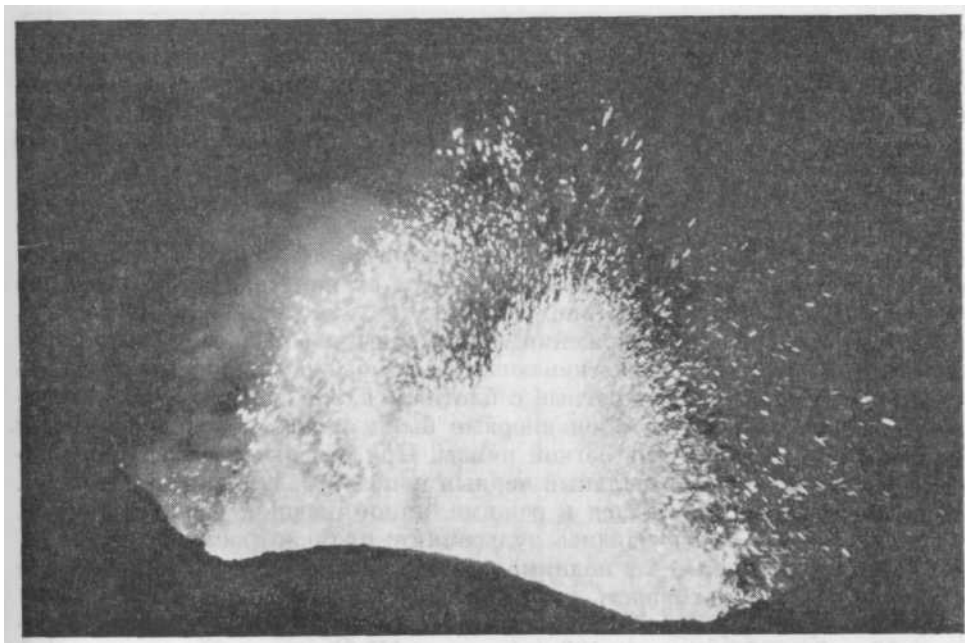
**Рис. III.4.** Схематический план расположения бокк и зон лавоистечения и строения шлаковых холмов и основания конуса. Составил А. И. Цюрупа

2 — первичные бокки; 2 — зоны лавоистечения, соответствующие первичным боккам; 3 — главные вторичные лавовые бокки; 4—6 — зоны лавоистечения, соответствующие вторичным боккам: 4 — с частой миграцией бокк, 5 — на месте открытого потока, длительно вытекавшего из подковообразного конуса, 6 — с устойчивым возобновлением бокк на одних и тех же местах; 7, 8 — *расходы лавы*: 7 — большие, 8 — малые; 9 — граница шлаковых холмов; 10 — предел ее отступления; 11 — контуры основания шлаковой постройки на разных стадиях ее развития: удлиненный вал, подковообразный конус и симметричный конус; 12 — границы секторов в основании конуса; 13 — многослойный лавовый сектор; 14 — шлаковый сегмент; 15 — двуслойный лаво-шлаковый сектор (лавы со сплошным покровом шлаков); 16 — моногенный лавовый сектор с разобшенным, грядово-холмистым чехлом шлаковых холмов; 17 — грабены, развившиеся на поверхности шлаковых холмов над кровлей лавоводов

рились, лава была более подвижной, длина потоков достигла 500 м, толщина — 2—3 м. Питание этих языков осуществлялось по крайней мере по двум самостоятельным лавоводам (лавовым трубам), скрытым под шлаковыми холмами. 26—27 октября здесь же произошел еще один прорыв, в результате которого за несколько дней образовалось ответвление лавового поля длиной около 3 км.

Лавоводы появлялись и действовали и за пределами шлаковых холмов. На аэрофотоснимках от 24 октября в 5,5 км от конуса видны две бокки, питание которых, судя по материалам дешифрирования, осуществлялось по лавоводам длиной не менее 1 км.

Лавоводы под шлаковыми холмами и лавоводы за пределами шлаковых холмов отличались друг от друга характером кровли. В первом случае кровля состояла из мощных пирокластических накоплений (лавоводы



**Рис. III.6.** Стромболианская деятельность в кратере конуса Южного прорыва. Снимок С. А. Федотова

Высота всплесков лавы и выбросов бомб равна 100—150 м над кромкой кратера, частота взрывов около 5/мин. Начало ноября 1975 г.

I рода), а во втором — из уже застывшей лавы (лавоводы II рода). Эта разница отражала и различия в способе образования лавоводов, о чем подробнее будет сказано ниже, в разделах «Пирокластическая аккумуляция» и «Строение и особенности образования лавовых потоков и лавоводов».

Многочисленные крупные и мелкие вторичные бокки и отдельные выжимки лавы составляли особенность всего лавового поля ЮП. Постоянные наблюдения велись только за бокками, появившимися возле конуса или по северному краю лавового поля. Однако для изучения особенностей эффузивного процесса этого оказалось недостаточно.

13 и 16 октября были выполнены оценки расходов лавы в потоке. Они оказались равными соответственно 45 и 73 м<sup>3</sup>/с. Среднесуточный прирост площади лавового поля упал по сравнению с первыми двумя сутками деятельности ЮП примерно в 2 раза (см. табл. III.1).

Надо отметить, что оценка по размерам лавового русла (ширине и глубине) и скорости течения давала видимые, кажущиеся расходы, которые не учитывали скрытые расходы под твердой поверхностью. Полные расходы представляют собой сумму видимых и скрытых составляющих. Практически их среднее значение (рис. III.5, см. цв. вкл.) удалось оценить фотограмметрически только после того, как извержение закончилось. Примечательно, что видимый расход лавы оказался в среднем меньше половины полного расхода.

Чем больше рос конус, тем сильнее суживался разрыв подковы: шло образование шлаково-аглоutinатного вала, достраивающего северо-западный край подковы. Вал рос на поверхности восточного участка шлаковых холмов, примыкавшего к жерлу. Поверхность вала рассекали раскаленные субмеридиональные трещины, возникающие при расползании вала в ши-

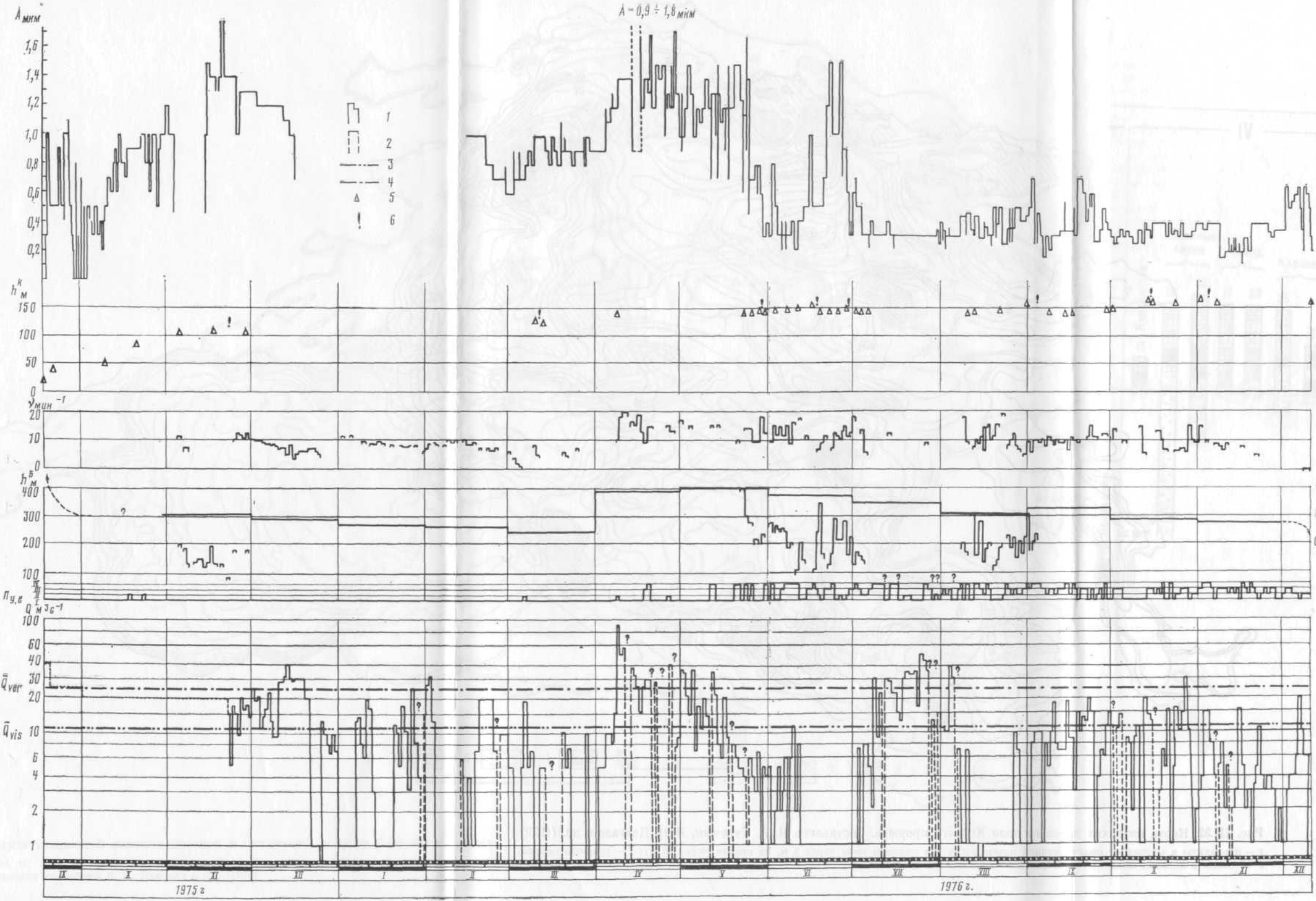


Рис. III.5. Изменение характеристик извержения по суткам  
Снизу вверх:

- $Q$  — гистограмма расходов лав:
  - 1 — измеренных;
  - 2 — экстраполированных;
  - 3 — среднее из измеренных значений расходов лав ( $Q_{\text{виз}} = 10,6 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ );
  - 4 — средний расход лав, исходя из аэрофотограмметрически измеренных объемов ( $Q_{\text{виз}} = 25 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ ); масштаб логарифмический.
- Пу. е. — выделения черного пепла в условных единицах:
- I — нет,
  - II — редкомало,
  - III — с перерывами,
  - IV — непрерывноимного.
- $h_B/M$  — максимальная высота выброса бомб (м) по инструментальным наблюдениям (в ноябре 1975 г., в июне и августе 1976 г.), масштаб указан на ординате слева;
- $W$  — произведение высоты выбросов (м) на частоту (мин.), выраженное в долях от максимального значения и усредненное по месяцам, масштаб указан на ординате справа?
- $\nu$  — частота выбросов (взрывов).
- $h^k$  — высота конуса:
- 5 — над исходной поверхностью;
  - 6 — эпизоды понижения конуса;
  - A — средняя амплитуда вулканического дрожания на сейсмостанции Толбачик

ротном направлении, к западу. Значит, под валом имелись лавоводы, способные пропускать значительные количества лавы, а сам вал обладал определенной текучестью. Для проверки этих качественных наблюдений положение западного (фронтального) уступа шлаковых холмов было привязано теодолитной съемкой в ноябре 1975 г. Повторная привязка в мае 1976 г. показала, что уступ продвигался на запад со средней скоростью 1 м/сут (без учета разрушения уступа, т. е. реальное движение могло быть быстрее).

Выбросы из жерл бывали вертикальными и наклонными, под углом 60—70° к горизонту. Бомбы падали в 1 км от конуса. Частота взрывов составляла 30—60 в минуту (рис. III.6).

Для этого периода извержения характерны две разновидности бомб: крупные полужидкие расплескивающиеся бомбы, падавшие преимущественно вблизи кратера, и округлые с плотным ядром и несколькими пористыми оболочками. 11 октября впервые были отмечены редкие обломки белой и светло-серой очень легкой пемзы. При отдельных, особенно мощных взрывах появлялся обильный черный пепел (10, 17, 20 и 23 октября). 20 октября кратер извергался в режиме, напоминавшем режим гейзеров. В течение 10—20 с наблюдались пульсации с промежутками в 1—3 с. Затем над кратером за 2—4 с поднимался высокий лавовый фонтан, и далее в течение 33—40 с активность снижалась.

10 октября конус достиг высоты (относительно его северного подножия) 50 м, 7 ноября — около 100 м (см. рис. III.5).

## 52 —94-е сутки (8 ноября — 20 декабря 1975 г.)<sup>6</sup>

### *Образование замкнутого конуса. Эффузивная деятельность вторичных бокк в зонах I—IV. Беспепловые эксплозии вершинного кратера*

В ночь на 8 ноября основной лавовый поток, вытекавший из кратера подковообразного конуса, остановился и вскрылись мощные вторичные лавовые бокки 2 и 4 (рис. III.7, а). Что произошло раньше, что позже, установить не удалось. Ко времени перестройки уровень стояния лавы внутри конуса достиг отметки 50 м над его подошвой. Лава переливалась через шлаково-агглютинатный вал на высоте около 10—20 м над поверхностью шлаковых холмов. Гидростатическое давление лавовой колонны непременно должно было передаваться на лавовое основание шлаковых холмов.

Бокка 2 вскрылась в обрыве шлаковых холмов. От конуса по их поверхности к бокке протягивалось гребневидное поднятие, разбитое серией продольных трещин, стенки которых были разогреты до красного каления. Бокка 4, у которой действовало несколько выходов, находилась в 1200 м западнее конуса. От края шлаковых холмов ее отделяла обширная поверхность свежезастывших плоскоглыбовых лав. Структуры течения этих лав прослеживались по крайпей мере на 500 м, до южной кромки шлаковых холмов, где время от времени происходили прорывы бокки 3 (см. рис. III.7, а). Одна из вторичных бокк показана на рис. III.8.

Закономерности появления и миграции бокк становятся более ясными, если сопоставить описание со схемами (см. рис. III.7, 10, 11, 22 и 24), помня при этом, что крупная бокка способна наращивать толщину лавового поля вокруг себя со скоростью до 1—2 м в сутки (подробнее см. ниже, в этой же гл.).

<sup>6</sup> Дневники А. И. Цюрупы (8 ноября - 10 декабря); полевые отчеты И. А. Меняйлова, В. И. Андреева, В. Н. Шапаря, В. А. Базанова, Б. И. Самойленко (с 10 декабря).

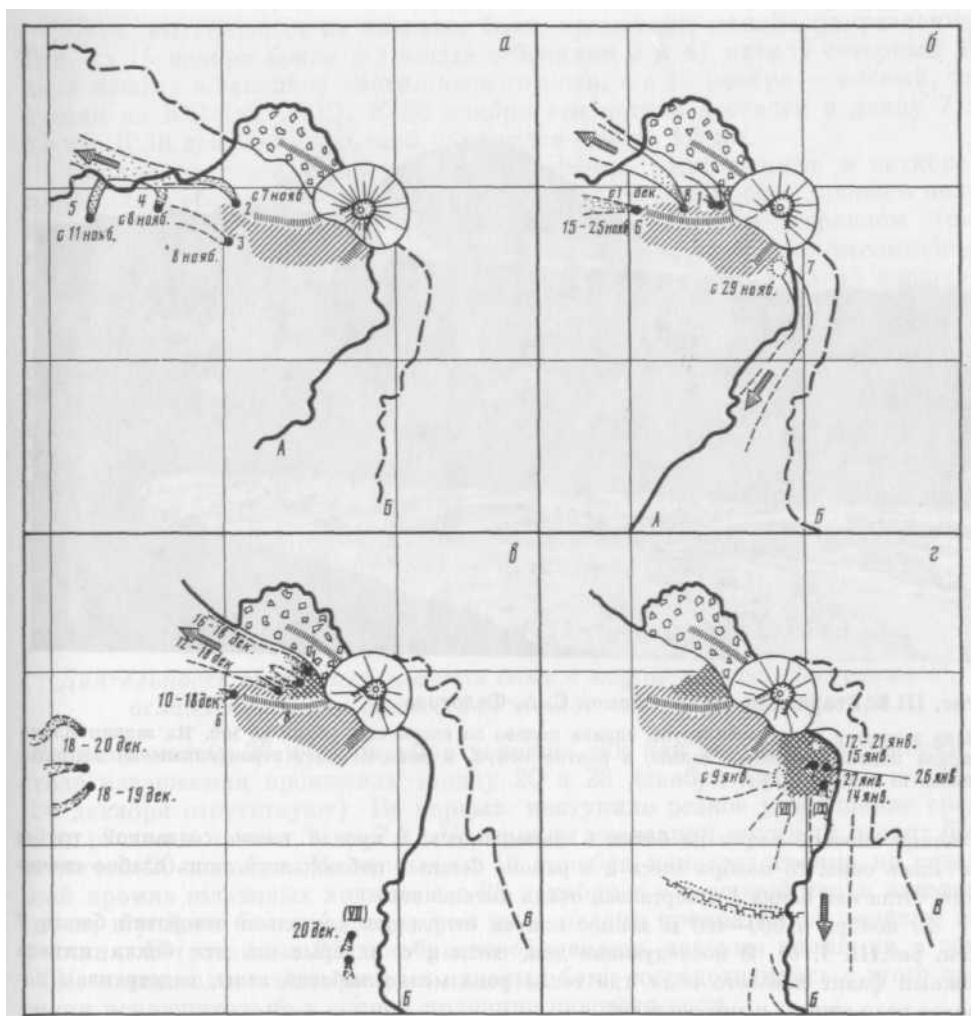


Рис. III.7. Вулканохронологические схемы

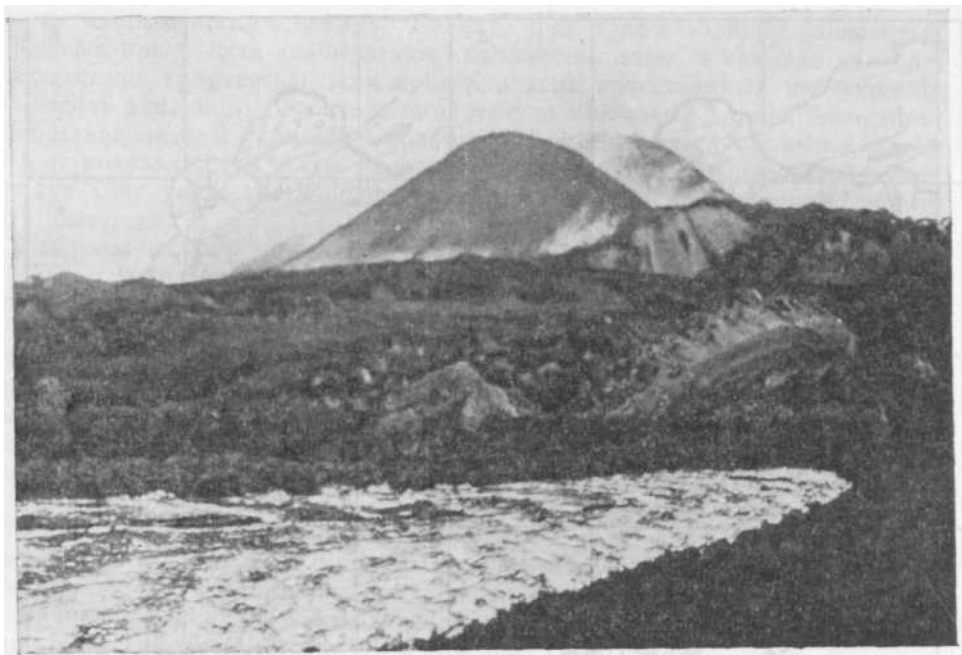
а — на 8—11 ноября 1975 г.; б — на 19 ноября — 2 декабря 1975 г.; в — на 12—20 декабря 1975 г.; г — на 12—27 января 1976 г.; условные обозначения см. на рис. III.3;  
 границы: А — на 4 октября; Б — на 26 ноября 1975 г.; В — на 9 апреля 1976 г.

11 ноября приблизительно в 400 м западнее бокки 4 вскрылась еще одна вторичная лавовая бокка 5, у которой также действовало несколько отверстий. Лава бокк 2, 4 и 5 соединялась в единый поток и наращивала северную часть лавового поля.

15 ноября на западном окончании шлаковых холмов открылась и начала интенсивно извергаться бокка 6, а видимые расходы бокк 2 и 4 уменьшились. Бокка 5 действовала с прежней силой, но ее лава изменила направление течения и двигалась теперь на юго-запад, больше не смешиваясь с лавой бокк 2 и 4.

17 ноября прекратилась деятельность бокки 4, 19 ноября — бокки 2, хотя отдельные малодобитные прорывы из нее наблюдались еще 22—23 ноября. Лавовые трубы, питающие бокку 5, надстраивались, и поэтому выходы лавовых речек смещались относительно своего начального положения к юго-западу.

Утром 24 ноября в непосредственной близости к конусу, в северной кромке шлаковых холмов, двумя выходами возобновила свою деятельность бокка 1. Видимое ис-



**Рис. III.8.** Вторичная бокка. Снимок С. А. Федотова

Лава вытекает из лавовой трубы справа налево со скоростью около 0,5 м/с. На заднем плане справа пирокластические холмы, в центре конус, в котором идет стромболианская деятельность. 12 ноября 1975 г.

течение лавовой речки из бокки 6 замедлилось, в кровле вновь созданной трубы осталось окно. 25 ноября здесь и в районе бокки 5 наблюдалось лишь слабое свечение, тогда как бокка 1 извергалась очень интенсивно.

29 ноября в 300—400 м южнее конуса открылось несколько отверстий бокки 7 (см. рис. Ш, 7, б). В последующие дни, хотя и с перерывами, эта бокка питала южный фланг лавового поля, где текла река мелкоглыбовой лавы, надстраивая лавовое поле вширь, к юго-востоку.

Бокка 1 с 30 ноября постепенно снижала активность и окончательно заглохла 3 декабря, по 1 декабря прорвалась бокка 8, расположенная в нескольких десятках метров дальше, между бокками 1 и 2. 7 декабря возобновилась деятельность бокки 2, а с 10 декабря периодически — бокки 6. В ночь на 18 декабря бокки этой зоны истощились в несколько этапов, последний ручеек лавы вытек из бокки 6, ширина его была 1 м и глубина — несколько сантиметров. Возобновление лавоистечения произошло из нескольких выходов в районе бокки 4 днем 18 декабря. К 20 декабря часть выходов отмерла и здесь осталось только 2 выхода (см. рис. Ш.7, б, в).

Лавовые выходы в зоне VII к 20 декабря сместились к югу, на 1,5 км от конуса — на длину питающих их непрерывных лавоводов (см. рис. Ш.7, в).

История района бокки 4 раскрывает варианты механизма образования многослойной структуры лавового поля. В середине ноября здесь изливалась на поверхность лава, очевидно поступавшая из-под южного фланга шлаковых холмов, из зоны III. Затем эта территория была залита лавами из бокки 6, питавшейся из зоны II. Русло потока из бокки 6 преобразовалось буквально на глазах наблюдателей в совершенно закрытый лавовод и прорывы в районе бокки 4 стали происходить именно из этого лавовода; он образовал второй ярус над лавоводами из зоны III, расположенными по диагонали к нему.

Лава, вытекающая из лавовых бокк, временами меняла направление. Так, до 15 ноября бокка 5 (вместе с бокками 2 и 4) питала северный из двух языков в западной части лавового поля, а с 15 ноября — южный, текущий на ЮЗ (аз. 250°). К 26 ноября эти потоки достигли в длину 7 и 8,5 км. К 18 декабря последний удлинился еще на 1,5 км.

Оценки расходов (включая два измерения, выполненные в октябре) составили в среднем 36 м<sup>3</sup>/с. Среднесуточный темп прироста лавового поля несколько уменьшился по сравнению с предыдущим периодом (см. табл. III.1). В условиях почти постоянных расходов это, несомненно, отражает тенденцию к росту лавового поля в толщину, а не по площади (рис. III.9).

Был проведен цикл последовательных теодолитных определений максимальной и средней высоты серий бомбовых выбросов (см. рис. III.5). Максимальная высота полета бомб оказалась очень неустойчивой характеристикой, а средняя высота выбросов (100—150 м) показала некоторое уменьшение эксплозивной активности в течение месяца. Частота взрывов изменялась в пределах от 7 до 40 в минуту. Преобладали эксплозии почти без пепла, с бесцветным или синеватым газом, образующим вместе с фонтанами бомб «стволы пиний». Конденсация белого пара в форме «крон пиний» происходила на высоте 300—500 м над конусом.

### 95—201-е сутки (21 декабря 1975 г.— 5 апреля 1976 г.)<sup>7</sup>

#### *Деятельность вторичных лавовых бокк к югу от конуса. Постепенное ослабление эксплозивной деятельности вершинного кратера*

Граница между 20 и 21 декабря условна, так как заметные изменения в ходе извержения произошли между 20 и 28 декабря (а данные на 21—26 декабря отсутствуют). Во-первых, наступило резкое уменьшение средних расходов лавы с 36 до 7,8 м<sup>3</sup>/с, причем последний крупный расход был отмечен 20 декабря. Во-вторых, с 18 декабря непосредственно по северной кромке шлаковых холмов, а с 28 декабря и в северной части лавового поля, в районе бокки 4, более чем на 4 месяца прекратились лавовые излияния. В-третьих, с 28 декабря возобновились лавовые излияния в зоне VII, и деятельность вторичных лавовых бокк сосредоточилась с этого времени исключительно в южной половине лавового поля.

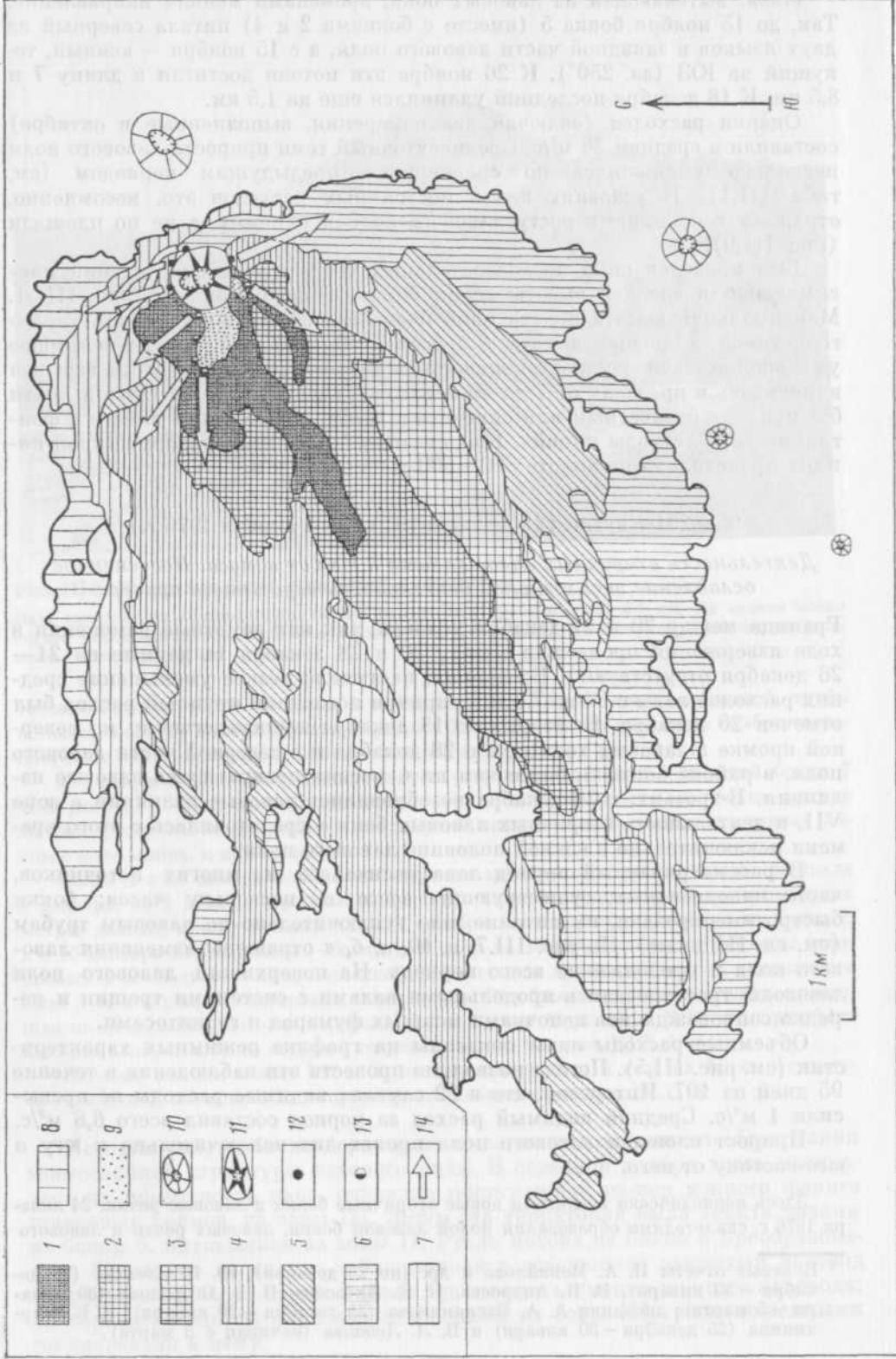
В рассматриваемый период лава изливалась из многих источников, часто малодобитных, существующих всего по несколько часов; бокки быстро мигрировали, их питание шло исключительно по лавовым трубам (см. гл. III ниже). На рис. III.7, г, 10, а, б, в отражены изменения лавового поля в продолжение всего периода. На поверхности лавового поля лавоводы трассировались продольными валами с системами трещин и нередко сопровождалась цепочками мощных фумарол и горнитосами.

Объемные расходы лавы показаны на графике режимных характеристик (см. рис. III.5). Погода позволила провести эти наблюдения в течение 95 дней из 107. Интересно, что в 22 случаях видимые расходы не превысили 1 м<sup>3</sup>/с. Средний видимый расход за период составил всего 6,8 м<sup>3</sup>/с.

Прирост площади лавового поля происходил исключительно к югу и юго-востоку от него.

Здесь периодически возникали новые вторичные бокки и лавовые речки. 24 января 1976 г. свидетелями образования новой лавовой бокки, лавовых речек и лавового

<sup>7</sup> Полевые отчеты И. А. Меняйлова и др. (по 25 декабря), Ю. Б. Слезина (25 декабря — 30 января), В. И. Андреева, Н. Е. Литасова, Н. В. Огородова (30 января — 5 марта); дневники А. А. Овсянникова (25 декабря — 30 января), Е. К. Мархина (25 декабря — 30 января) и В. Л. Леонова (начиная с 5 марта).



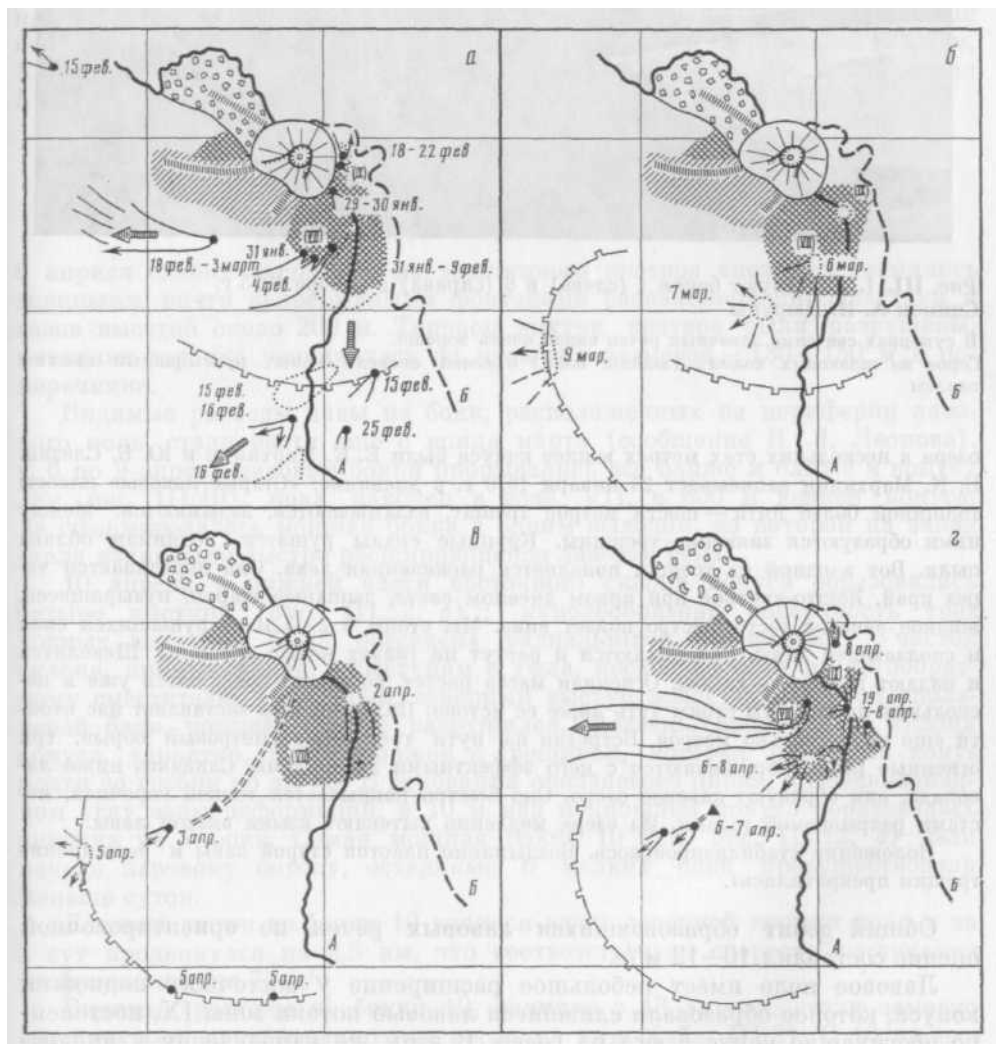
Таб. 20. Геологическая карта Кр. края. Масштаб 1:500 000. Геологическая карта Кр. края. Масштаб 1:500 000. Геологическая карта Кр. края. Масштаб 1:500 000.

0 10

1 KM

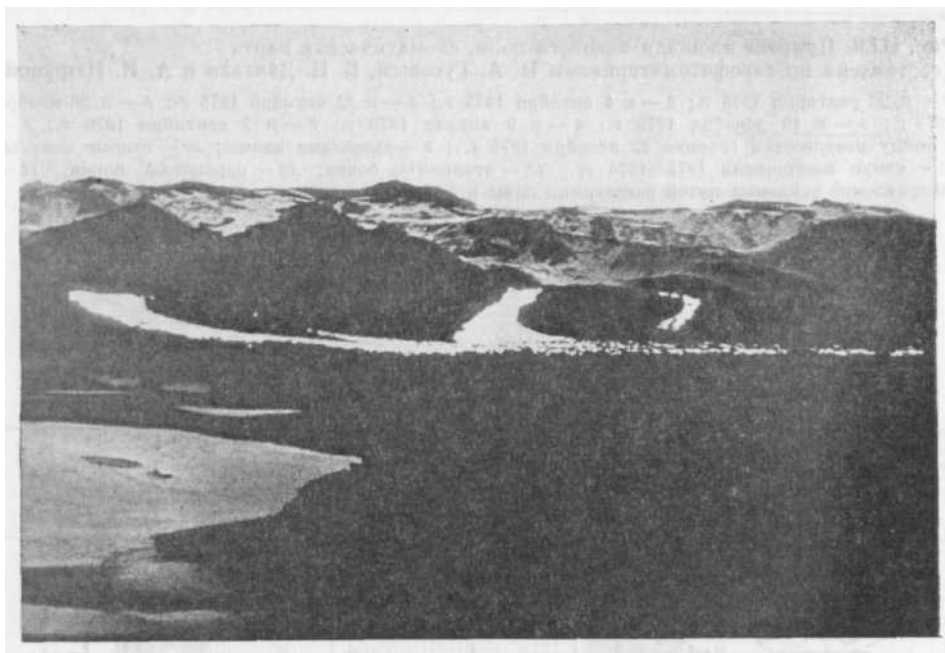
**Рис. III.9.** Прирост площади лавового поля, схематическая карта

(составлена по аэрофотоматериалам Н. А. Гусевым, В. Н. Двигало и А. И. Шюрупой)  
 1— к 20 сентября 1975 г.; 2— к 4 октября 1975 г.; 3— к 22 октября 1975 г.; 4— к 26 ноября 1975 г.; 5— к 19 декабря 1975 г.; 6— к 9 апреля 1976 г.; 7— к 7 сентября 1976 г.; 8— к концу извержения (съемка 22 декабря 1976 г.); 9— шлаковые холмы; 10— старые конусы; 11— конус извержения 1975—1976 гг.; 12— вторичные бокки; 13— первичные бокки; 14— направление основных путей растекания лавы и формирования лавоводов



**Рис. III.10.** Вулканохронологические схемы

*а* — на 29 января — 3 марта 1976 г.; *б* — на 6—9 марта 1976 г.; *в* — на 25 марта — 5 апреля 1976 г.; *г* — на 6—9 апреля 1976 г.; условные обозначения см. на рис. III.3.  
 Границы: *А* — на 26 ноября 1975 г.; *Б* — на 9 апреля 1976 г.



**Рис. III.11.** Действуют бокки 1 (слева) и 8 (справа) в ноябре 1975 г. Снимок А. И. Цюрупы

В сумерках свечение лавочных речек видно очень хорошо.

Серое на шлаковых холмах (задний план) и слева спереди — снег, присыпанный свежим пеплом

озера в нескольких стах метрах южнее конуса были Е. К. Мархинин и Ю. Б. Слезин. Е. К. Мархинин записывает 24 января 1976 г. в дневнике: «Старые лавовые пласты толщиной более пяти — шести метров трещат, взламываются, вздымаются. Между ними образуются зияющие трещины. Крупные скалы рушатся, поднимая облака пыли. Вот в одной из трещин появляется раскаленная лава. Она переливается через край. Желто-красное при ярком дневном свете, дышащее жаром, пузырящееся, жидкое лавовое тесто быстро ползет вниз. Мы стоим в 2—3 м от рушащихся скал и сползающей лавы. Раскрываются и растут на глазах новые трещины. Шевелятся и падают каменные глыбы. Огненная масса растет, ее языки появляются уже в нескольких местах. Мы стоим чуть ниже ее истока. Палящий жар заставляет нас отойти еще на несколько метров. Встретив на пути трех-четырёхметровый обрыв, три огненные речки обрушиваются с него эффектно лавопадами. Сливаясь ниже лавопада, они образуют лавовое озеро. Оно быстро покрывается тонкой корочкой, местами разрываемой газами. Из озера медленно вытекают языки вязкой лавы.

Положение стабилизировалось. Воздымание пластов старой лавы и расширение трещин прекратились».

Общий дебит образовавшихся лавовых речек по ориентировочной оценке составлял 10—12 м<sup>3</sup>/с

Лавовое поле имеет небольшое расширение у восточного подножия конуса, которое образовали слившиеся лавовые потоки зоны IX, постепенно обогнувшие конус с юга на север. В этом же направлении в январь-феврале происходила миграция бокка. Ночью свечение лавы помогало установить их расположение [Цюрупа, 1979,] (рис. III.11). Днем на положение бокка и речек указывал голубой магматический газ, а на участки наступающего фронта потока — дым от горящих кустарников и деревьев.

Среднесуточный темп прироста площади лавового поля составил  $0,05 \text{ км}^2/\text{сут}$  (см. табл. III.1), т. е. примерно  $1/4$  объема, который был характерен для первой половины декабря 1975 г. Площадь лавового поля 8 апреля равнялась  $29 \text{ км}^2$  (см. рис. III.9).

Особенностью эксплозивной деятельности с декабря по апрель было периодическое появление легкой стекловатой пены. В январе она временами покрывала большие площади с подветренной стороны конуса. Иногда над конусом были видны воздушные волны взрывов в виде системы кругов, концентрически расходящихся от центра кратера.

В целом эксплозивная активность постепенно снижалась. Уменьшение ее стало особенно заметно к концу марта (см. рис. III.5), когда большая часть выбросов не достигала кромки кратера. Периодически между взрывами наступали перерывы, которые длились 1—2 мин. Диаметр воронки кратера сократился до 30 м, а в остальной его части образовалась пологая террасированная шлаковая поверхность. Пепловые выбросы были отмечены только 7 марта. 11 марта высота конуса составляла 125,6 м, 7 апреля — 130 м, т. е. прирост его высоты в декабре — марте не превышал 5 м в месяц.

### 202-214-е сутки (6—18 апреля 1976 г.)<sup>8</sup>

#### *Апрельская активизация эксплозивной и эффузивной деятельности. Прорыв первичной бокки 10*

6 апреля слабые эксплозии из вершинного кратера внезапно сменились мощными, почти непрерывными фонтанами раскаленной пирокластики и газов высотой около 200 м. Террасы внутри кратера были разрушены, активная воронка увеличилась до прежних размеров — 130—150 м в поперечнике.

Видимые расходы лавы из бокк, расположенных на периферии лавового поля, стали расти еще с конца марта (сообщение В. Л. Леонова). С 6 по 9 апреля лавовые бокки прорывались все ближе и ближе к конусу (см. рис. III.10), пока наконец в зоне VII, в 600 м южнее конуса, не сформировалась мощная бокка с одним выходом, из которой на запад стала изливаться быстро расширяющаяся лавовая река.

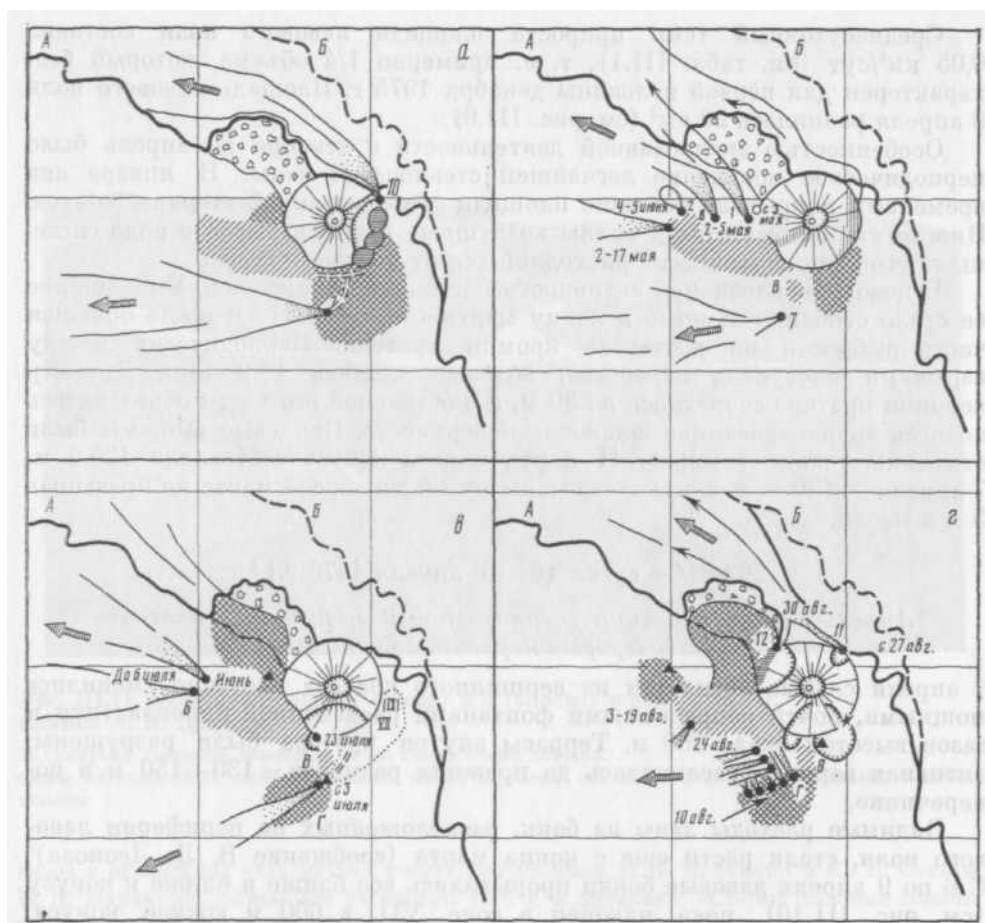
10 апреля в нижней части восточного склона конуса образовались четыре выступа (рис. III.12, а)<sup>9</sup>; куполообразная поверхность трех южных выступов была рассечена радиальными трещинами. Участок склона, примыкающий к выступам с тыла, несколько осел по дугообразному сместителю. Четвертый, северный выступ представлял собой оползневой блок, который быстро разрушился. Оползень, сошедший со склона конуса, вероятно, был сопряжен с трещиной, которая расщепляла коуус почти до гребня по аз. 65. В основании оползневого цирка, в северо-западном углу зоны деформаций, в 10 м над подножием конуса образовалась цепочка из 7 бокк. Самая мощная бокка 10 (см. рис. III.12, а) дала начало лавовому потоку, остальные 6 мелких бокк просуществовали меньше суток.

Лавовый поток из бокки 10 излился вдоль северной кромки поля и за 2 сут продвинулся на 3,5 км, что соответствовало скорости растекания на фронте потока  $73 \text{ м/ч}$ .

Видимые расходы из бокки 10, начиная с 13 апреля, стали заметно уменьшаться, одновременно они росли на юге (табл. III.2). С 16 апреля максимум видимых расходов переместился на южный склон конуса.

<sup>8</sup> Дневники В. Л. Леонова (по 12 апреля), А. А. Овсянникова, В. А. Будникова, Ю. Б. Слезина (начиная с 13 апреля).

<sup>9</sup> Дальнейшее развитие этих деформаций произошло позже (см. рис. XIV.21).



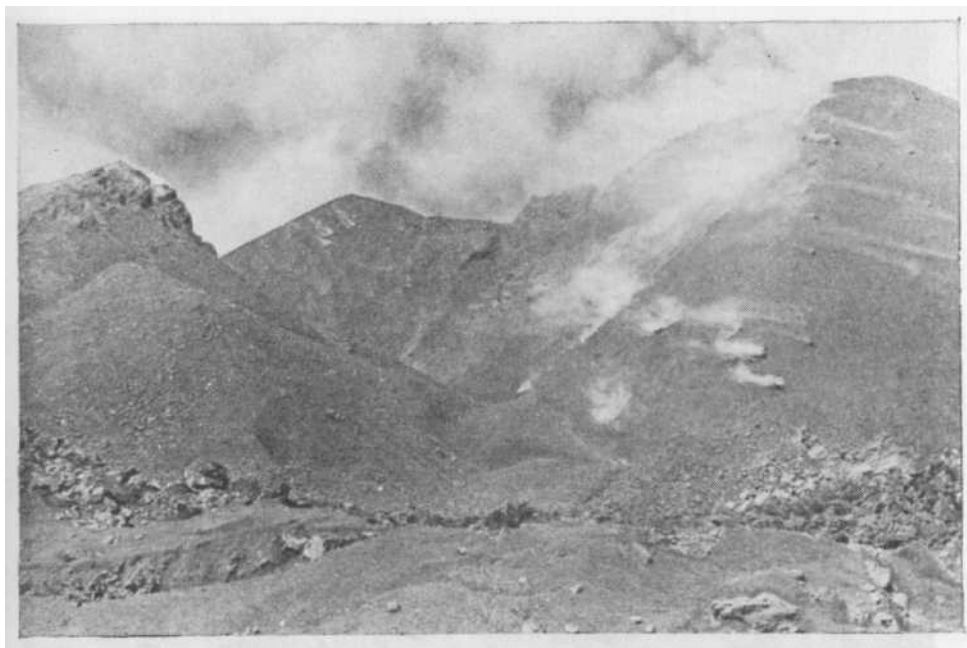
**Рис. III.12.** Вулканохронологические схемы

*а* — на 10 апреля 1976 г.; *б* — в мае 1976 г.; *в* — в июне — июле 1976 г.; *г* — в августе 1976 г.; условные обозначения см. на рис. III.3. Границы: *А* — на 9 апреля 1976 г.

11 апреля на лавовом плато, примыкающем к конусу с юга, было обнаружено дугообразное вздутие, обогнувшее конус. На его гребне прослеживались трещины глубиной 5—7 м и шириной 2—3 м, по которым выдавливалась очень вязкая лава. По-видимому, этот процесс отражал давление конуса на участки пластичной лавы, погребенные под слоями застывших лав и шлаков.

**Таблица III.2.** Взаимозависимость деятельности бокки 10 и бокк зоны VII в апреле 1976 г.

Дата	Суммарный расход лавы, м <sup>3</sup> /с	Расход бокки 10		Расход в зоне VII	
		м <sup>3</sup> /с	% суммарного расхода	м <sup>3</sup> /с	% суммарного расхода
13.IV	42	39	93	3	7
15	32,3	29	90	3,3	10
16	25,7	20	78	5,7	22
17	11,5	1,8	16	9,7	84
18	16,6	0,3	2	16,6	98



**Рис. III.13.** Образование отторженца Верблюд в 10 ч. 19 апреля 1976 г.  
Снимок Ю. Б. Слезина

Топография бокк, расположенных южнее конуса, быстро менялась. До 17 апреля действовала бокка, расположенная к юго-востоку от конуса, в зоне IX, ее лава с 8 апреля текла на запад. С 17 апреля этот поток питала уже бокка, прорвавшаяся строго на юг от конуса, там, где на схеме показана бокка 7 (см. рис. III.12, а). Участок лавового плато между этой боккой и подножием конуса был разрушен: разбит трещинами с вертикальными и горизонтальными подвижками — и 18 апреля по частям унесен лавовым потоком, хлынувшим из-под конуса.

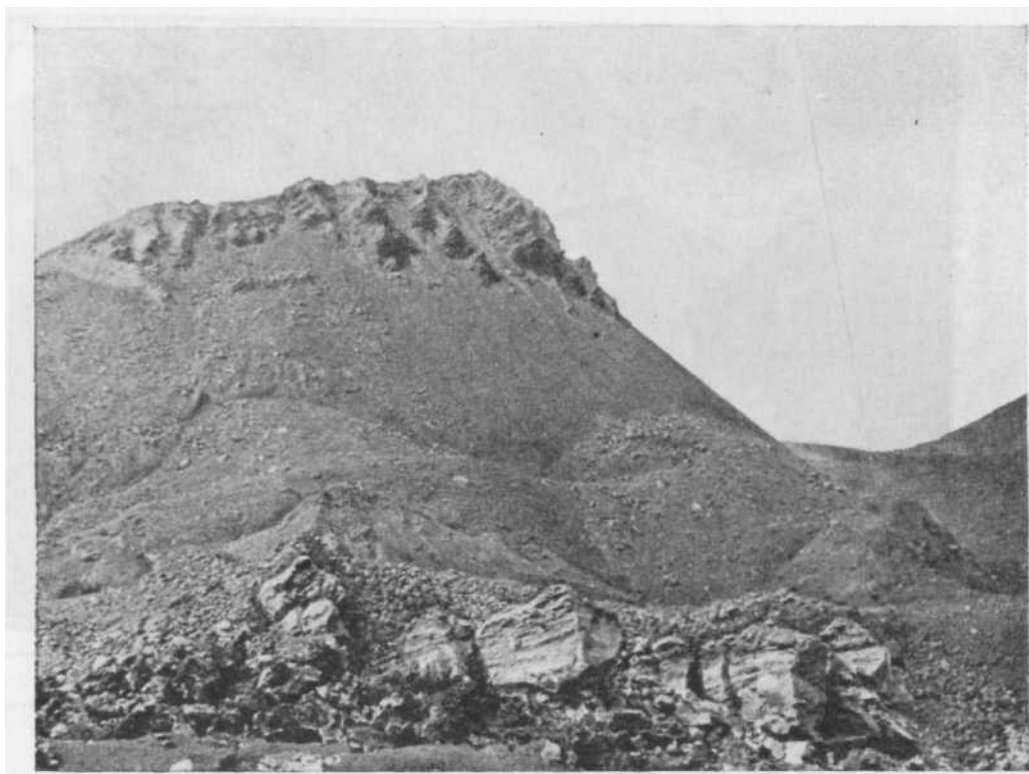
В этот же день перестала существовать бокка 10. Вершинный кратер, начиная с 18 апреля, реагировал на перестройку южного фланга извержением больших масс черного пепла.

### **215—344-е сутки (19 апреля — 26 августа 1976 г.)<sup>10</sup>**

*Образование отторженца Верблюд. Эффузивная деятельность лавовых бокк по периметру шлаковых холмов и к югу от конуса. Июльская активизация. Переменные и ослабевающие (к концу периода) эксплозии из вершинного кратера*

19 апреля произошла перестройка южного фланга конуса и его ближних окрестностей. От конуса отделился и отодвинулся к юго-востоку отторженец высотой 60—65 м и шириной около 100 м (так называемый Верблюд, показан буквой В на вулканохронологических схемах) (см. рис. III.11, б). За 2—3 дня отторженец переместился от конуса на 130—140 м (считая по передней кромке), при этом перед ним двигалась в том же направлении

<sup>10</sup> Дневники А. А. Овсянникова и др. (по 13 мая). Ю. Б. Слезина (по 18 мая), А. И. Цюрупы (с 19 мая по 8 июля и с 8 по 26 августа), В. А. Будникова и А. А. Овсянникова (с 9 июля по 7 августа), Е. К. Мархинина (с 22 апреля по 13 мая, с 4 по 8 июля, с 14 по 18 августа).



**Рис. III.14.** Образование отторженца Верблюд, состояние на 17 ч. 19 апреля 1976 г. Монтаж по снимку Ю. Б. Слезина. Проседание между отторжением и конусом похоже на тыловой пластичный клин оползня

действующая бокка. На склоне конуса в месте отрыва происходило дальнейшее оползание, сопровождавшееся осыпанием. Проседание, возникшее в тылу отторженца, напоминало пластический клин, образующийся между коренным уступом и скользящим от него блоком оползня. Склон конуса заровнялся уже через сутки, 20 апреля. Интересно отметить, что в проходе, образовавшемся между конусом и отторженцем, лава не появлялась (рис. III.13, 14, 15; см. рис. XIV.21). По всей очевидности, произошли отрыв и оползание сегмента шлакового конуса по поверхности скрытого лавового потока.

От 19 апреля до конца рассматриваемого периода расположение и продуктивность лавовых бокк менялись только на лавовом поле и в районе шлаковых холмов.

С 20 апреля по 3 мая бокки смещались по часовой стрелке относительно конуса (см. рис. III.12, б). Лавовое плато, расположенное к западу от Верблюда, с 20 апреля подвергалось раздроблению с многочисленными выжимками вязкой лавы. Лавовая река, начинающаяся южнее Верблюда, несла крупные фрагменты шлаковой постройки.

5 мая глыбы размером 5х3х4 м в истоке южной речки переносились со скоростью около 20 см/с. 6 мая отторженцы размером до 70х40х10 м перетаскивались лавой со скоростью 0,5–2 см/с. После особенно мощных взрывов в кратере уровень лавы в этой реке повышался, как это было, например, 25 апреля в 18 ч. Деформации распространились к концу месяца на шлаковые холмы, и утром 2 мая здесь

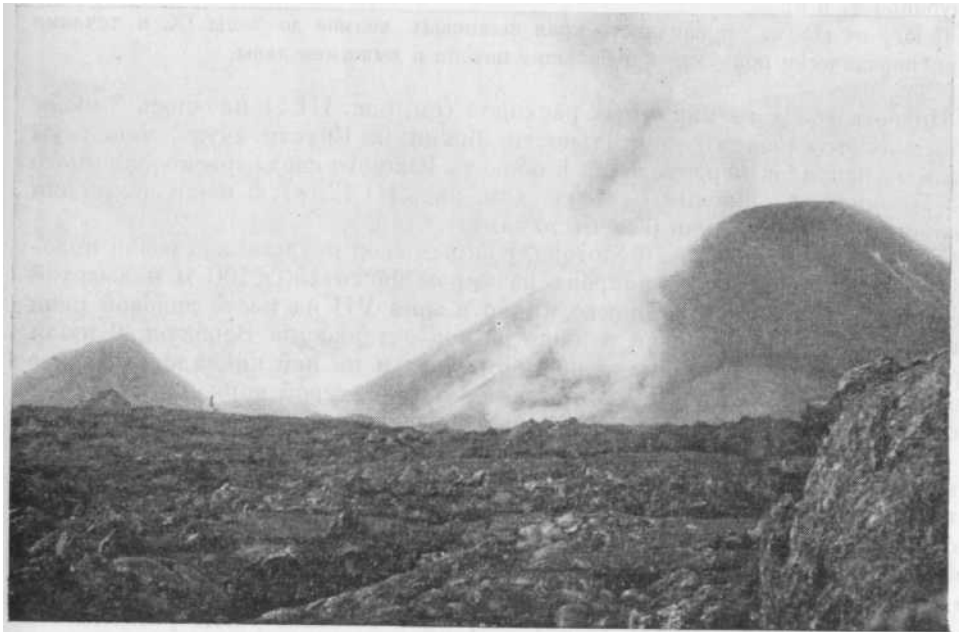
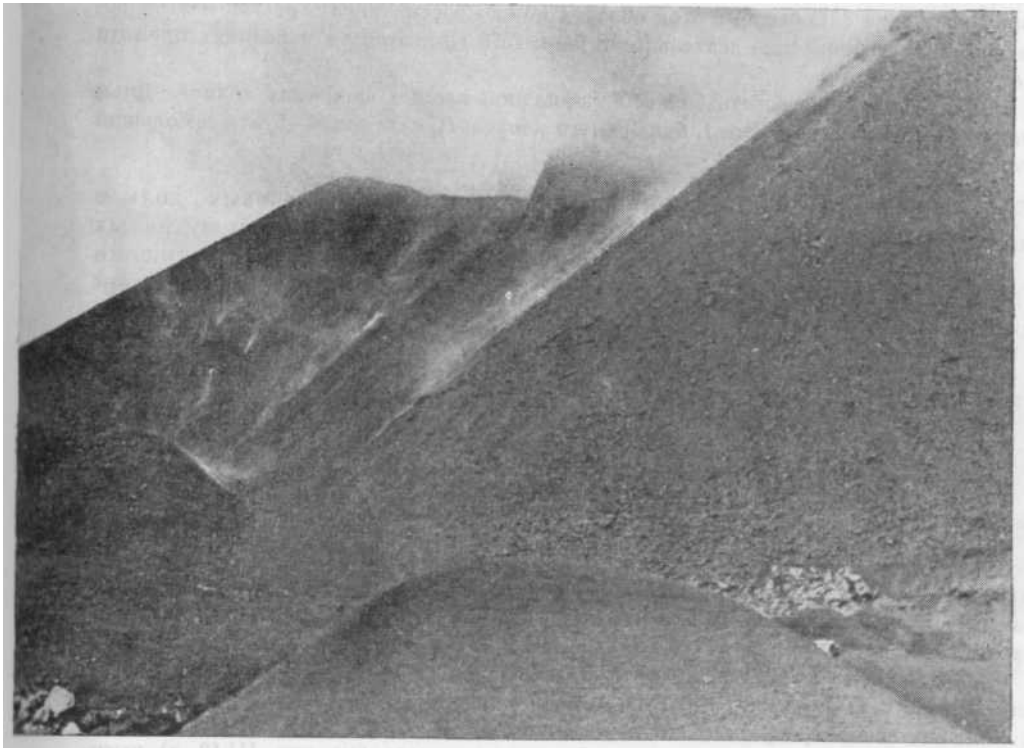


Рис. III.15. Отторженец Верблюд 20 апреля 1976 г. Снимок Ю. Б. Слезина

прорвалась бокка 8. События в этой области можно рассматривать не как новые прорывы, а как возобновление деятельности бокк 1975 г., поэтому в описаниях принята их старая нумерация.

2 мая начала действовать бокка 6 у западной кромки шлаковых холмов. Днем 3 мая лава излилась из бокки 1, близ самого конуса. И, наконец, 4—5 мая небольшой поток вытек из бокки 2.

Возобновление деятельности бокк на периферии шлаковых холмов сопровождалось образованием радиальных по отношению к конусу малых провалов — грабенов с четкими признаками поперечного растяжения (рис. III.16, 17). Такой провал в тылу бокки 6 был около 100 м длиной и около 20 шириной и глубиной.

Истечение лавы на юге, в зоне VII, ослабло, и с вечера 2 мая в продолжение почти целых суток его совершенно не было заметно.

В середине мая в деятельности всех бокк наблюдалось ослабление, особенно с 13 по 16 мая. Бокка 6 работала пульсациями, бокка в зоне VII смешалась вниз по течению потока, строя себе трубу. С 19 мая практически действовала только бокка 1. Временами опа выглядела как небольшое, около 10 м в поперечнике, лавовое озеро. В центре озера то и дело возникали лавовые фонтаны. 28 мая происходило непрерывное фонтанирование огненно-белой лавы на высоту до 20 м. Рев лавовой струи был слышен на расстоянии 2,5 км. Отдельные брызги застывали в виде веретенообразных бомбочек, нетипичных для ЮП. К югу от конуса отмечены только выжимки вязкой лавы.

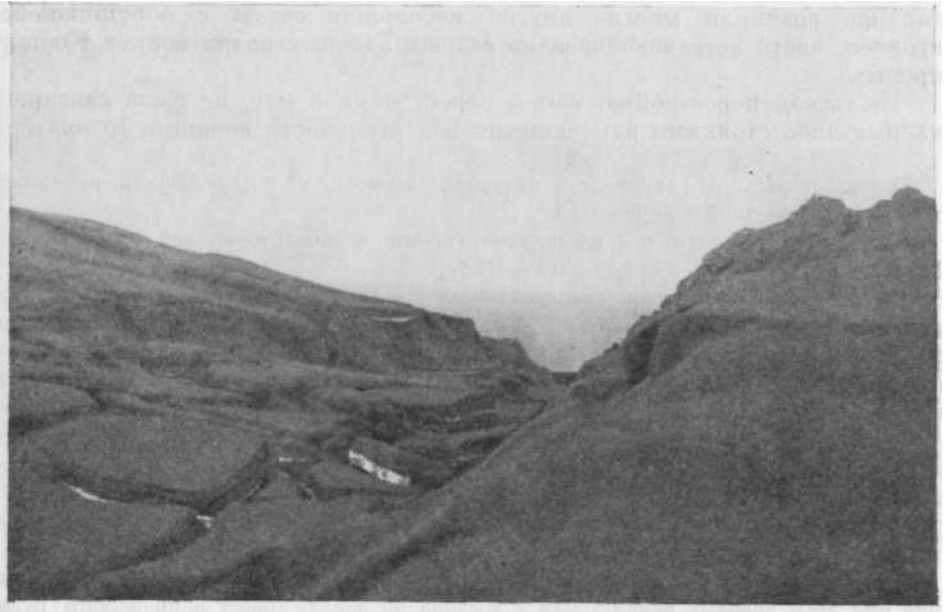
С 17 мая по 12 июня только один раз (10 июня) видимые расходы лавы превысили  $10 \text{ м}^3/\text{с}$ ; с 13 июня они упали до среднего уровня около  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ . С 27 июня бокка 1 окончательно прекратила видимую деятельность. Почти за 2 месяца ее функционирования северо-западнее конуса образовалось плато (см. рис. III.12, в) высотой не менее 10 м. Уступ плато был сложен глыбовыми лавами и мелкими языками выжатых и канатных лав. На ровной поверхности уступа, сложенной крупноплитчатыми лавами, были видны" две крупные воронки оседания диаметром около 13 и 40 м и глубиной 3—6 м.

К югу от конуса, от западного края шлаковых холмов до зоны IX, в течение июня спорадически появлялись небольшие потоки п выжимки лавы.

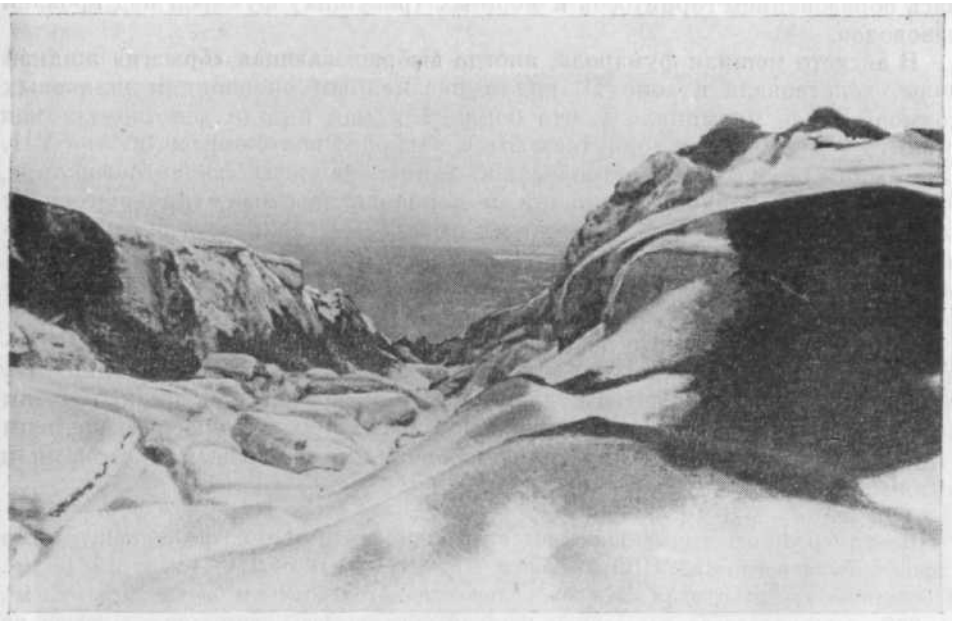
Новое возрастание видимых расходов (см. рис. III.5) началось 3 июля с резкой активизации деятельности бокки 6. Спустя сутки максимум видимых расходов переместился в область Южного свода, расположенного юго-западнее отторженца Верблюд (см. рис. III.12, в). 5 июля движения в лавовом русле из бокки 6 не было заметно.

По наблюдениям С. А. Федотова, Южный свод представлял собой пологое воздымание лавового покрова размером более  $150 \times 100 \text{ м}$  и высотой около 10 м (рис. III.18). Оно возникло в зоне VII на месте лавовой реки шириной 15 м, вытекавшей в июле из-под отторженца Верблюд. 9 июля вершина свода была взломана напором лавы и на ней появилось лавовое озеро в поперечнике до 100 м, покрытое тонкой серой коркой. В средней части озеро бурлило и через 2—3 с выбрасывало лавовые фонтаны. В 15—16 ч 9 июля лава стала стекать во все стороны, образуя более десяти рукавов. Видимый расход лавы в них приближался к  $100 \text{ м}^3/\text{с}$ . Расход снизился примерно до  $75 \text{ м}^3/\text{с}$  к 19 ч и до  $10\text{--}20 \text{ м}^3/\text{с}$  к полуночи, однако каскады лавовых ручьев, стекавших со свода, все еще представляли незабываемое зрелище. Среднесуточный видимый расход лавы за 9 июля не превысил  $30 \text{ м}^3/\text{с}$ .

После того как к концу августа вершина Южного свода раскололась и просела, стало видно, что верхняя часть свода представляла собой слой застывшей лавы толщиной в несколько метров. По-видимому, примерпо



**Рис. III.16.** Грабены, образовавшиеся при деформациях шлаковых холмов 4 мая 1976 г. Снимок Ю. Б. Слезина



**Рис. III.17.** Тот же участок, что и на рис. 16, 12 мая 1976 г. Снимок Ю. Б. Слезина  
Амплитуда опусканий грабена достигла 15 м

так же возникли многие другие небольшие своды с обрушившейся кровлей, часто встречающиеся на старых лавовых полях вокруг Южного прорыва.

Июльская перестройка, как и перестройка в мае, не была связана с какими-либо стойкими изменениями в деятельности вершинного кратера.

Видимые расходы сохранились на уровне выше  $10 \text{ м}^3/\text{с}$  до 5 августа, после чего снизились до средней величины  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Деятельность бокк 6 и 2 на западной кромке шлаковых холмов возобновилась 18 июля и закончилась 8 августа (рис. III.19).

В середине августа происходило заполнение лавой открытого па запад понижения между северным краем Южного свода, Верблюдом и южным уступом шлаковых холмов (западная часть зоны VII, см. рис. III.12, з). Начиная с 10 августа сюда стекали со склона Южного свода, с юга на север, 8 небольших лавовых речек. 13 августа видимое поступление лавы в понижение прекратилось, но вплоть до 23 августа в нем в разных местах отмечались вязкие выжимки. Западный фронт лав, накапливающихся в понижении, все это время оставался неподвижным. Таким образом, новый резервуар-накопитель в этот период не имел ни стока, ни ясно выраженной дамбы и рос при малых видимых расходах питающих речек, а затем и вовсе без видимого питания.

23 августа в восточной, тыловой, части резервуара вскрылись пять бокк. Возникшие при этом лавовые речки текли с востока на запад, вкрест направлений русел 10—12 августа. Эти бокки действовали до 27 августа с суммарными расходами около  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ . Одновременно происходило оседание западной части Южного свода.

В течение всего периода эффузивная деятельность часто сопровождалась образованием горнитосов и мощных (ревущих) фумарол над кровлей лавоводов.

В августе мощная фумарола, иногда выбрасывающая «брызги» жидкой лавы, действовала в зоне II, рядом с западным окончанием шлаковых холмов. Ранее упоминалось, что бокка 1 в мае иногда действовала как горнитос. Фумаролы и горнитосы были наиболее постоянными в зоне VII. Они были приурочены к дугообразной линии — опоясывающей расщелине, охватывающей конус у подножия, и к кровле лавовода, тянувшегося от конуса к Южному своду. Типичными выбросами горнитосов были блестящие стеклянные «слезы Пеле». Неоднократно (например, в зоне VII 10 июля, в зоне II 16 августа) над фумаролами горели факелы голубоватого пламени высотой до  $1 \text{ м}$ .

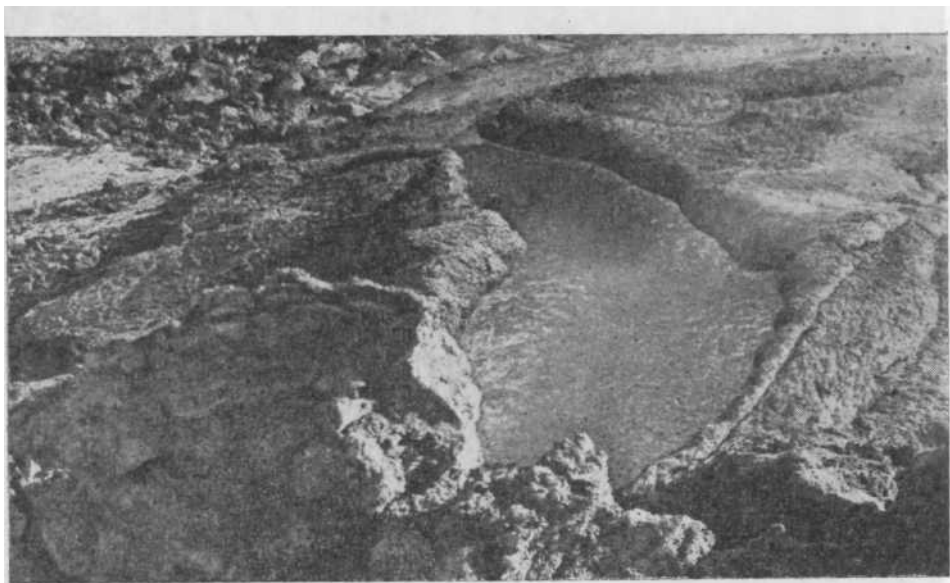
Деформации у южного подножия конуса в июне—августе были преимущественно приурочены к той же дугообразной линии, проходящей у подножия конуса или слегка подрезающей основание его склона. Это были воздымания приконусной части лавового плато, чередующиеся во времени с проседаниями и сопровождающиеся небольшими лавовыми потоками и выжимками.

Например, 10 июля проседание возникло у юго-восточного подножия конуса. Его площадь была равна  $150 \times 110 \text{ м}$ , глубина — от  $5$  до  $10 \text{ м}$ , объем — около  $2,5 \times 10^5 \text{ м}^3$ . Проседанию предшествовал небольшой лавовый поток объемом около  $10 \text{ тыс. м}^3$ . 93—96% лавы, вслед за истечением которой образовалось проседание, вытекло по скрытым лавоводам. 1 июля лавовый поток, предшествовавший проседанию между Верблюдом и восточным краем шлаковых холмов, распространился между шлаковыми холмами и конусом на север по дугообразной долине по внешнему атрию, отделившей холмы от конуса (см. ниже рис. III.30). Оседание 3 июля своим почти прямолинейным северным сместителем «подрезало» основание конуса, в результате чего на склоне почти до края кратера возникла осыпь.



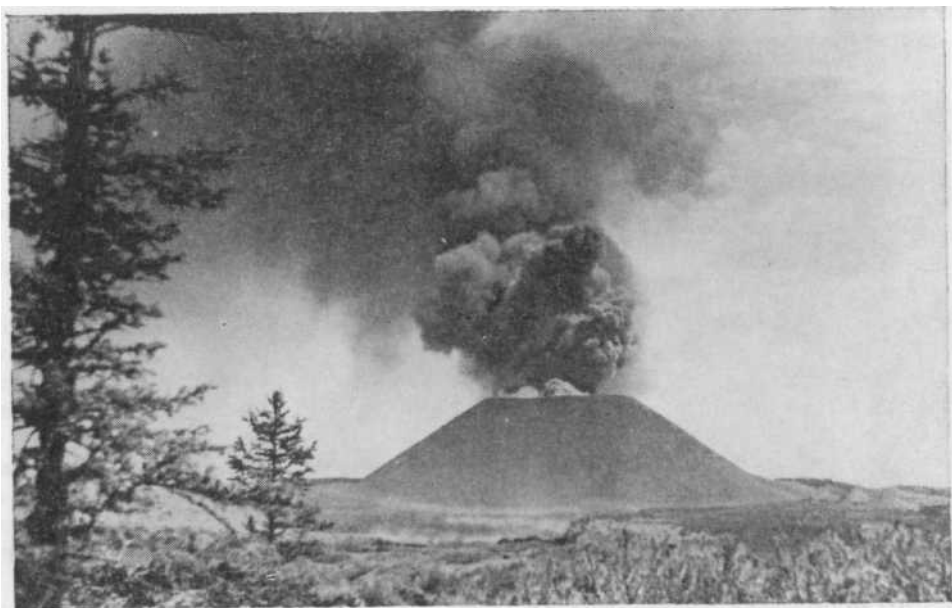
**Рис. III.18.** Южный свод, вид от подножья шлаковых холмов на юг.  
Снимок В. А. Будникова

Слева на горизонте за гребнем Асхачного увала — вулкан Кизимен, перед ним залесенный конус Недоступный, справа, несколько дальше — сопка Мохнатая. Лавы на фронте потока преимущественно тубикового типа; черный свежий язык, спустившийся со склона свода, сложенный плоскоглыбовой лавой — один из полутора десятков лавовых потоков, стекавших в эти дни с Южного свода в разные стороны. Газ отмечает путь жидкой лавы в момент съемки

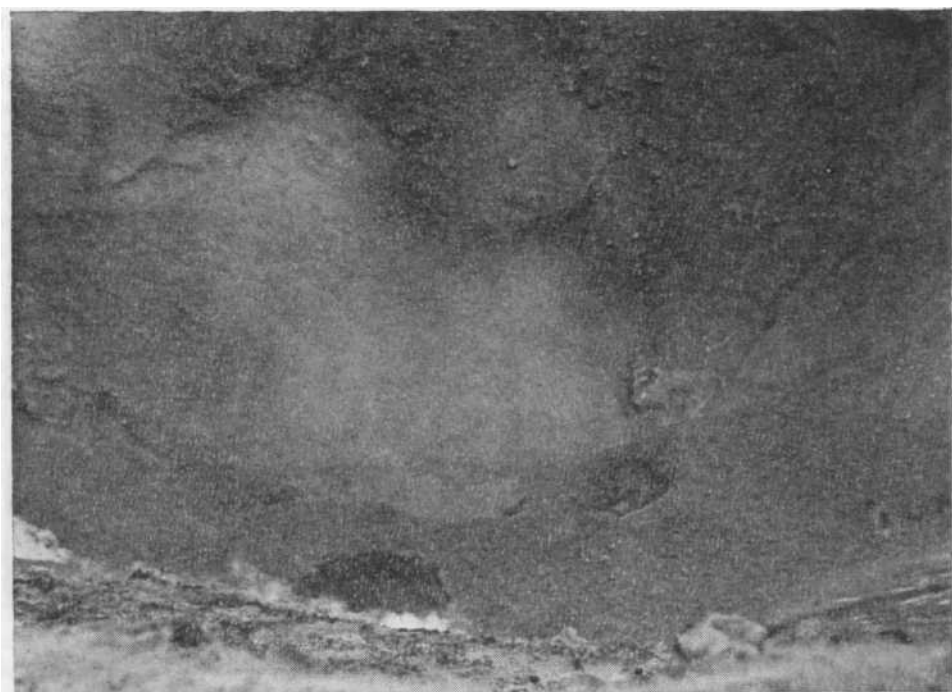


**Рис. III.19.** Одна из бокк на периметре шлаковых холмов в июле 1976 г.  
Снимок В. А. Будникова

На переднем плане — развал глыб, возникший перед прорывом бокки в результате сильного напора изнутри. Правый борт лавовой речки венчает слой лавы, узкий близ бокки и переходящий в небольшой плоский язык лавы несколько подалее. Это — результат кратковременного повышения уровня лавы в речке



**Рис. III.20.** Южный конус с севера в июле 1976 г. Снимок В. А. Подтабачного  
Высота конуса 130 м; частота взрывов около 12 в минуту; при них обильно выделяется темно-серый пепел. Справа от конуса виднеются пирокластические холмы



**Рис. III.21.** Внутренность кратера Южного конуса 20 июля 1979 г.  
Снимок В. А. Будникова  
Период его слабой активности. Видны 3 жерла: второе от наблюдателя парит, из третьего (дальнего) вылетают раскаленные жидкие бомбы

Отмечались также деформации самого конуса. 11 августа с южной стороны на склоне образовались два круглых [воронкообразных отверстия диаметром 12—14 и 6—7 м. Позже по аэрофотоснимку удалось установить, что эти отверстия ложатся на дугу, примерно соответствующую шву отрыва Верблюда 19 апреля. По-видимому, в конусе возникла или возобновилась ранее существовавшая трещина и рыхлый материал осыпался в отдельные зияющие ее участки.

Инструментальные наблюдения за высотой конуса показали, что его рост временами сменялся понижением. Между 17 и 20 июня понижение составило 4 м, а между 29 июня и 2 июля — 5 м. Тем не менее с 4 июня по 2 сентября его высота увеличилась со 141 до 155 м.

Пепловые извержения из вершинного кратера были особенно сильными 19—20 апреля. С этого времени и до конца извержения крупные внутрискратерные обрушения обуславливали выделение большого количества авторезургентного пепла. Они стали регулярными событиями и длились уже не секунды и минуты, а часы и сутки (рис. III.20).

В окрестностях действующего конуса, например, 8 июля наблюдался грязевой дождь — сильный дождь из капель грязи, напоминавший капли жидкого цемента.

С конца июля взрывы в кратере стали слабыми и кратер, так же как и в марте, частично заполнился гирокластикой. 17, 22—23 июля и 1 августа вершина конуса была доступна для посещения. 25 августа в кратере были видны два жерла, расположенные примерно на широтной линии. Они выглядели как небольшие, не более 2 м в диаметре, ярко светящиеся отверстия (рис. III.21). В жерлах происходили газовые продувки, иногда взрывы с выбросом бомб, не долетавших до бровки кратера.

Площадь лавового поля к 7 сентября 1976 г. составила 33,5 км<sup>2</sup>, а ее среднесуточный прирост в апреле—августе 1976 г.—0,023 км<sup>2</sup>/сут, т. е. он сократился вдвое по сравнению с зимой 1975—1976 гг. (см. рис. III.7, табл. III.1).

### 345—426-е сутки (27 августа — 6 ноября 1976 г.)<sup>1</sup>

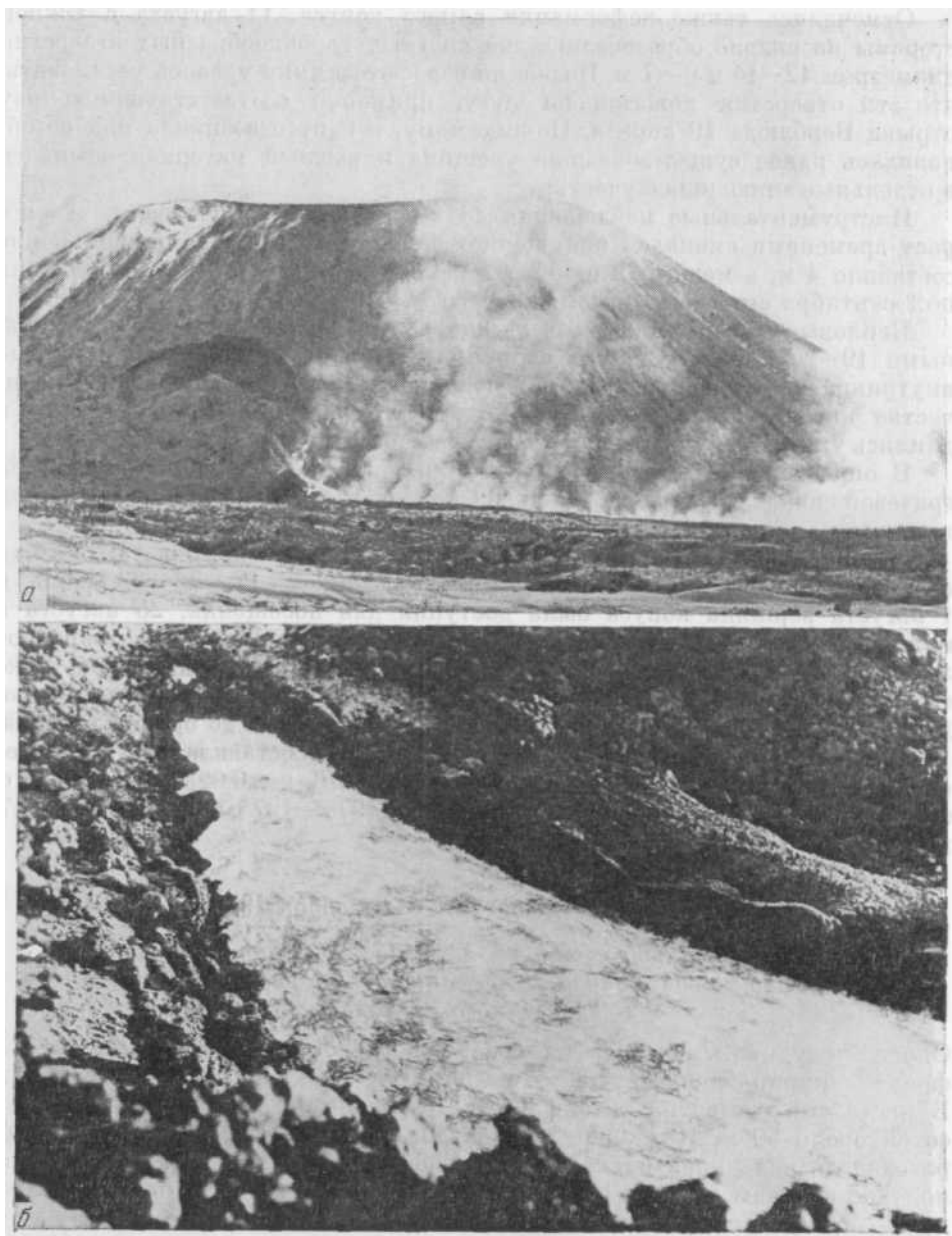
*Прорывы первичных бокк 11, 12 и 13. Деятельность бокк по всему периметру конуса. Переменная эксплозивная активность вершинного кратера*

Около полудня 27 августа из северо-восточного подножия конуса по фронту шириной около 70 м выдвинулся блок шлаковой постройки. В месте его отрыва на склоне конуса образовался оползневый цирк высотой около 50 м. В нижнем северо-западном углу трещины отрыва образовалась первичная бокка 11 (см. рис. III.12, г; III.22, а, б) и поток подвижной лавы хлынул на северо-запад, заливая участок подножия конуса, ограниченный краями сентябрьских лавовых потоков 1975 г. и апрельским потоком из бокки 10. Вначале расход лавы из бокки 11 был 10—15 м<sup>3</sup>/с, но уже 28 августа он снизился и только 3 сентября возрос вновь.

В 7—10 м ниже бокки из лавы непрерывно, с пузырением, всплесками, иногда с фонтанами выделялся газ. По мере образования корки на потоке участок сосредоточенного газоотделения как бы оттеснялся вниз по течению (в ночь с 4 на 5 сентября он находился в 300 м от места прорыва бокки И).

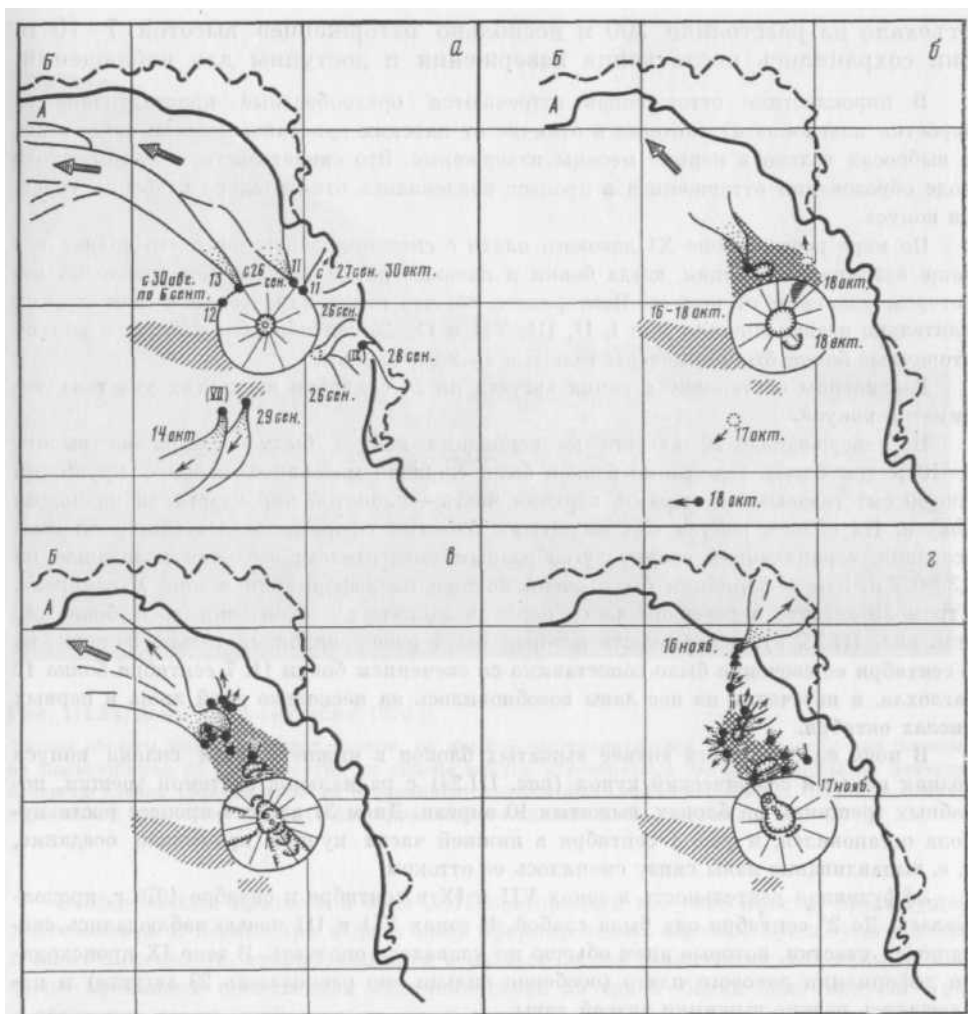
Во второй половине дня 31 августа верхний участок русла лавовой речки из бок-

<sup>1</sup> Дневники А. И. Цюрупы (по 8 сентября), В. И. Андреева (с 27 августа по 16 октября), В. Л. Леонова (с 16 октября).



**Рис. III.22.** Первичная бокка 11.

*a* — Вид бокки в первые сутки ее существования 27 августа 1976 г. Шлаковые массы выдвинутого из конуса блока и оползня слились в единую насыпь. Снимок А. И. Цюрупы; *б* — исток лавового потока в бокке 11. Ширина потока около 5 м, скорость лавы больше 0,5 м/с. Конец августа 1976 г. Снимок С. А. Федотова



**Рис. III.23.** Вулканохронологические схемы

*а* — в сентябре—октябре 1976 г.; *б* — на 16—18 октября 1976 г.; *в* — на 28 октября — 2 ноября 1976 г.; *г* — на 12—13 ноября 1976 г.; условные обозначения см. на рис. III.3.  
*Границы: А* — на 7 сентября; *Б* — на 22 декабря 1976 г.

ки 11 почти полностью скрылся под сводом трубы, но 1 сентября бокка 11 вновь активизировалась. Вместо узкого потока стал разворачиваться лавовый «веер». Западный край выдвинутого 27 августа блока понемногу обособлялся, отодвигался от конуса и деформировался, образуя удлиненную насыпь, которая была прорвана лавой 4 сентября. Насыпь образовала как бы остров двумя рукавами потока, заметно отъезжая к западу и превращаясь в отторженец. К вечеру вся лава двигалась уже восточнее отторженца. 4—5 сентября видимые расходы в бокке 11 достигли максимума — 15—20 м<sup>3</sup>/с.

15 сентября в 70 м от бокки 11, у восточной границы блока, выдвинутого 27 августа, возникла бокка На, которая действовала с 15 по 18 сентября. Спустя 5 мин после прекращения ее деятельности возобновилось истечение лавы из бокки 11 (рис. III.23, а).

При прорыве бокки На конус не подвергался дополнительным деформациям. 17 сентября от блока, выдвинутого 27 августа, отделилось и

отъехало на расстояние 200 м несколько отторженцев высотой 7—10 м, они сохранились после конца извержения и доступны для наблюдений.

В пирокластике отторженцев встречаются орехообразные кристаллолапиллы (сростки плагиоклаза), которые в отличие от плоских кристаллолапиллы отмечались в выбросах только в первые месяцы извержения. Это свидетельствует о том, что в ходе образования отторженцев в процесс вовлекались относительно глубокие участки конуса.

По мере роста в зоне XI лавового плато с системой лавоводов в его недрах все чаще возникала ситуация, когда бокки и лавовые речки действовали только на некотором удалении от конуса. Повторялось то, что было характерно и для других длительно развивавшихся зон: I, II, III, VII и IX. 25 сентября ближайшие к конусу вторичные бокки были отмечены только в 1—2 км от него.

Рассмотрим обстановку с конца августа по 26 сентября на других участках периметра конуса.

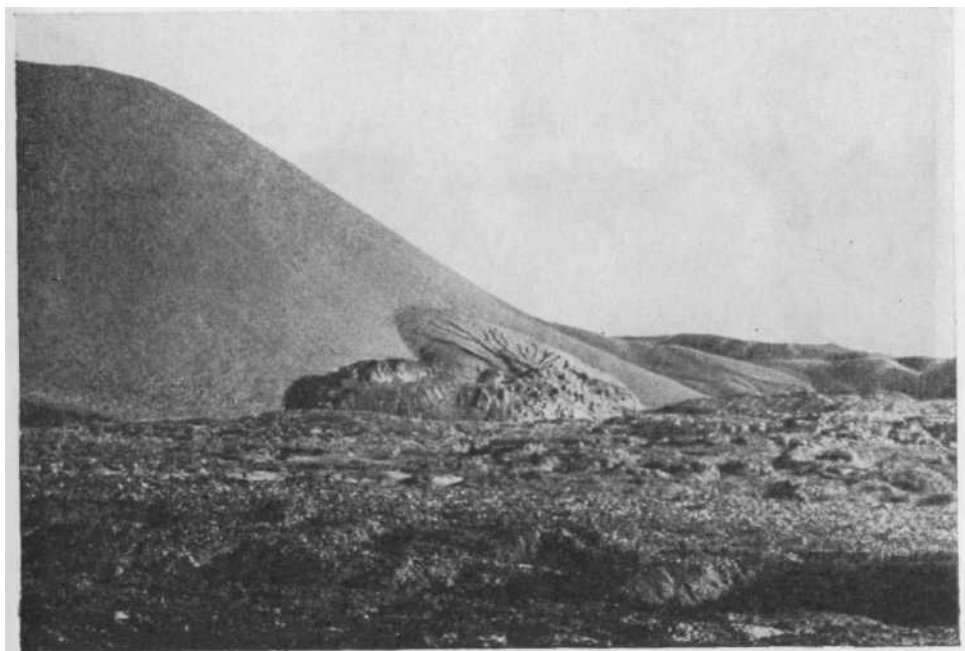
На северо-западе 29 августа из основания конуса были выжаты на высоту 8—10 м три блока. Основание блоков было сложено массивной лавой с крупными (до 40 см) газовыми пузырями, верхняя часть — слоистой пирокластикой подножия конуса. На склоне конуса над выжатыми блоками сформировалась обширная зона оседания, ограниченная сверху дугообразным сместителем; оседание произошло на 0.3—0,5 м. Эти деформации были очень похожи на деформации в зоне X в апреле. Утром 30 августа в северной части цепочки выжатых блоков вскрылась бокка 12 (см. рис. III.23, а), деятельность которой была очень вялой, и только в ночь на 4 сентября ее свечение было сопоставимо со свечением бокки 11. 7 сентября бокка 12 заглохла, и истечение из нее лавы возобновилось на несколько дней лишь в первых числах октября.

В ночь на 31 августа южнее выжатых блоков в нижней части склона конуса возник пологий сферический купол (рис. III.24) с радиальной системой трещин, подобных трещинам на блоках, выжатых 10 апреля. Днем 31 августа процесс роста купола остановился, и уже 1 сентября в нижней части купола произошло оседание, т. е. выдавливание лавы снизу сменилось ее оттоком.

Эффузивная деятельность в зонах VII и IX в сентябре и октябре 1976 г. продолжалась. До 26 сентября она была слабой. В зонах VII и III ночью наблюдались свтящиеся участки, которые днем обычно не удавалось опознать. В зоне IX происходили деформации лавового плато (особенно сильно оно расползлось 29 августа) и наблюдались редкие выжимки вязкой лавы.

Решающие изменения произошли в конце сентября. 26 сентября в северо-западном подножии конуса (на радиусе 335° СЗ) возникла бокка 13. Ее прорыв сопровождался мощными обвалами конуса и выдвиганием блоков высотой до 30 м. При этом истечение лавы в зоне XI ослабло, после 27 сентября почти прекратилось, а южнее конуса произошла одновременная активизация зон VII и IX. Однако если бокка 13 продолжала в дальнейшем действовать до окончания извержения, то в зоне IX к 29 сентября излияния уже закончились. В зоне VII, на разных расстояниях южнее отторженца Верблюд, бокки с расходами до 7—10 м<sup>3</sup> еще возникали 29—30 сентября, 3, 4, 14 и 18 октября; позже, до 26 октября, здесь наблюдались только участки свечения.

Можно объяснить взаимосвязь этих событий следующим образом. Барометрическое нивелирование показало, что 30 сентября — 2 октября бокка 13 располагалась на 20 м ниже, чем бокки на юге. Вследствие роста лавового плато в зоне XI лава устремилась в участки, расположенные ниже, на северо-западе и юге; эффузивная деятельность активизировалась на обоих участках. Однако более высокое гидростатическое давление в зоне XIII (на 4 б<sup>2</sup>ра выше, чем на юге, при расчетной плотности лавы 2 г/см<sup>3</sup>) обусловило то, что бокка 13 действовала сильнее и дольше.

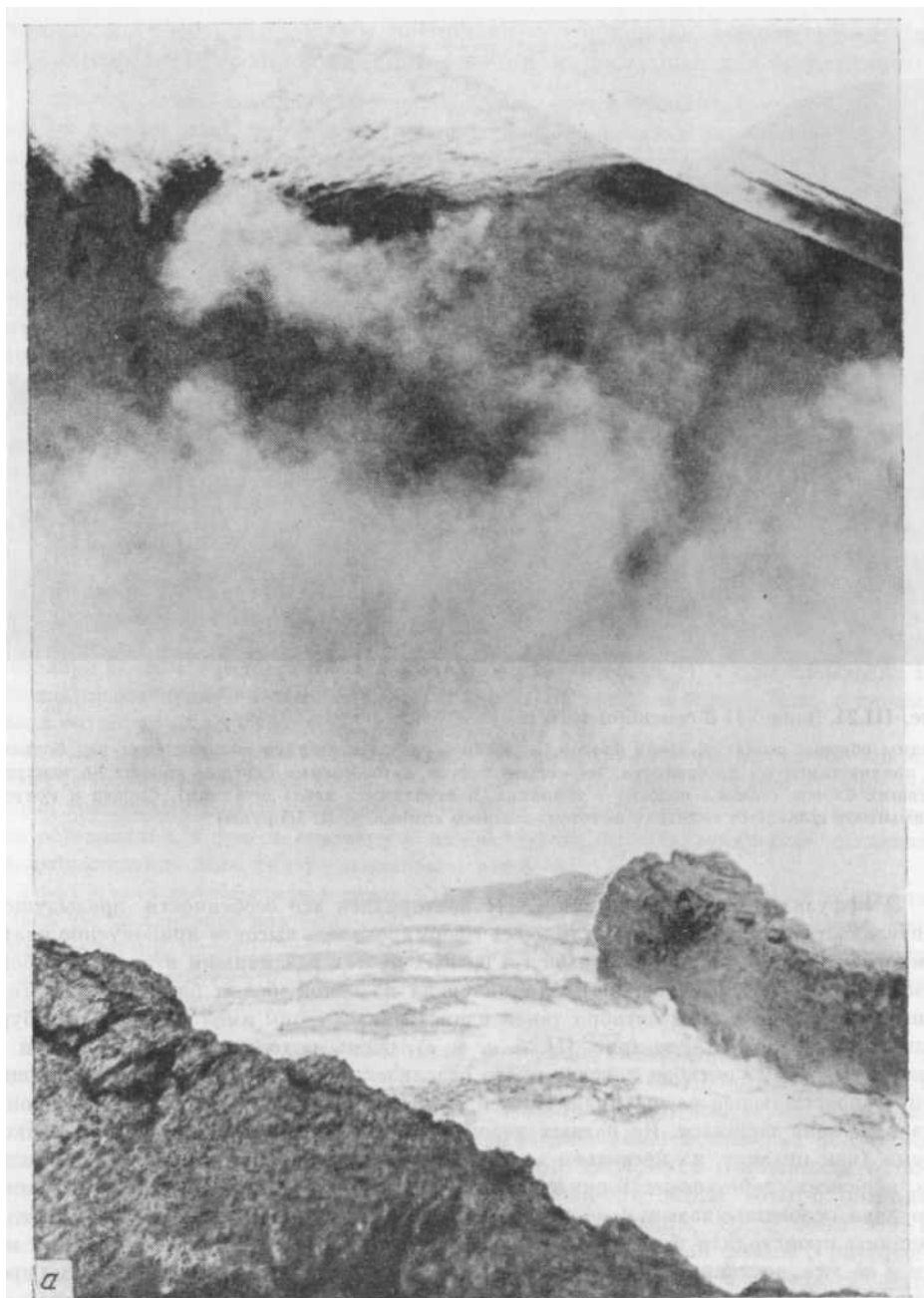


**Рис. III.24.** Зона XII 3 сентября 1976 г.

Видны обрывы выжатых вверх блоков, за ними — растрескавшийся пологий свод над блоком, не появившимся на поверхности: на склоне конуса дугообразные светлые полосы по контуру осевших блоков (темная полоска — тропинка, протоптанная наблюдателями). Справа к конусу примыкают шлаковые холмы (с фототеодолитного снимка А. И. Цюрупы)

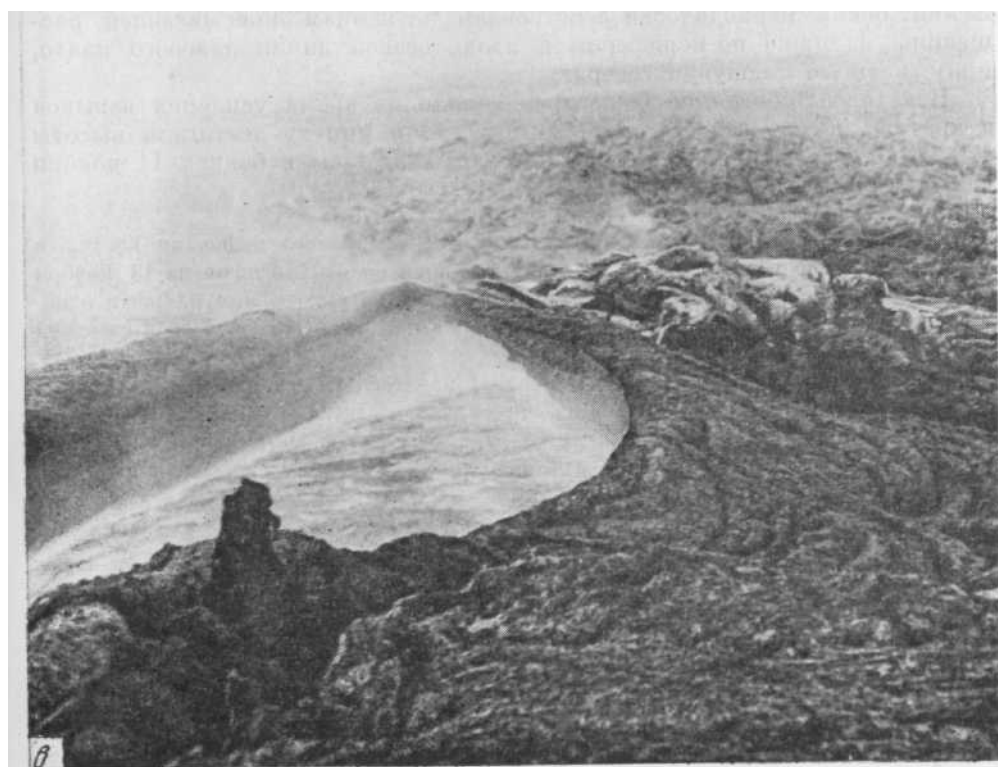
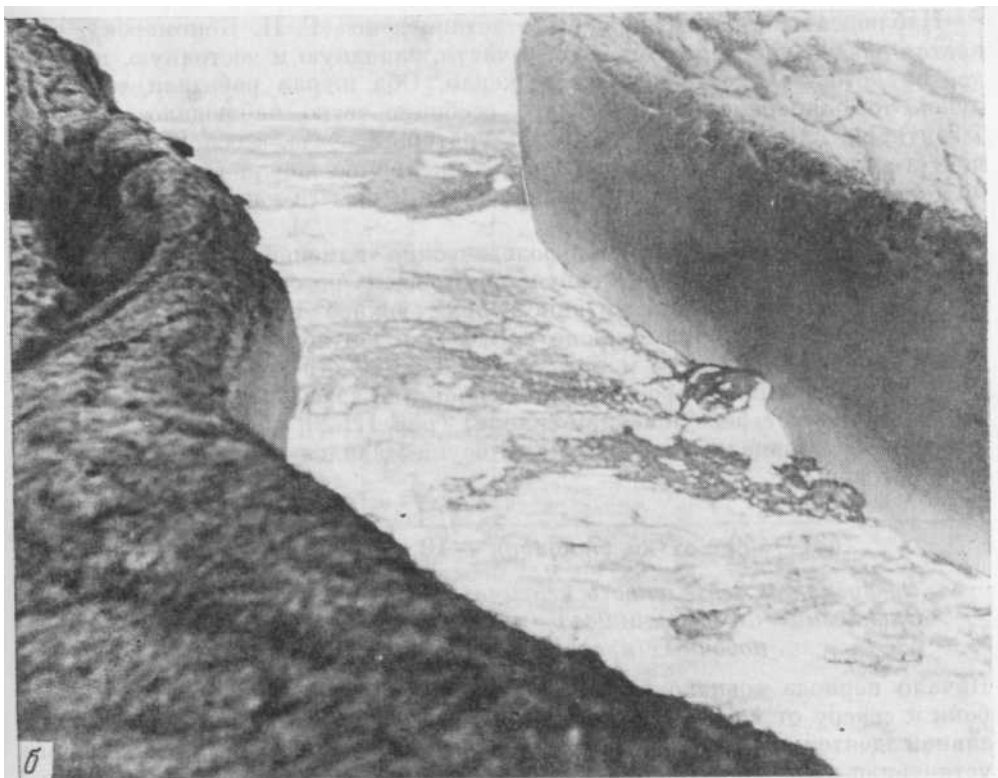
В эффузивном процессе в зоне XIII повторились все особенности предыдущей деятельности. В первые три недели здесь сформировалось высокое приконусное плато с многочисленными, прорывавшимися в разных местах различными вторичными бокками. Временами происходили излияния снова из одной бокки близ конуса. Так, в последние десять дней октября такой единственный исток имел вид круглого бурлящего лавового бассейна (рис. III.25, я, б, в), очень похожего на исток бокки 1 в конце мая. С 19 октября лавовое плато отделилось от конуса дугообразной трещиной — опоясывающей расщелиной. По ней блок со стороны конуса осел, а со стороны лавового поля поднялся. На разных участках этой трещины возникали на короткое время (как правило, на несколько часов) мелкие лавовые бокки. Значительно дольше, неделями, действовали горнитосы, приуроченные к опоясывающей расщелине. Это дало основание называть ее Трещиной горнитосов. Подвижки по сместителю трещины происходили и после ее образования, но были знакопеременными; так же как и на юге, опускания со стороны лавового поля были выражены структурами проседания.

С началом периода мощные пепловые извержения из кратера происходили почти без перерывов и достигали особенной силы в первые недели сентября и ноября 1977 г. Между 2 и 8 сентября конус понизился на 14 м (со 155 до 141 м, данные А. И. Цюрупы); между 16 и 17 октября — на 3,4 м (со 163,1 до 159,7 м) и между 2 и 8 ноября — на 5,1 м (со 164,4 до 159,3 м, данные М. А. Магуськина). Наибольшая скорость роста конуса наблюдалась между 3 и 16 октября (1,1 м/сут) и между 25 октября и 2 ноября (1,0 м/сут) (см. рис. III.5).



**Рис. III.25.** Короткая лавовая река у подножья Южного конуса. 24 октября 1976 г. Снимки С. А. Федотова

*a* — лавовый бассейн (первичная бокка) и вытекающая из него лавовая река. На заднем плане склон Южного конуса; парят его привершинная часть и ложбина, в которой позднее возникла радиальная цепочка кратеров; *б* — русло лавовой реки. Высота бортов более 2 м. Борты нарастают, когда лава переливалась через них. Скорость течения лавы более 0,5 м/с; *в* — погружение реки в лавовую трубу. Кровля трубы образована канатной лавой, растекающейся у входа, когда уровень лавы повышался



Наблюдениями 1 сентября было установлено (Г. П. Пономарев), что кратер разделен перемычкой на две части, западную и восточную, в каждой из которых действовало свое жерло. Оба жерла работали то чередуясь, то одновременно. Последнее особенно четко наблюдалось ночью 7 сентября. 22 сентября перемычка в кратере исчезла, в основании северной стенки находилось единственное раскаленное жерло диаметром около 7 м. Через него с гулом вырывались газ и брызги лавы. Глубина кратера была около 30 м.

Наиболее значительные морфологические изменения привершинной части конуса происходили 29 сентября (провалы по северной кромке кратера одновременно с активизацией бокк южнее конуса), 15 октября (провал на юго-восточном склоне конуса), 18 октября (кольцевое проседание глубиной около 0,8 м на высоте 60 м на юго-западном склоне конуса и трещины на северо-восточном склоне по аз. 23° СВ), 27—31 октября (просадки на северо-западном склоне) (рис. III.23, в).

Прирост площади лавового поля осуществлялся в основном по его северной кромке.

### **12 427—450-е сутки (7 ноября — 10 декабря 1976 г.)**

*Эффузивная деятельность вторичных бокк к северу от конуса. Эксплозии из вершинного кратера и появление цепочки побочных кратеров. Конец извержения.*

Начало периода совпало с уменьшением видимых расходов из лавовых бокк к северу от конуса (см. рис. III.5). В других зонах признаки эффузивной деятельности не были замечены. Характер лавовой разгрузки, установившейся к началу периода, в общем сохранялся до конца извержения: бокки периодически действовали по концам опоясывающей расщелины, а также по периферии и вдоль осевой линии лавового плато, примыкавшего к конусу с севера.

Некоторое оживление бокк происходило во время усиления взрывов в кратере, когда выбросы с частотой 7—8 в минуту достигали высоты 400 м. Одновременно с увеличением расходов лавы в бокках 11 ноября усилилась деятельность горнитосов (рис. III.23, з).

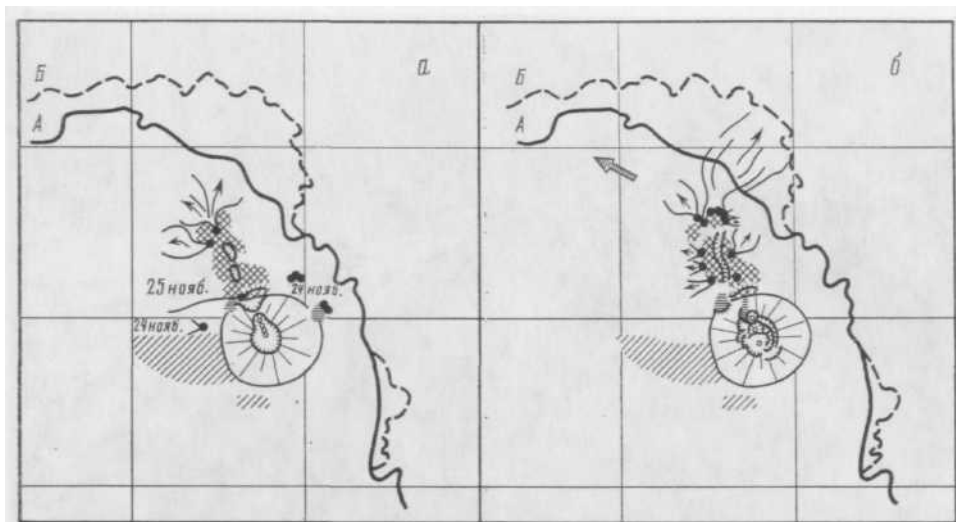
В ночь на 12 ноября лавовое плато у северо-западного подножия конуса в зоне XIII пришло в движение: весь день 12 ноября вплоть до ночи на 13 ноября участок размером 200X300 м поднимался и поднялся на высоту до 4 м. Почти одновременно рано утром 12 ноября небольшие выжимки лавы наблюдались в соседней зоне XI.

Видимое увеличение расходов в зоне XIII началось 15 ноября. Новые центры излияния образовались в 250—300 м от конуса, на участке, где накануне происходило воздымание плато. 16 ноября лава изливалась уже в 600—700 м от конуса, за пределами лавового плато. Лавовод, питавший эту бокку, трассировался цепочкой горнитосов (см. рис. III.23, з).

17 ноября расходы упали и после повторного воздымания того же участка плато на высоту до 10 м вновь поднялись 24 ноября (см. рис. III.5).

Схема развития извержения в эту стадию дана на рис. III.26, а, б, а общий вид конуса и прилегающей к нему части лавового поля Южного прорыва в последнюю стадию извержения приведены на рис. III.27.

<sup>12</sup> Дневники В. Л. Леонова (по 8 декабря) и В. Н. Андреева (начиная с 8 декабря).



**Рис. III.26.** Вулканохронологические схемы

*а* — на 24—26 ноября 1976 г.; *б* — на 6—8 декабря 1976 г.

Условные обозначения см. на рис. III.3. Границы см. на рис. III.23



**Рис. III.27.** Южный конус в конце извержения, вид с СЗ. Аэроснимок

Распределение холодных и разогретых участков поверхности конуса и лавового поля подчеркнута снегом. Справа к конусу примыкают шлаковые холмы, на поверхности которых видны грабены над лавоводами. На втором плане — конус Каменистая



**Рис. III.28.** Южный конус после извержения, вид с ССВ.  
Снимок Н. П. Смелова

Деформации конуса на севере (левый ближний угол снимка, зона XI) почти залечены. Примечательны цепочка кратеров и малоамплитудный секторный грабен, развившиеся на северо-западном склоне конуса (зона XIII). За грабеном у подножия конуса выжатые вверх блоки конуса (зона XII), еще дальше шлаковые холмы

Главные события произошли в северо-западной части конуса и возле ее подножия. Строение, которое приобрел этот участок Южного прорыва к концу извержения, и примечательные следы заключительной деятельности прорыва показаны на четырех фотографиях, снятых после извержения, рис. III.28-31.

Накануне, 22 ноября, происходили движения и по опоясывающей расщелине: ее северный край поднялся относительно конуса. 23 ноября, между 14 и 16 ч в 10–15 м на ССЗ от конуса был выжат вертикально вверх блок слоистых лав высотой 15–20 м и в поперечнике 50–60 м (см. рис. III. 29, 30) — Бастион. Сектор конуса возле Бастиона осел. 24 ноября в зоне XIII образовались относительно небольшие языки лавы площадью 10–20 тыс. м<sup>2</sup>. Эта активизация затронула также зоны I и X. В зоне I 24 и 25 ноября выдавливались лавы. В зоне X 24 ноября из-под небольшого блока, выжатого вверх у самого подножия конуса, медленно излились два языка вязкой



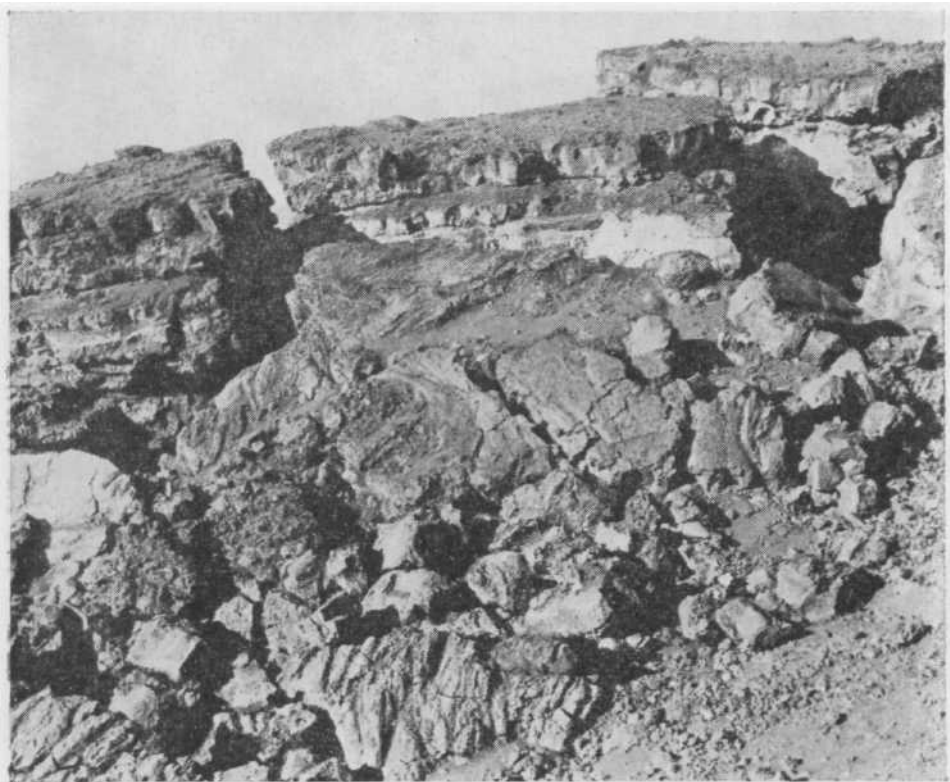
**Рис. III.29.** Вид северо-западного подножия конуса (зона XIII) после извержения. Снимок Н. П. Смелова

В передней части снимка — круглый провал оседания, крупный план которого приведен на рис. III.31. Светлые полосы — гладкие лавы, вытекавшие из вторичных бокк. На дальнем плане — основание склона конуса, уступы сместителей секторного грабена на конусе и блоки, выжатые вверх перед грабеном — Бастион

лавы. Одновременно с ними из западного конца северной опоясывающей расщелины, на фоне резкого ослабления взрывов в кратере, вытек поток очень подвижной лавы (между 18 ч 25 мин и 20 ч 15 мин 24 ноября). Лава изливалась отсюда и 25 ноября, но уже была вязкой и малоподвижной; из кратера в это время выбрасывались особенно крупные расплескивающиеся бомбы диаметром до 2 м. Они падали на конус близко от кратера.

26 ноября центры излияния сместились на 300—350 м к северу от конуса, где новое поднятие лавового плато также сопровождалось раздроблением его на отдельные блоки. Питающий эти блоки лавовод прослеживался от конуса по ряду крупных «окон» в его кровле, названных наблюдателями «лавовыми озерами». Из этих «окон» 29 ноября произошло излияние небольших потоков, одновременное с ослаблением деятельности бокк. возникших 26 ноября.

С 30 ноября по 5 декабря расход лавы менялся, но в среднем был очень низким. Несколько жидких языков лав излились 4 декабря из опоясывающей расщелины.



**Рис III.30.** Выжатый вверх блок Бастион. Снимок Н. П. Смелова  
Сложен лавами «лавового плато» (зона XIII). Снято после извержения

Завершающий максимум видимых расходов —  $20 \text{ м}^3/\text{с}$  — пришелся на 6 декабря (см. рис. III.5), лавы текли в зоне XIII почти по всему периметру лавового плато, но обильнее всего в 300—350 м от конуса, на дальнем конце лавовода, 26—29 ноября обозначенного «окнами» — так называемыми «озерами» — в его кровле, а в декабре — системами трещин (см. рис. III. 27, б).

7 декабря, впервые после 20 ноября, лавовый фронт захватил новые участки территории в северо-восточной оконечности лавового поля.

К 8 декабря видимые расходы снизились до  $6 \text{ м}^3/\text{с}$ , а днем 9 декабря лавовые речки остановились. Продвижение северо-восточного фронта лавы прекратилось к 17 ч 30 мин, но в западной части поля лава продолжала двигаться (судя по светящимся точкам в ночь на 10 декабря) еще сутки после прекращения видимого течения из бокк в приконусной области.

Важной особенностью заключительного периода была периодическая деятельность радикальной цепочки эксцентрических побочных эксплозивных жерл, первое из которых прорвалось на высоте около 60 м от подножия конуса в 12 ч 15 мин 7 ноября. Это жерло было расположено на СЗ (аз.  $335\text{—}340^\circ$ ) от центра конуса (см. рис. III.28). На следующий день на этом направлении действовало уже 3 отдельных жерла. С 9 по 13 ноября и после перерыва с 15 по 19 ноября нижнее жерло работало периодически. Затем оно замолкло вплоть до 15 ч 50 мин 6 декабря. 7 декабря



**Рис. III.31.** Часть круглого провала, возникшего у северо-западного подножия конуса в последнюю стадию извержения при вытекании лавы из-под грабена на конусе, см. рис. III.29. Снимок Н. П. Смелова

Лавы ушла из провала под его стены. На дне провала плоскоглыбовая лавы с участками гладкой. На валу вокруг провала глыбовая лавы

эксплозивная деятельность заметно ослабела; к вечеру взрывы повторялись с промежутками до 5 мин. 8 декабря старые жерла перестали действовать, но открылись два новых: одно среднее между центральным и нижним (возможно, это обновилось среднее жерло, возникшее 8 ноября) и другое эксцентричное жерло, расположенное на радиусе (аз.  $23^\circ$ ) от центра вулкана (см. рис. III.27, б и III.28).

Образование радиальной цепочки жерл на склоне конуса в середине сектора оседания этого склона и появление большого поднятия лавового поля у подножия конуса под сектором оседания происходили одновременно.

Было похоже на то, что на заключительной стадии часть материала недр конуса вытекла из-под него. Это привело к образованию сектора проседания на конусе, поднятию лавового поля у его подножия и завалу действовавшего жерла конуса (см. рис. III.28, 29).

Пепловые выбросы почти прекратились в 11 ч 30 мин 9 декабря, регулярные выбросы бомб — через 20 мин. Продолжались с частотой 1—5 в минуту газовые продувки. Через 5 ч возобновились слабые пепловые выбросы с частотой 5—10 в минуту. Еще через час взрывы стали реже, до 20—40 в час, в ночь на 10 декабря — 6—12 в час, светящиеся бомбы были видны 1—2 раза в течение часа. С раннего утра 10 декабря взрывы

совсем прекратились, и видно было только парение кратера и всей системы проседаний на северо-северо-западном склоне конуса (см. рис. III.26).

Деформации конуса и приконусной области в последний период также характеризовались некоторыми, ранее не наблюдавшимися особенностями. Увеличение площади и размаха деформаций хронологически не следовало за усилением взрывов в кратере, как это было в апреле. Скорее наоборот: высокие (до 400 м) выбросы 9—12 ноября начались уже после прорыва побочного жерла.

Наблюдатели отмечают, что в расходах лавы и высоте выбросов последних месяцев извержения на фоне общего постепенного ослабления этих характеристик наблюдалась цикличность; экстраполяция этих циклов в будущее позволяла еще в ноябре предполагать, что извержение прекратится примерно к 15 декабря [Леонов, Храмов, 1979].

С 8 ноября и до конца извержения высота конуса не менялась.

### 3. ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ИЗВЕРЖЕНИЯ ЮЖНОГО ПРОРЫВА

Главный геологический результат ЮП — это вулканическая аккумуляция: образование лавового поля, конуса и шлаковых холмов. С извержением были связаны также вынос в атмосферу газа и мелкого пепла, гидрогеологические, ландшафтные и тектонические изменения.

*Вулканическая аккумуляция* привела к образованию лавового поля (покрова) площадью 35,87 км<sup>2</sup>, средней мощностью 27 м и объемом 0,968 км<sup>3</sup>. Шлаковый конус вырос до высоты 165 м, но благодаря лавовым потокам, обогнувшем конус, соединившимся и полностью окружившим его со всех сторон, относительная высота была меньше — от 120 до 85 м. Объем конуса составил 0,012 км<sup>3</sup>. Много крупной пирокластики было вынесено потоками в подножия конуса преимущественно в виде шлаковых холмов и отторженцев. По разным оценкам, их объем составляет от 0,022 до 0,005 км<sup>3</sup>; этот объем включен в инструментально определенный объем лавового поля, так что истинный объем лав несколько меньше принятого.

Общее количество вещества, вынесенного при извержении ЮП, представлено в табл. III.3. При расчете массы плотность лавы была принята в среднем 2,2 г/см<sup>3</sup>, мелкой пирокластики (тефры) — 1,1 г/см<sup>3</sup>.

Коэффициенты эксплозивности: объемный — 2,6% (с поправкой на пирокластику, вынесенную лавой, 3,2—5,1%), весовой — 1,5% (с поправкой — 1,9—3,2%).

Таблица III.3. Количество вулканического вещества, вынесенного на Южном прорыве

Вещество	Объем, км <sup>3</sup>	Масса, 10 <sup>6</sup> т	Средний расход, 10 <sup>6</sup> т/сут
Тефра (включая вещество конуса)	а) 0,026	33	0,073
	б) 0,031—0,048	40,5—66	0,09—0,15
Лава	а) 0,968	2140	4,756
	б) 0,963—0,946	2116—2081	4,702—4,624
Всего твердых продуктов	0,994	а) 2173	4,829
		б) 2156—2147	4,791—4,771
Газ	—	13 (гл. IV);	
		8 (гл. VII)	

Примечание. а) без поправки на пирокластику, вынесенную на поверхности лавы; б) с поправкой (пределы крайних оценок).

*Тепловая энергия* ЮП, вычисленная по формуле, приведенной в гл. I, равна

$$0,7 \times 10^{15} \text{ ккал} = 2,9 \times 10^{18} \text{ Дж} = 2,9 \times 10^{25} \text{ эрг} = 815 \times 10^9 \text{ кВтч.}$$

Средняя тепловая мощность ЮП была эквивалентна 62,5 млн. кВт.

Динамика прироста площади лавового поля показана в табл. III.1 и на рис. III.9, распределение накопленных мощностей — на рис. III.32 (см. вкл.) [Гусев и др., 1979].

Влияние извержения Южного прорыва на гидрогеологическую обстановку местности, по мнению Т. П. Кирсановой, не может быть отделено от влияния Северного прорыва. В целом извержение существенно повлияло на химический состав поверхностных и подземных вод небольшой площади [Кирсанова, Пилипенко, Юрова, 1978]. Вероятно, это объясняется интенсивным промыванием свежих вулканических продуктов атмосферными осадками и подземными водами.

*Ландшафтные изменения.* В течение 450 сут Южный прорыв непрерывно извергал лаву, пепел и мелкий шлак. Лава поглотила растительность на площади 36 км<sup>2</sup>. Окрестности вулкана были погребены под толщей мелкой пироклаستي.

Травянистая и кустарниковая растительность существенно повреждается при толщине пеплового покрова более 5 см, а полностью поражается при 35—45 см [Быкасов, 1981]. Почти полностью погиб лиственный лес на конусе горы Каменистой непосредственно к востоку от Южного конуса. В смешанном лесу, который начинается в 2,5 км к ССВ от Южного конуса, при почти полном поражении травянистой растительности летом 1978 г. плодоносила жимолость. К 1981 г. береза, рябина, ольха оправились от поражения на расстоянии свыше 1,5 км от Южного конуса, а зона полного выживания лиственницы и кедрового стланика начиналась в 2—3 км от него.

Во время осенне-зимнего периода 1975—1976 гг. эоловое переотложение всех пеплов БТТИ расширило площадь шлаково-пеплового чехла мощностью более 100 см с 400 до 480—500 км<sup>2</sup> [Бакасов, 1981]. Эоловое переотложение пирокластики Южного прорыва дало значительно меньший эффект. Местное увеличение мощности пеплового чехла губительно сказалось на кустарниках и деревьях на расстоянии не более 4 км от конуса; для травянистой растительности это расстояние было существенно большим, но нигде вторичное поражение не стало площадным, составляя по глазомерной оценке в среднем от 1 до 5% территории.

Изменение условий проходимости было также значительно меньшим, чем в зоне влияния Северного прорыва. Полное сглаживание поверхности древних лавовых полей (кекурника) произошло только в районе седловины между Южным конусом и горой Каменистой, т. е. не далее 1 км от центра извержения. Частичное сглаживание, включая эоловое переотложение, происходило в секторе к западу и северо-западу от Южного конуса в радиусе 5—6 км; далее улучшения условий проходимости почти не произошло.

*Тектонические деформации,* сопряженные с извержением, проявились в форме перемещений земной поверхности. Однако ни из деформаций, измеренных геодезическими методами, ни из числовой модели их источника не удалось извлечь компонентов, относящихся только к ЮП и его подводящему каналу (гл. XV).

#### 4. ВОЗНИКНОВЕНИЕ, РАЗВИТИЕ И ДЕФОРМАЦИИ ШЛАКОВОГО КОНУСА И ЕГО ПОДНОЖИЙ

Прижерловая постройка на ЮП прошла последовательно стадии от удлиненного шлаково-аглоutinатного вала, вытянутого вдоль эруптивной трещины (см. рис. III. 1, 2, 3), до симметричного конуса с кратером, расположенным в его центре (см. рис. III. 20). Границы между этими стадиями были в достаточной степени условными. Можно считать, что симметричный конус окончательно сформировался к февралю 1976 г. С этого момента в течение 9 мес. конус существенно не менял формы, быстро залеживая деформации, вызванные движением лавы внутри него. 7 ноября 1976 г. началось образование эксцентрических кратеров, которые в конце извержения слились в цепочку, снова придавшую конусу вид подковы, открытой на ССЗ (см. рис. III.26, 28).

При образовании Южного конуса привнос или удаление вещества происходили путем накопления пирокластпкки (пирокластической аккумуляции), или разрушения прижерловой части постройки вулканическими взрывами (жерлово-кратерной эруптивной эрозии), или сложного комплекса явлений, связанных с внедрением лавы в основание конуса и ее излиянием через бокки, прорвавшиеся по периметру конуса. Несомненно, что могли происходить пластическое оплывание и гравитационное уплотнение постройки, но оценить их вклад в отдельности не удалось. То же относится и к оседанию всей постройки, связанному со снятием упругих деформаций фундамента и, возможно, с оттоком вещества в подводящих каналах.

##### **Пирокластическая аккумуляция на конусе и в шлаковых холмах**

Южный конус сложен почти исключительно крупной пирокластикой — бомбами и лапилли. В первые дни извержения обрывки расплавленной лавы взлетали в воздух в виде вертикальных лавовых фонтанов и обрушивались к подножиям лавинами ювенильной пирокластики. По мере роста прижерловой постройки в ней росла доля материала, вторично и многократно вовлеченного в эруптивный процесс.

Крупная пирокластика, которую в течение всего извержения ЮП вулкан выбрасывал в полужидком состоянии, скапливалась в большом количестве около жерла в виде полужидких расплескивающихся бомб. Основная часть ее обычно падала обратно в кратер. Дальше от жерла преобладали шлаковые бомбы комковатого облика. Много было округлых, концентрических слоистых бомб с различной пористостью. Иногда встречались бомбы ленточной и цилиндрической формы. Очень редкими были бомбы, представляющие собой удлиненные тела вращения и своеобразные полые бомбы, своего рода лавовые пузыри диаметром до 10—20 см.

Как правило, по периметру конуса, т. е. на расстоянии 250—300 м от жерла, падали бомбы размером не более 0,5 м (скатывались сюда и более крупные). Во время активных эксплозий были возможны падения крупных бомб на расстояние до 400—500 м. Очень редко крупные бомбы падали в 700—800 м от жерла. Возможно, на их баллистике сказались газовые взрывы над кратером (гл. IV).

Шлак и лапилли падали на склоны конуса и у его подножия. Они составляли значительную часть объема конуса и были основным материалом, слагавшим пирокластические холмы. Вулканический песок и пепел частично выпадали на пирокластических холмах, но главная их масса выносилась за пределы конуса и пирокластических холмов.

Известно, что температура раскаленных частиц вулканического пепла и крупинок вулканического песка, выброшенных из кратера, становится равной температуре окружающего воздуха за малые доли секунд, температура вулканического гравия — за секунды, а лапилли — за десятки секунд [Федотов, 1982; и др.]. Вулканические пепел, песок и гравий Южного прорыва падали на землю холодными, а лапилли — сильно остывшими.

Стромболианская деятельность конуса была довольно монотонной. При такой деятельности можно ожидать, что объем нового шлакового конуса будет расти приблизительно пропорционально времени, а его высота и другие линейные размеры — пропорционально корню кубическому из времени. В целом это оправдалось для конуса Южного прорыва. График роста конуса ЮП (см. рис. III.5) похож на график степенной функции, полученной для Первого конуса СП [Токарев, 1982] (гл. XI). График выполаживается со временем, но тенденция роста, несмотря на эпизоды понижения высоты, продолжается до начала ноября 1976 г. Стабилизация, достигнутая в ноябре, может быть объяснена деформационными процессами и уменьшением количества пирокластики.

Распределение падающей пирокластики определялось формой жерла и ветровым сносом. Пока извержение шло через трещину, распределение подчинялось симметрии относительно трещины. Когда процесс сосредоточился в одном жерле, распределение стало симметричным центрального типа. Поэтому, несмотря на определенную роль ветрового сноса, в ходе извержения поддерживалась правильная, симметричная форма конуса. Угол естественного откоса наружного склона поддерживался в пределах 34—38°.

В начале извержения внутреннее строение конуса зависело от положения эруптивной трещины, расположенной почти по простиранию склона, перпендикулярно уклону местности. Уклон был хорошо подчеркнут направлением, по которому стекали потоки лавы (см. рис. III.9, III.32 и др.). На северо-восточном верхнем крае трещины пирокластик ложилась на древние лавы. Здесь сформировался пирокластический сегмент основания конуса. Близ жерл пирокластика, вероятно частично сваривалась. На юго-западном, нижнем по склону, крае пирокластика падала на поверхность лавы, которая вытекала сначала почти по всей длине трещины и составила лавовый сегмент основания будущего конуса. Южный сектор лавового сегмента основания конуса отличался от прочих секторов большой (до 50 м) толщиной лавового слоя, восточный сегмент конуса был целиком иирокластическим.

Количество пирокластики, накапливающейся на единице площади, максимально на кромке кратера и быстро убывает с расстоянием от него. Наглядное представление об этом дает уменьшение высоты конуса по радиусу. При слабой эксплозивной деятельности в кратере пирокластика гораздо быстрее отлагается в понижениях и брешах, возникших в стенке кратера, чем на его высокой кромке. По этим причинам наиболее сильный дождь пирокластики падал в «воротах» Южного конуса, когда он был еще подковообразным. Шлаковые холмы Южного прорыва образовались из пирокластики, которую лавовые потоки выносили из «ворот» конуса. Позднее к ним причленились сегменты и блоки конуса, отползшие от него.

Пирокластика, выпадавшая на поверхность лавовых потоков, накапливалась или рассеивалась на ней в зависимости от режима течения лавы.

<sup>13</sup> Важные геодезические данные о росте и деформациях Южного конуса приведены в гл. XIV.

При вязкости лавы  $\mu \times 10^4$  Пз скорость течения лавы изменяется поперек ее потока по параболическому закону — она максимальна в середине потока и равна нулю у его краев. Количество пирокластики, выпадающей на поверхность лавового потока, обратно пропорционально скорости его течения. Поэтому у краев потоков лавы, вытекавших из ворот конуса, накапливалось гораздо больше пирокластики, чем в их середине. Определенную роль могло играть и динамическое отеснение плывущих на поверхности обломков шлака от стержня к краям. Возникали бортовые валы. Поднимался уровень лавы, росли в высоту и ширину бортовые валы, затрудняя и замедляя течение лавы между ними. Постепенно все русла, кроме самого крупного, покрылись сплошным чехлом пирокластики. Так возникли шлаковые холмы.

Открытое русло дольше просуществовало в южном секторе. Здесь изливался южный поток лавы, разрушавший и уносивший на себе южную часть конуса в виде полупогруженных огромных блоков пирокластики, по которым было удобно измерять скорость течения лавы. Около жерла этот поток был узким (10—20 м), а в подножиях конуса веерообразно расширялся. Пирокластические выбросы, падавшие на лавовый поток, также выносились им за пределы подножий конуса. Уровень лавы в жерле и начале потока непрерывно поднимался, и за октябрь и первую неделю ноября 1975 г. (за время существования этого сектора) поверхность лавы оказалась примерно на 50 м выше доэруптивной поверхности. Соответственно росла и гидростатическая нагрузка на лавоводы под шлаковыми холмами, пока наконец они не приняли на себя весь расход лавы, а истечение лавы через вершинный кратер подковообразного конуса не прекратилось.

Таким образом, превращение подковообразного конуса с единственным эксплозивно-эффузивным кратером в замкнутый конус, в кратере которого происходит только эксплозивная деятельность, а лава течет по горизонтальным лавоводам, связано с подъемом лавы в жерле.

Шлаковые холмы, как стало ясно позже, продолжали медленно ползти на запад; это движение, однако, уже не препятствовало накоплению свежей пирокластики в их восточной части и достраиванию таким образом пирокластического конуса. Погребенный под конусом участок шлаковых холмов с их лавовым основанием составил западный сектор в пределах лавового сегмента основания конуса (см. рис. III.4).

В результате прорывов лавы на северном участке растущего конуса возник северо-западный сектор с лавовым основанием и грядово-холмистым несплошным чехлом пирокластики на его поверхности (так называемые сентябрьские лавы). Сентябрьские лавы с теплым грунтом, с укрытиями от ветра любых румбов служили промежуточной базой для наблюдателей до тех пор, пока в мае-июне 1976 г. они не были залиты лавами из бокк 1 и 8 (см. рис. III. 3, б.). Пирокластика представляла собой хорошую теплоизоляцию для погребенной под нею лавы. При повышении напора со стороны жерла эта лава приходила в движение, что приводило к образованию вторичных бокк по краю шлаковых холмов в октябре — ноябре 1975 г. С 7 ноября 1975 г. до конца августа 1976 г. лавоводы, периодически действующие под шлаковыми холмами, временами пропускали сквозь себя всю лаву. Очередные импульсы работы бокк по краю шлаковых холмов сопровождалось образованием или обновлением длинных, узких и глубоких (до 20 м) грабен в тылу этих бокк, на поверхности шлаковых холмов. Эти структуры проседания свидетельствовали о том, что под шлаковыми холмами скрывались по крайней мере три самостоятельных лавовода — зоны I, II и III (см. рис. III.16, 17, 28) — что кровля этих лавоводов обладала малой механической прочностью. Такие лавоводы с насыпанной извне аллохтонной кровлей названы лавоводами I рода [Цюрупа, 1979г]. Лавоводы с автохтонной кровлей, состоящей из уже застывшей лавы того же самого потока (лавоводы II рода),

рассмотрены ниже, в разделе «Строение и особенности образования лавовых потоков и лавоводов».

Лавоводы I рода в отличие от лавоводов II рода способны активизироваться не через 3—4 недели, а через несколько месяцев кажущегося покоя. Вероятно, это можно объяснить наряду с хорошей теплоизоляцией большими поперечными сечениями лавоводов I рода, в частности большой высотой, о которой свидетельствует глубина грабенов над их кровлей. Возникновение лавоводов таких размеров связано с размерами погребенных лавовых русел, хотя нельзя исключить участие последующего набухания под напором лавы.

### **Жерлово-кратерная эрозия**

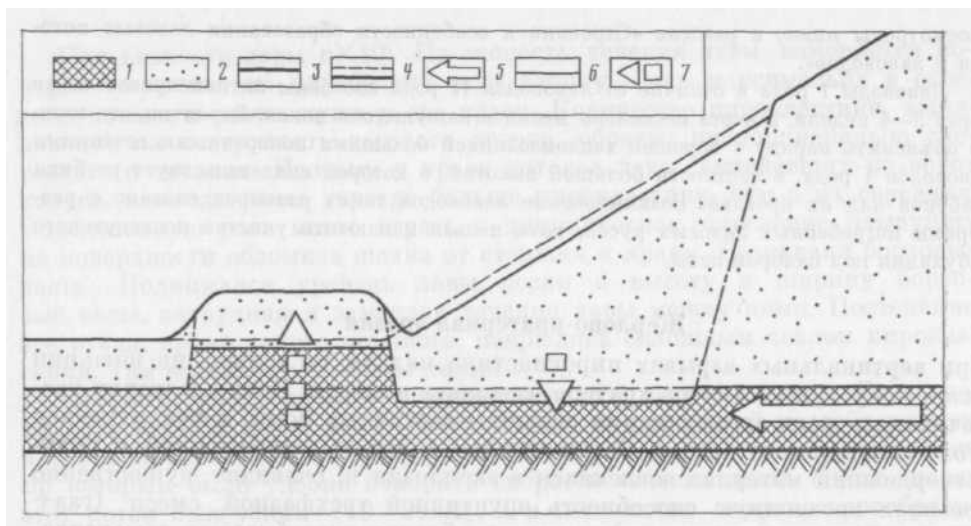
При вертикальных взрывах пирокластика падала не только на внешний склон конуса, но и внутрь кратера, ссыпаясь в жерло. Ближе к жерлу увеличивалась роль агглютинации свежих пластичных бомб, и увеличивался угол естественного откоса. Осыпавшийся в жерло затвердевший и полужатвердевший материал вовлекался в эксплозии и, очевидно, существенно повышал эрозионную способность эруптивной трехфазной смеси (газ+расплав+твердое вещество): процесс обладал способностью самоусиления. При этом росла степень измельчения вторично вовлеченного материала и росло количество мелкого авторезургентного пепла. Наблюдения показали, что обильные выбросы пепла стали постоянными, когда конус достиг высоты 130—140 м, и часто происходили вслед за максимумами расходов лавы. Предполагаемая в этот период «бризантность» [Ковалев и др., 1980] еще более усиливала эрозионный процесс. Размер кратера вначале регулировался только осыпанием наружу и внутрь. Однако по мере роста конуса, с момента завершения симметричной постройки и до начала массовых прикратерных деформаций, т. е. с марта по октябрь 1976 г., ослабление эксплозивной деятельности приводило к отставанию кратерной эрозии от аккумуляции и к образованию террас и крупных плоских площадок на вершине конуса (как, например, в августе). Отношение диаметра кратера к высоте конуса с ноября 1975 г. уменьшилось к сентябрю 1975 г. с 1,4 до 0,93. Основной причиной понижения общей высоты конуса были процессы, идущие внутри него, хотя отдельные эпизоды понижения высоты конуса в некоторой степени были сопряжены с усиленными выбросами авторезургентного пепла (см. рис. III.5).

Количество жерл в кратере менялось от 1 до 4. Важно отметить, что только с ноября 1976 г. жерла располагались в основном в ССЗ направлении по азимуту 335—340°. Раньше одновременно действовали два жерла, вытянутые чаще всего в широтном направлении, которое отражало особенности внутренней структуры конуса, а не ориентировку питающей трещины.

### **Внедрение лавы в конус и его деформации**

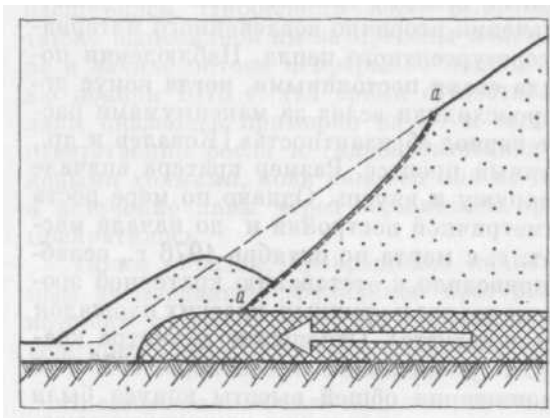
Лавы неоднократно появлялись из-под конуса там, где не было погребенных лавоводов, т. е. она внедрялась в шлаковый конус и постепенно пробивалась сквозь него наружу. Совокупность явлений при прорыве бокк 10 и 11 в апреле и августе 1976 г. показывает, что внедрение шло широким фронтом, хотя каждая бокка какое-то время действовала в одной точке периметра основания конуса. Причиной прорыва было, очевидно, гидростатическое давление столба лавы внутри растущего конуса.

Первым внешним проявлением внедрения лавы в конус можно считать смещение бокк у южного подножия конуса против часовой стрелки (см. рис. III.7, г; III.10, а). Это произошло при высоте конуса 110—120 м. Если принять высоту стояния лавы равной 60—90 м (0,5—0,75 высоты конуса)



**Рис. III.33.** Схема образования выступа (выдвинутого блока и оползня) в основании шлакового конуса при прорыве лавы

1 — жидкая лава; 2 — пирокластика; 3 — поверхность до извержения; 4 — границы до деформации (пунктирная линия) и после деформации (сплошная линия); 5 — поверхность отрыва оползня; 6 — направление течения лавы; 7 — направление изостатических перемещений



**Рис. III.34.** Схема образования выжатого блока у подножья шлакового конуса

Условные обозначения см. на рис. III.33

и плотность слабодегазированной лавы  $2 \text{ г/см}^3$ , давление на уровне подошвы составит 12—16 бар. Позже, когда конус достиг высоты 150 м при той же степени заполнения жерла, давление могло повыситься до 15—24 бар.

Проникновению лавы в тело конуса способствовали непрерывные сотрясения конуса, о силе которых свидетельствуют две характеристики. Смещение грунта на расстоянии 0,8 км от центра извержения составляло 0,3—2 мкм в интервале частот 0,5—3 Гц [Гордеев и др., 1978]. На расстоянии 0—0,2 км смещения были значительно больше. Энергия каждого внутрижерлового взрыва (прохождение газового пакета) при средней частоте 10 в минуту равнялась  $3,2 \times 10^7$  Дж (гл. IV). Сотрясения конуса при взрывах были настолько большими, что непосредственно ощущались наблюдателями, особенно если они стояли на кромке кратера или на корке лавового потока.

Два понижения конуса в ноябре 1975 г. и в марте 1976 г., зафиксированные геодезически (см. рис. III.5), произошли за 1—3 недели перед прорывами бокк 7 и 10 соответственно. Понижение конуса и одновременное уменьшение диаметра кратера могли означать гравитационное оседание, которому, вероятно, способствовало внедрение лавы. В эти периоды на склоне конуса происходили быстрые (от нескольких минут до нескольких часов) локальные деформации.

Деформации конуса, непосредственно предшествующие образованию бокк, относятся к двум видам. Так, перед образованием (в апреле 1976 г.)

бокки 10 у восточного подножия конуса поднялись три уступа. Их апикальные части подверглись радиальному растрескиванию под влиянием напора снизу. Выше этих выжатых блоков на склоне конуса сформировалось широкое проседание. Деформации такого типа предшествовали также образованию в конце августа 1976 г. бокки 12 у западного подножия конуса (см. рис. III.24), где механизм явления — вертикальное выжимание — был установлен также по обнажившимся поверхностям сместителей [Щюрупа, 1979<sub>2</sub>]. Такое сочетание положительных (нагрузка сверху минимальна) и отрицательных (нагрузка сверху велика) вертикальных смещений показывает, что перераспределение лавы под областью деформаций шло, вероятнее всего, по механизму изостатической компенсации (рис. III.33).

При прорыве бокк 10, 11 и 13 непосредственно перед излиянием лава выталкивала перед собой отдельные блоки конуса. При этом часть склона конуса, расположенная выше, теряла поддержку, формировался оползень с параболическим или П-образным контуром оползневого цирка (см. рис. 22, рис. III.34).

Подобные наблюдения позволяют сделать вывод, что лава, внедряясь в тело конуса, отвоевывала объем, раздвигая, приподнимая и частично уплотняя несцементированную пирокластику конуса. Вулканическое дрожание, возможно, помогало процессу внедрения. Примечательно, что рассмотренные выше деформации развивались быстро и что отделенные участки конуса перемещались целиком, не теряя сплошности. Сопутствующие небольшие оползни постройки конуса лишь осложняли процесс его деформации, да и то лишь при горизонтальном выдвигании блоков.

У подножия конуса возникали охватывавшие его *дугообразные валы*. Такой вал медленно образовался у южного подножия конуса. Шарнир этого вала был осложнен трещиной разрыва глубиной 5—7 м. По-видимому, вал возник при медленном выдавливании вещества из-под конуса и одновременном оседании самого конуса.

Возникали также дугообразные трещины, которые огибали конус у самого его подножия. По этим трещинам происходило оседание конуса, за трещинами лавовое подножие вздымалось.

Подвижки по опоясывающим трещинам неоднократно возобновлялись. В разных участках дугообразных трещин (зоны VII—IX и XIII) возникали и подолгу действовали фумаролы и горнитосы и происходили небольшие излияния лавы.

Деформации конуса и прилегающих к нему участков поверхности лавового поля показывают, что потенциально подвижная лава могла занимать под ними полосы шириной до 100—250 м.

*Образование больших отторженцев конуса* было важной и интересной разновидностью его деформаций.

С начала Южного прорыва лава, разрушая конус, уносила на себе его части, и по мере расширения подконусного лавовода эти отторженцы могли достигать весьма значительных размеров.

Образование отторженцев наблюдалось в зонах VII, XI и XII, причем один из них — Верблюд (в зоне VII) — вначале имел высоту 60—65 м. Он был отнесен на 120—130 м. Выемка, оставшаяся после него, быстро осыпалась и заравнялась, но этот участок остался ослабленным: поверхность отрыва Верблюда неоднократно подновлялась в результате оползаний залечивающей массы. При этом на поверхности конуса возникали (11.VIII и 6.IX 1976 г.) конические осыпные воронки, расположенные по дуговой трещине. Впечатляющие рождение и перемещение Верблюда описано выше и показано на рис. III.13—III.15.

Большие отторженцы имели, по мнению С. А. Федотова, много сходства со скользящими блоками оползней, отделившимися от крутого склона

или обрыва. Такие блоки могут двигаться под действием боковой силы по наклонной, горизонтальной и даже полого поднимающейся поверхности скольжения. Между уступом склона и скользящим блоком остается так называемый пластичный клин.

Плоскостью скольжения для отторженцев служили, вероятнее всего, большие плоские скрытые лавоводы или пластовые внедрения в толщу слоев лавы и пирокластики у подножия конуса. Так перед Верблюдом вместе с ним перемещался исток лавовой реки.

В отличие от обычных оползней, которые перемещаются под действием только силы тяжести, выталкиванию и растаскиванию отторженцев могли способствовать также лавовые потоки, скрытые под ними.

Концентрические оседания в прикратерной области, а на заключительной стадии извержения и секторные оседания в зоне XIII (на ССЗ склоне конуса), очевидно, возникли вследствие опустошений внутри самого конуса. Они развивались одновременно с возникновением эксцентрических эксплозивных кратеров.

### **Деформации шлаковых холмов и отторженцев**

Наблюдались четыре типа деформаций шлаковых холмов.

1. Медленное горизонтальное перемещение, связанное с оползанием холмов. Скорость такого перемещения, оцененная инструментально, достигала 1 м/сут. К июню 1976 г. холмы были отнесены от конуса, и между склоном конуса и тыловым скатом пирокластического чехла холмов (достигавшего здесь высоты около 20 м) образовалась серповидная долинка, своего рода внешний атрио.

2. Заметно дифференцированное воздымание. Скорость воздымания достигала 3—4 м/сут. Оно предшествовало началу деятельности бокки или бокк, расположенных, как правило, по периметру шлаковых холмов, и связано с напором лавы, заполняющей камеры.

3. Резко дифференцированное опускание с возникновением ступеней и провалов с перепадом высот до 10—20 м. Оно сопровождало деятельность бокк и свидетельствовало о частичном опускании кровли лавовых камер и лавоводов. Деформации этого типа могут служить признаком того, что лавоводы I рода не имели мощной лавовой кровли, способной выдерживать существенные нагрузки (в отличие от некоторых лавоводов II рода, лавовых труб).

4. Разрушение шлаковых холмов и растаскивание их фрагментов на поверхностях вытекающих из-под них лавовых потоков наблюдалось главным образом на южном крае шлаковых холмов, в зоне III, и в меньшей степени — на северном, в зоне I. Генезис деформаций этого типа аналогичен образованию отторженцев конуса. Появлению деформаций, вероятно, способствовала большая ширина лавоводов на выходе.

Деформации, которым подвергались отторженцы, соответствуют 1-му и 4-му типам.

### **5. МОРФОЛОГИЯ И ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ЛАВОВОГО ПОЛЯ**

Лавы Южного прорыва отличались большой текучестью (см. гл. IV). По своим характеристикам они в основном относятся к гавайским типам пахоэ-хое (волнистые лавы) и аа (обломочные или шлаково-мелкоглыбовые лавы), будучи очень разнообразными по деталям морфологии и структуре. В их распространении на большой площади ведущая роль принадлежала закрытым горизонтальным лавоводам (лавовым трубам). Именно скрытым стоком под твердым холодным с поверхности сводом объясняется величина полного расхода лавы. Непосредственные измерения в открытых

руслах лавовых речек дали средний расход  $10,8 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $V$  на рис. III.5), вычисленный на основании фотограмметрически определённого объема лавового поля; средний расход равен  $24,9 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $V$  на рис. III.5). Иными словами, полевые наблюдения зарегистрировали лишь 43% расходов, оцененных геодезическими методами. В феврале-марте и летом 1976 г. бывали дни, когда на доступной наблюдателям территории не удавалось заметить никакого видимого перемещения лавы. Это вызвало необходимость подробно остановиться не только на процессах, связанных с видимым перемещением лавы, но и на процессах, происходящих под вознившими ранее поверхностями и структурами, в частности на процессах образования лавоводов.

### **Структуры и особенности образования поверхности лавовых потоков**

Поверхность лавового потока отражает его физические свойства.

Форма и скульптура поверхности определяются соотношением застывания свободно текущей жидкости, растягиванием, сжатием, отрывом и изгибом вязкой лавы и ее растрескиванием. Скульптурные формы иногда возникают в результате скольжения или волочения.

Гладкие, глазурованные поверхности в лавах ЮП встречаются в газовых полостях и в сводах лавовых туннелей, где они могли оплаиваться газом, более горячим, чем лава. Для таких полостей характерны глазурованные сосульки обычно до 10–20 см длиной. На поверхности потоков преобладают скульптуры нитчатые, игольчатые, кружевные, занозистые (рис. III.35, см. цв. вкл.), в образовании которых большую роль играют газовые пузырьки. Объемная доля пузырей, т. е. пористость, лавы ЮП меняется для поверхностных слоев потоков, по замерам А. И. Цюрупы, от 30 до 55% близ конуса и от 22 до 41% на удалении почти 5 км от него. Для внутренних частей потока она меняется в пределах соответственно 17–34 и 14–24%.

Поверхности излома при хрупких деформациях ровные, но не гладкие, а шероховатые. Наблюдения на ЮП показали, что тип поверхности лавового потока определялся преобладающим типом деформации: пластичным или хрупким.

Одним из распространенных типов поверхности лавовых потоков был плоскоглыбовый или пластинчатый, когда поперечник обломков затвердевшей корки значительно превышал их толщину (рис. III.36). При замедлении течения лавы, сопровождавшем ее растекание, плиты сталкивались, поворачивались, надвигались друг на друга, и возникала торосистая поверхность.

Менее распространенными были канатные лавы (рис. III.37). Образование канатной лавы наблюдалось там, где перемещение «кожи» тормозилось, тогда как жидкая лава продолжала течь под ней, собирая корку в складки. Складки оказывались при этом вертикальными или наклонными, дугообразно изогнутыми по течению. Причиной торможения могли быть борта потока, кровля входа в лавовую трубу (см. рис. III.25, в), а для узких языков лавы шириной около 1 м — само наклонное основание, по которому стекал язык.

Горизонтально-слоистые лавы, похожие по генезису на канатные, возникают при пульсациях уровня лавы. Пульсации поднимают лаву на край препятствия (бортового вала, дамбы), а при оттоке складка гибкой непрорванной лавовой «кожи» остается на нем в виде очередного слоя, сложенного вдвое (см. рис. III.19).



**Рис. III.36.** Плоскоглыбовые (плитчатые) лавы. Снимок В. А. Будникова



**Рис. III.37.** Канатные лавы. Снимок Ю. Б. Слезина



**Рис. III.38.** Гладкие лавы («шоссе») с изборожденной поверхностью.  
Снимок А. И. Цюрупы

Движение потока происходило от наблюдателя, слева видна отставшая и надвинутая поверхностная корка, под которой местами образовались канатные структуры. Длина ручки молотка 70 см



**Рис. III.39.** Выжимки (тюбиковые лавы) на фронте потока.  
Снимок А. И. Цюрупы

Длина ручки молотка — 70 см

При вытекании лавы из-под свода лавовой трубы при отсутствии просвета между лавой и кровлей трубы лава как бы «прокатывается» под кровлей и все неровности свода отражаются на поверхности лавы в виде параллельных борозд. Такие лавы в пределах лавового поля образовывали длинные полосы, так называемые «шоссе», которые протягивались от истоков вторичных лавовых бокк и встречались на любых удалениях от конуса (рис. III.38).

Разнообразна по форме лава, которая выжимается через промежутки между лавовыми глыбами, через разрывы корки предшествующих порций лавы. В зависимости от степени пластичности выжатой лавы возникающие формы могут тут же трансформироваться или застывая сохраняться. Порции жидкой лавы, выжатые через отверстия, способны складываться и изгибаться с образованием «кишечных» лав. Наблюдались они

редко. Однако формы, образованные более вязкой лавой, относятся к числу самых распространенных. Поверхность их часто плоскогранная (рис. III.39). Встречаются шаровые выжимки, иногда способные отрываться от субстрата.

Шлаково-мелкоглыбовые лавы типа аа (или обломочные) — одна из распространенных разновидностей лав на ЮП. В ее образовании важную роль играют не только пластичные, но и хрупкие деформации. Лавы типа аа наблюдались во время их формирования в бокке 6 в июне 1976 г. При медленном, постепенно ускоряющемся течении лавы в русле с постоянной шириной 4—5 м во внешнем слое и толщиной 30—50 см образовывались прямые трещины разрыва, протягивающиеся на всю ширину русла. Трещины расчленили поверхность потока на отдельные призмы и плиты толщиной в среднем 30 см. Там, где поток начинал растекаться вширь, пластичный субстрат растягивался, корка потока разрывалась и плоские глыбы растаскивались в направлении, поперечном к оси потока. Процесс завершался на участках замедления течения, где происходили отрыв от лавы, сталкивание и торошение фрагментов корки.

На лавовом поле Южного прорыва встречались поверхности глыбового типа, в которых глыбы утратили первоначальное взаимное расположение и превратились в беспорядочный навал (см. рис. III. 31). Это структуры, возникшие в результате хрупких деформаций верхних слоев лавы и накопления глыб. Первоначальное растрескивание слоев вызывалось температурной контракцией. Изгибы поверхности отрыва глыб и характер штриховки на них свидетельствуют об остаточной пластичности, но иногда этих признаков не бывает. На ЮП глыбы часто только разобшались без перемещения их, например, при воздымании и раскалывании на плиты кровли лавоводов.

### **Строение и особенности образования лавовых потоков и лавоводов**

Лавовые потоки на Южном прорыве относятся к типу сложных потоков [Walker, 1972]. Каждый из них состоит из множества единичных потоков и тел: от крупных языков объемом в несколько миллионов кубических метров до отдельных пальцев и выжимок объемом в доли кубического метра. Ведущую роль в возникновении и развитии лавового поля играли лавовые трубы — лавоводы. Поэтому далеко не все было доступно прямому наблюдению.

До БТТИ наиболее изученными в потоках гаванского типа были процессы на фронте потоков, а также в районах питающих бокк, где текут раскаленные лавовые речки и на глазах наблюдателя растет кровля лавовых труб [Greeley, 1971, 1972; Peterson, Swanson, 1974]. Наблюдения на БТТИ позволили выявить ступени потоков как тип структуры крупных единичных потоков, соответствующий определенной стадии развития сложного потока [Андреев и др., 1978]. Сущность явления заключается в том, что поток останавливается при толщине фронтальной части меньшей, чем требуется для возобновления движения [Слезин, 1981]. Если лава продолжает поступать к этому участку потока, она должна сначала накопиться до определенной толщины, прежде чем сможет прорвать застывшую корку и продолжать движение. Структуры набухания и образуют ступени, которые после прорыва частично опустошаются. Слабая и топкая кровля структур набухания при этом проваливается, а прочная и толстая образует свод над опустошенными объемами. Так возникают лавовые пещеры: лабиринт камер и ходов в области набухания и длинные туннели в питающих лавоводах (лавовых трубах) [Федотов и др., 1978.; Слезин, Цюрупа, 1979].

Длина ступеней на лавовых потоках ЮП составляла 1—2,5 км. Длина лавовых речек у питающей бокки обычно была 150—200 м. Это означает, что между фронтальной частью ступени, где образуются структуры набухания, и лавовыми речками остается примерно 0,9 длины ступени потока. Механизм наращивания кровли и образования лавовой трубы на месте лавовой речки был описан ранее [Greeley, 1971, 1972]. Он в подробностях десятки раз наблюдался на Толбачинском извержении. Это интересное, эффектное явление, но оно составляет лишь одну, доступную прямому наблюдению часть процесса образования лавовых труб. О другой, скрытой части процесса — накоплении лавы в толще потока — имеется меньше сведений [Макдональд, 1975]. Наблюдения на ЮП позволяют в известной мере восполнить этот пробел.

Рассмотрим историю типичного потока на ЮП, изливающегося на относительно ровную слабонаклонную поверхность с начальной вязкостью  $\mu \times 10^4$  Пз и расходами питающей бокки 10—25 м<sup>3</sup>/с.

В первые минуты и часы поток быстро удлиняется по направлению уклона местности. Высота фронта составляет 1,5—2 м, толщина увеличивается к осевой части. Передовая часть потока за первые сутки продвигается на 0,5—3 км, что соответствует скорости 20—125 м/ч. На фронте потока, где он движется широким языком, происходит непрерывное его растекание. Наступление флангов, расширение потока совершаются гораздо медленнее — со скоростью от единиц до первых десятков метров в сутки. Скорость расширения обычно минимальна близ самой бокки. Здесь поток в первые же часы начинает расширяться только малыми ответвлениями («пальцами») или мелкими порциями лавы, переливающимися через бортовой вал. Поперек потока скорость перемещения поверхности растет по параболическому закону от краев к осевой линии, а вдоль потока возрастает по направлению к бокке. Близ бокки, где поток наиболее узок, градиент поперечного распределения скоростей максимален. Здесь в границах почти неподвижных бортов образуется и углубляется устойчивое русло лавовой речки.

Русло речки расширяется и границы его становятся менее ясно выраженными по мере удаления от бокки. На поверхности речки образуется фрагментарная корка, превращающаяся в сплошную вниз по течению. В 200—500 м ниже бокки речка достигает ширины от нескольких десятков до 150—200 м и наконец теряется в широком потоке среди медленно движущегося сплошного слоя корки с поверхностью типа аа или покрытой плоскими глыбами, встороженными, как лед в ледяных заторах на реке.

Спустя несколько дней после прорыва бокки (от 3—4 до 10—15, в зависимости от расходов лавы) в движении поверхности, там, где она покрыта сплошным слоем корки, нередко развивается дискретность течения, известная ранее, например, на потоках Мауна-Улу (Гавайи) [Swanson et al., 1979]. Это явление наблюдалось, в частности, на потоке бокки 1 в мае 1976 г. Поверхность потока распалась на продольные полосы, двигавшиеся с различной скоростью, при этом осевая полоса была наиболее быстрой, краевые — наиболее медленными. Между соседними полосами возникали протяженные швы (трещины скола или линии сдвига), а внутри каждой полосы корка двигалась как единое целое.

Самая внешняя зона представляет собой «реологический» бортовой вал, математическое моделирование процесса образования которого было выполнено Хьюмом [Hulme, 1974]. Очевидно, дискретные зоны с различными скоростями движения должны иметь подобную реологическую природу.

Претерпевает изменения форма потока. Первоначально поток имеет форму праймальной длинной плоской капли. В течение нескольких первых дней (тем скорее.

<sup>14</sup> Наибольшие скорости течения жидкой лавы (0,2—2 м/с) часто наблюдаются не в истоке речки (в бокке), а в 5—25 м ниже по течению: из бокки появляется слой, заторможенный о кровлю лавовода, но 5—25 м оказываются достаточными для перераспределения скоростей.

чем меньше расходы питающей бокки) разные участки фронта потока начинают неравномерно продвигаться, при этом контур потока в плане становится извилистым. Первоначально эта неравномерность возникает из-за неровностей рельефа и, следовательно, за счет неравномерности питания разных участков фронта. Однако увеличение периметра потока, остывание, дегазация, образование корки ведут к снижению текучести потока (гл. IV). Временное уменьшение расходов лавы может привести к реологически обусловленной остановке отдельных языков и участков потока. Для возобновления течения требуется большая величина напряжений, чем она была в момент прекращения движения, поэтому при увеличении расхода до прежнего уровня эти участки могут остаться неподвижными.

Первоначально непрерывное распределение скоростей течения лавы, вероятно, способно становиться дискретным и по вертикали, как это предполагалось для лавового потока Билуоя [Набоко, 1947]. Признаком этого свойства является следующий этап развития потока — прекращение относительного передвижения полос корки и их полная остановка. В это же время на фронте потока движение продолжается, следовательно, лава продолжает поступать туда уже под сомкнутой, сплошной кровлей. Образование неподвижной кровли происходит на большом протяжении очень быстро, за несколько часов. Она обеспечивает эффективную тепловую изоляцию внутренних частей потока и текущей там жидкой лавы. Этот фактор отмечался ранее [Peterson, Swanson, 1974]. Дополнительным фактором поддержания высокой температуры и подвижности лавы является газ, скапливающийся под кровлей и способный к экзотермическим реакциям<sup>15</sup> (см. рис. П 1.8).

Лавовый поток, развитие которого мы проследили до момента образования неподвижной сплошной корки примерно на 0,9 его поверхности, продолжает наступать, хотя, как правило, очень медленно. Набухает фронтальная ступень (иногда к этому времени успевают возникнуть и последующие ступени). Лавовая речка продолжает существовать только близ бокки. Она быстро теряется под обломками собственной корки, которые накапливаются торосами, и также консолидируется в сплошную кровлю. Эта лавовая речка продолжает питать фронтальную часть потока — другого источника лавы нет. Питание происходит под сплошной неподвижной кровлей, т. е. по лавоводам. Линейный характер лавоводов подтверждается развивающимися на данной стадии узкими зонами набухания и цепочками фумарол. При этом рассматриваемые лавоводы никогда не были руслами лавовых речек.

Таким образом, реологические факторы вели к сужению в поперечном сечении потока области движения лавы, а теплофизические — благоприятствовали сохранению высокой температуры и подвижности лавы в этой ограниченной области. Видимо, именно так в течение 3—10 дней на потоках Южного прорыва возникли лавоводы II рода, которые лишь потом достраивались вверх по течению за счет лавовых речек. Стенки, а частично и кровля этих лавоводов надолго сохраняли высокую температуру и способность к пластичным деформациям и даже разжижению при повышении нагрузки.

Судя по размеру лавовых туннелей в лавах такого же типа прежних извержений в этом районе (см. ниже рис. IV.5), ширина лавоводов находилась в основном в пределах 3—10 м (исключая крупные структуры на-

<sup>15</sup> Горящие газовые факелы наблюдались на ЮП неоднократно. Гореть могли водород и углеводороды, которые составляли около 0,5% (по объему) проанализированных газов [Мархинин и др., 1978; Меняйлов и др., 1978]. Об экзотермических реакциях свидетельствуют оплавление кровли лавоводов с образованием сосулк-сталактитов, незарастающие «слуховые окна» в ней и, наконец, прямые определения температуры газа, которая могла достигать 1300°С при максимальной температуре лавы 1070°С (гл. IV).

бухания). Судить о высоте лавоводов по высоте старых туннелей (1—4 м) нельзя: полное опустошение лавоводов невозможно и, следовательно, их истинная высота больше высоты туннелей.

Несмотря на относительно высокую пропускную способность хорошо изолированных и дополнительно разогретых лавоводов, их поперечник был во много раз меньше поперечного сечения потока, в теле которого они обособились. Лавоводы становились источником возрастающего гидродинамического сопротивления.

Это сказывалось на высоте уровня лавы в открытых руслах выше по течению; на уровень лавы влияли также пульсации в поступлении лавы через бокку. При опускании уровня обнажались стенки русла. Но преобладали поднятия: росли аккумулятивные бортовые лавы; близ бокки многочисленные заплески и мелкие языки наращивали напластование лав по обе стороны от русла. Подпор снизу, если он был невелик, замедлял на какое-то время течение в речках, ограниченных входным отверстием лавовода; по-видимому, именно эти моменты были наиболее благоприятны для образования лавовой корки на речках снизу вверх и для смыкания аккумулятивных бортовых валов. Лавовая труба достраивалась полностью, и лава поступала к удаленным частям лавового потока с минимальными теплопотерями.

Рассмотрим явления, которые происходят при реологически обусловленной остановке фронта потока в разных зонах: ближней (с лавовыми речками), промежуточной (с уже возникшими лавоводами) и дальней (близ фронта потока). В ближней зоне в результате подпора снизу разбухают, растут вторичные бортовые валы с глыбовыми структурами. Возникают новые вторичные лавовые бокки. Близ конуса последовательные порции наслаиваются одна на другую, идет образование приконусного лавового «плато» («лавового пирога») [Rittmann, Tazieff, 1969]. Этот процесс наблюдался в зонах I, II, VII, IX, XI и XIII.

В зонах I, VII и XIII в результате наслоения единичных потоков толщина лавового «плато» близ конуса достигала 40—70 м, а площадь — около 0,25 км<sup>2</sup>. Здесь наблюдалось возникновение лавовых озер: крупных «окоп» над лавоводами, заполненных жидкой лавой. Существование таких озер, видимо, обеспечивалось циркуляцией расплава в относительно крупных камерах, объединяющих лавоводы нескольких ярусов. Об этом свидетельствуют размеры таких структур, как опустошенный колодец глубиной до 20 м и кратер оседания глубиной 6—8 м и диаметром до 200 м в зоне XIII (см. рис. III.29).

В промежуточной зоне также происходят явления набухания. Они не ограничены кровлей лавоводов, но над лавоводами возникают характерные длинные валы, как правило, вскрытые на шарнире зияющей трещиной, нередко с шарообразными выжимками внутри. Выжимки различной формы встречаются во многих участках этой зоны, видимо отражая распределение напора внутри потока и ослабленные места кровли.

Дальняя зона набухает особенно сильно. Образуются лавовые пещеры и лабиринты. Фронтальная часть ступени растет в толщину. Наблюдаются многочисленные выжимки. Отдельные небольшие потоки и «пальцы» надстраивают фронт.

Для ЮП не было характерно образование лавовых сводов — тумулюсов, т. е. более или менее изометричных замкнутых по гипсометрическим контурам структур набухания диаметром в десятки и первые сотни метров. Роль сводов как накопителей лавы на ЮП играли преимущественно приконусовые лавовые «плато» и фронтальные участки ступеней. Для них отмечалась скорость воздымания до 10 м в сутки [Леонов, Храмов, 1979]. Крупнейшими структурами такого рода были Южный свод летом

1976 г. и приконусная часть (зоны XIII и XI) в октябре — декабре 1976 г.

При достаточно продолжительном поступлении и накоплении лавы (более 10—15 дней) на фронте ступени прорываются 1—3 крупные вторичные бокки и начинает расти следующая ступень лавового потока. На поверхности основной ступени уменьшение напора вызывает образование различных структур оседания и обрушения: остаточных бортовых валов, крупных площадных провалов «плато» и т. д. (см. рис. III.29). Этот процесс мог повториться несколько раз. Лавовые трубы последовательных ступеней могли объединяться. В этом случае прорывы бокк или, наоборот, остановка фронта удаленной ступени могли сказываться в нескольких километрах выше по потоку.

Распределение разных форм лавовой поверхности в пределах потока подчиняется пространственной закономерности. Чем дальше от конуса, тем меньше форм, свойственных жидкой лаве: канатных лав, тонких языков гладких лав, маломощных (0,2—0,5 м) подвижных языков типа аа. Всевозможные формы выжатых лав встречаются на любых удалениях от конуса. Однако под почти монолитной коркой последних очень часто обнаруживается внутренняя канатная поверхность.

Почти одновременно и совсем рядом могут происходить излияния малых порций лавы, весьма различающейся по вязкости. Это подтверждает существование в рамках единой гидродинамической системы внутри потока участков, находящихся в разном физическом состоянии.

Распределение разного рода вторичных прорывов и выжимок на поверхности крупного потока хорошо выявляется с помощью обычной и ИК-аэрофотосъемки [Гусев и др., 1979].

Лавовое поле, созданное деятельностью ЮП, состоит по крайней мере из шести отдельных сложных потоков (см. хронологию и схемы развития лавового поля). Лавовый поток заполнял понижения и в конечном итоге вызывал обращение рельефа. Следующий поток или язык потока заполнял промежутки между предшествующими потоками. Поэтому лавоводы верхнего потока смещены в плане относительно лавоводов нижнего потока.

Заканчивая раздел, надо отметить, что наряду с реологическими действуют более обычные гидродинамические факторы, приводящие к сходным результатам. По наблюдениям С. А. Федотова, на Южном прорыве в осевой части многих больших застывших языков лавы отчетливо прослеживаются лавоводы (они располагаются как средняя жилка в листе растения). Это длинные узкие валы с растрескавшейся кровлей, если внутри лавоводов было избыточное давление. Это длинные желоба, если произошло опустошение лавоводов и их кровля прогнулась. Очевидно, что происходило стяжение плоского лавового потока в центральный округлый канал, находящийся в его толще. Причиной стяжения была минимальная скорость течения вязкой лавы у бортов, дна и корки потока (как только она образуется). Здесь лава застывает. Оставшийся в толще потока канал (лавовод, лавовая труба) приобретает такие размеры, при которых теплопотери через его стенки компенсируются притоком тепла с лавой. При длительном существовании канала лава размывает и плавит его дно, «намерзая» в то же время на его кровле; вследствие этого лавовод может погружаться со временем в толщу потока.

«Пробки» в лавоводе могут возникать не только из-за скачков реологических свойств и реологического торможения лавы. Уменьшение рас-

<sup>16</sup> Эта особенность, установленная на ЮП, может быть использована при анализе инженерно-геологической обстановки в районах, где под рыхлым чехлом наносов скрыты лавовые потоки, в которых есть трубы и пещеры [Слезин и др., 1981].

хода лавы в питающей бокке ускорит остывание и тоже увеличит вязкость в дальнем конце лавовода; может произойти обрушение массивной кровли лавовода и т. д. После появления «пробок» лава становится способной внедряться в окружающую толщу, легче всего образуя при этом небольшие пластовые тела. Своды ходов и пещер лавовых лабиринтов, найденных в старых потоках (гл. IV), имели по большей части форму плоской арки. Это указывает на то, что они образовались путем приповерхностного пластового внедрения лавы.

Подведем основные итоги главы.

После окончания деятельности СП усилился рой неглубоких землетрясений к югу от него. Спад роя 18 сентября 1976 г. (17 сентября по Гринвичу) завершился новым прорывом.

Извержение ЮП началось раскрытием трещины, которая достигла длины около 600 м. Из трещины сразу же началось фонтанирование и истечение жидкой лавы. Крупная ювенильная пирокластика, которая возникала при фонтанировании, скапливалась восточнее трещины и разносилась на поверхностях лавовых потоков, которые растекались западнее нее, под уклон местности. Объем вещества лавовых потоков с первого дня был намного больше объема пирокластики (см. табл. III. 3). Такой характер извержения сохранило на протяжении всех 15 мес. При этом по мере роста приконусной постройки в составе пирокластики все большую и большую долю составлял вторично вовлеченный (авторезургентный) материал, дополнительно измельченный при вулканических взрывах.

Между 27 сентября и 4 октября 1975 г. извержение сосредоточилось в единственном, более или менее изометричном жерле. Лава стояла в нем в виде бурлящего озера с поперечником 20—30 м и вытекала через разрыв (ворота) в прижерловой постройке, которая к этому времени приняла подковообразную форму.

С 8 ноября истечение лавы происходило через многочисленные, сменяющие друг друга бокки. Они возникали на разных расстояниях от конуса, временами до нескольких километров от него, но иногда прорывались непосредственно в основании склона конуса. С 8 ноября вал пирокластики замкнулся вокруг кратера, в котором продолжалась только взрывная деятельность. Относительно симметричным конус стал зимой 1975—1976 гг. и, несмотря на многочисленные деформации, сохранялся таким до конца извержения. В конце извержения эксцентрические взрывные жерла, начавшие возникать с 7 ноября 1976 г., слились в единую цепочку, дополнились секторным грабеном и придали вершине конуса вид подковы, открытой на ССЗ, а не на юг, как это было вначале.

Сила извержения мало менялась во времени. Выделяются два главных максимума, проявившиеся как в эффузивной, так и в взрывной деятельности: в начале извержения и в апреле 1976 г. Третий максимум, бывший в июле 1976 г., проявился в кратковременном увеличении расходов лавы и в повышении ее вязкости с  $10^4$ — $10^5$  до  $10^6$  Пз. Форма этих максимумов резко асимметрична: быстрый, скачкообразный подъем и медленный монотонный спад.

Взрывная деятельность представляла собой взрывы стромболианского типа, следовавшие с частотой от 30—40 до 1—2 в минуту. Частота и высота выбросов была наибольшей в первые 2 месяца извержения и в апреле — мае 1976 г. В конце марта и в июле — августе 1976 г. временами взрывы были такими слабыми, что кратерная воронка уменьшалась до 0,1 диаметра верхнего среза конуса.

Основным геологическим результатом деятельности ЮП стало формирование лавового поля площадью 35,9 км<sup>2</sup> и объемом 0,968 км<sup>3</sup>. Рост площади лавового поля происходил преимущественно в первые три месяца извержения; позже увеличивалась в основном его толщина. Примечательно, что примерно половина объема лавового покрова появилась в результате скрытого внедрения лав в толщу напластований предыдущих лавовых потоков.

На особенности растекания лавы и морфологию лавового поля в целом влияли в первую очередь общий, довольно устойчивый, хотя и небольшой (около 4°) уклон местности на ЮЮЗ и формирование системы лавоводов и резервуаров-накопителей в его теле. Важным фактором являлась высота стояния лавы в жерле конуса и давление, которое оказывал этот столб на шлаковую постройку и лавоводы.

По мере роста участка лавового поля, непосредственно примыкавшего к конусу с запада, очередные потоки, истекавшие из бокк с южной, восточной и северной сторон, огибали его с юга или севера, но в конце концов неизменно разворачивались к ЗЮЗ, надстраивая лавовое поле вширь узкими параллельными полосами. Перенос лавы по закрытым лавоводам способствовал растеканию ее на большой территории с минимальными теплотерями. Установлено, что лавоводы разделяются по способу образования на лавоводы с лавовой (автохтонной) кровлей, которые возникали в течение всего извержения, и лавоводы с толстой подушкой пирокластики над ними (аллохтонной кровлей), которые образовались в начальный период извержения. Лавоводы с аллохтонной кровлей отличаются способностью к возобновлению движения лавы по ним после остановки на несколько месяцев.

Многokrратно были прослежены все стадии образования лавоводов — лавовых труб с автохтонной кровлей: изливание языка жидкой лавы; обособление русла лавовой речки вдоль него на участке, ближнем к бокке; возникновение лавовода в средних частях потока и, наконец, достраивание кровли лавовой трубы над лавовой речкой, вблизи бокки.

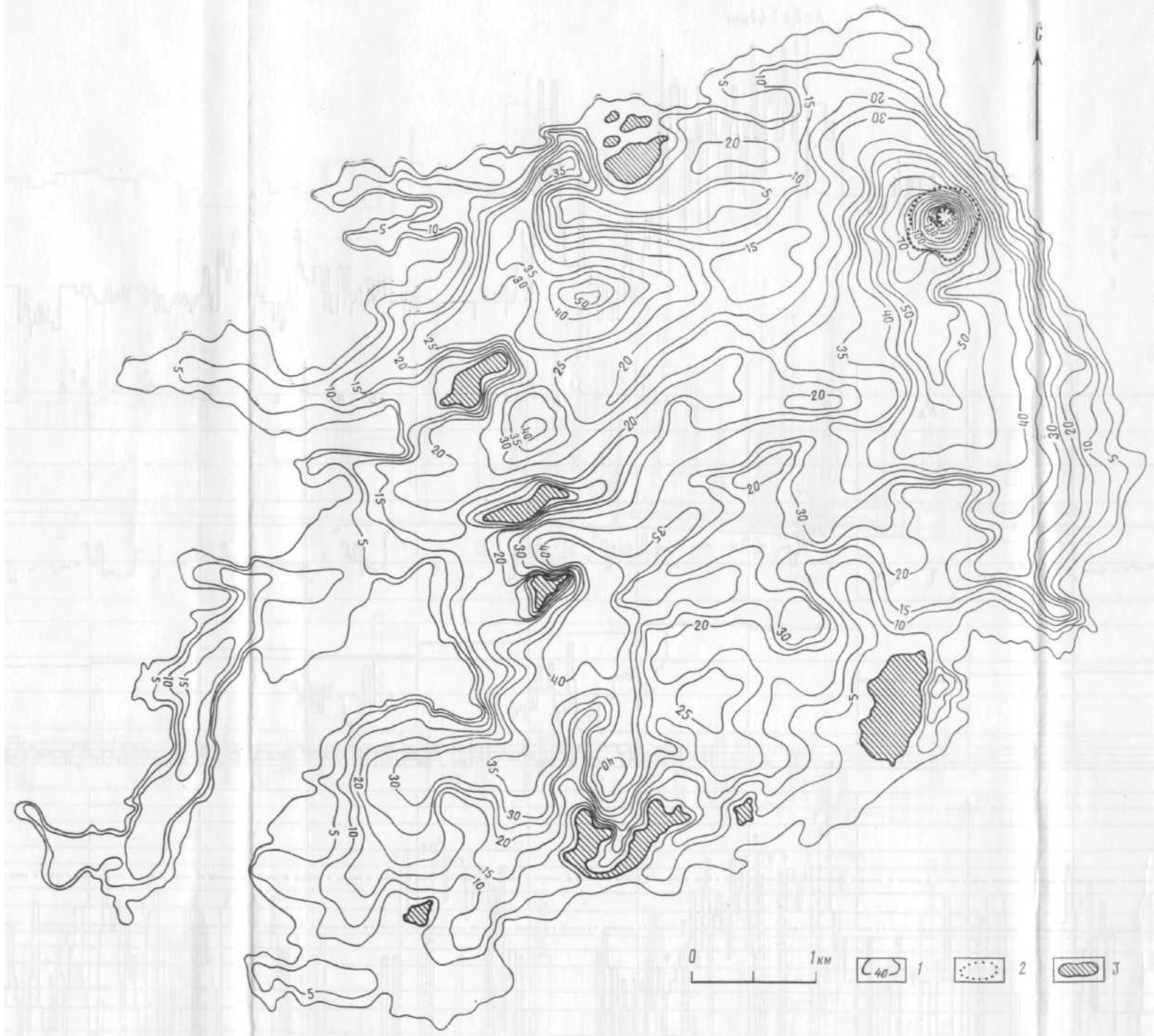
На ЮП наблюдалось образование большинства морфологических типов базальтовых лав и были прослежены их взаимоотношения и закономерности распределения по лавовому полю.

Было установлено, что растекание лавы управляется одновременно гидродинамическими, гидростатическими, реологическими и теплофизическими факторами. Только совместное рассмотрение этих факторов позволяет понять и объяснить наблюдаемые явления и структуры. Закономерно появление в лавах, соответствующих по физическим свойствам лавам ЮП, пещер и лабиринтов лавовых труб в результате частичного опустошения лавоводов и резервуаров-накопителей.

На Южном прорыве впервые в нашей стране представилась возможность видеть во всех подробностях возникновение, рост и развитие базальтового покрова, образованного потоками, лавоводами и внедрениями жидкой базальтовой лавы.

Наблюдения за развитием базальтовых шлакового конуса, шлаковых холмов и лавового поля Южного прорыва и их изучение принесли много сведений, необходимых для понимания морфологии и механизма их образования.





**Рис. III.32.** Карта изопахит лавового поля Южного прорыва. Составлена Н. А. Гусевым, В. Н. Двигало и др. (1979)  
 1 — изопахиты в метрах от подстилающей поверхности (на лавовом поле через 5 м, на конусе через 10 м); 2 — границы конуса;  
 3 — «окна» в лавовом поле



Рис. 1.67. Карта мощностей лавовых потоков и отложений конусов Северного прорыва  
 1—изопахты, м; 2 — участки внутри лавового поля, не залитые лавой; 3 — контуры лавовых потоков.  
 Карта заимствована из работы В. Н. Двигало и др. [1980]