

Б. И. ПИЙП

**ЭРУПТИВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КЛЮЧЕВСКОЙ СОПКИ
в 1944—1945 гг.**

Последний эруптивный цикл Ключевской сопки, как известно (Меняйлов и Набоко, 1938—1940), продолжался с апреля 1937 г. по март 1939 г. Деятельность началась и развивалась сперва в форме терминальных извержений, но потом перешла в латеральную стадию, во время которой из вновь созданного кратера Билукай был излит протяженный поток лавы.

С тех пор, в продолжение почти 6 лет, вулкан находился в состоянии глубокого покоя: днем вершина его или мирно курилась слабенькими струйками фумарол, или вовсе не было видно выделений, а конус, всегда белый от вечных снегов, оставался чистым, незагрязненным, и по ночам огромное темное тело вулкана казалось безмолвным и безжизненным.

В декабре 1944 г. Ключевской вулкан вновь возобновил эруптивную деятельность и проявил ее в той же характерной форме, как и в прошлый раз. Существенное отличие заключалось только в напряженности явлений, в сжатости их и в кратковременности всей деятельности. Очень характерно, что активность Ключевской сопки снова, как и в прошлом, была сопряжена с возобновившимися извержениями других вулканов Камчатки (Пийп, 1946).

Деятельность, как обычно, началась в терминальном кратере в виде непрерывных, постепенно усиливающихся эксплозий, которые через три недели достигли максимума и после этого быстро прекратились. После пятимесячной паузы деятельность возобновилась у подошвы конуса, где из вновь прорванной цепи латеральных кратеров вырвались в огромном количестве газы и произошло обильное истечение той остаточной массы лавы, которая во время терминального извержения не в состоянии была подняться на огромную высоту вершинного кратера. Эруптивный цикл закончился сравнительно умеренным эксплозивным извержением из вершинного кратера, после чего (с августа 1945 г.) вулкан вновь перешел в состояние покоя.

Эруптивный цикл был изучен нами следующими способами:

1) круглосуточными наблюдениями за деятельностью вершинного кратера с расстояния в 32 км из с. Ключи, откуда, с возможной на таком расстоянии точностью и достоверностью, отмечались и записывались все качественные и количественные стороны явлений; наиболее тщательные наблюдения велись в течение декабря 1944 г. и января 1945 г.: наблюдатели: Б. И. Пийп, В. П. Энман и Б. В. Энман;

2) осмотром последствий терминального извержения на склонах конуса — от седловины с сопкой Плоской и далее по горизонталям 1000—1500 м до юго-восточного сектора вулкана (август — сентябрь 1945 г.);

3) восхождением на вершину Ключевского вулкана (совместно с Г. И. Малаховым и К. Ф. Ген), во время которого по склону конуса и на седловине были собраны образцы свежих лав, фумарольных возгонов и газа (август 1945 г.);

4) наблюдением с расстояния около 1 км латерального извержения к непосредственным изучением свежих последствий этого извержения, сопровождавшимся измерением температуры движущейся и застывшей лавы, сбором газов, минеральных возгонов и образцов лавы и топографической съемкой района латерального извержения (июнь, июль, сентябрь 1945 г.).

Ниже, на основании этих исключительно полевых данных, мы дадим сжатую характеристику эруптивного цикла по тем стадиям и фазам, которые отчетливо наметились в ходе развития его.

Прежде чем перейти к изложению материала, необходимо пояснить смысл некоторых часто применяемых нами терминов. Под эруптивным, или вулканическим, циклом мы будем понимать комплекс внешних эруптивных явлений деятельности вулкана между двумя длительными (свыше года) периодами покоя или сольфатарно-фумарольной деятельности. Извержения мы определяем как элементы эруптивного цикла; они могут быть охарактеризованы как непрерывные или почти непрерывные (с интервалами ослаблений или покоя не более одних суток) акты появления в кратере или в любом пункте поверхности вулкана раскаленных или нагретых масс лавы и газа в форме эксплозивных, эффузивных или экструзивных явлений. Серии извержений с какими-нибудь общими признаками, а также длительные паузы внутри цикла мы будем называть стадиями, или этапами, вулканического цикла; отдельные моменты непрерывного извержения можно назвать фазами извержения.

I. ТЕРМИНАЛЬНОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ

Начало извержения

Следуя принятому нами пониманию термина извержения, непрерывная деятельность главного кратера Ключевского вулкана, продолжавшаяся с первых чисел декабря 1944 до середины января 1945 г., должна быть названа именно единым и продолжительным извержением.

Извержение началось неожиданно. Предупреждающих явлений, вроде землетрясений, усиленной деятельности фумарол, необычного таяния снега на конусе и т. п., на этот раз не было замечено. Землетрясение 8 ноября 1944 г. силою около IV баллов, чувствовавшееся в с. Ключи (Пийп, 1946), могло быть одним из таких предупреждений, но, поскольку оно было одиночным и было зарегистрировано только качественно, его направление и другие свойства остались неопределенными.

Извержение было замечено 9 декабря 1944 г. в первую ясную ночь после полосы пасмурных дней, но началось оно, повидимому, раньше. Начальный взрыв, быть может, был возведен тем странным отдаленным грохотом, который 5 декабря в 4 час. 30 мин.¹ утра разбудил многих жителей с. Ключи и который остался тогда загадочным, ибо исключались все местные причины, а вулкан со 2 декабря был закрыт облаками.

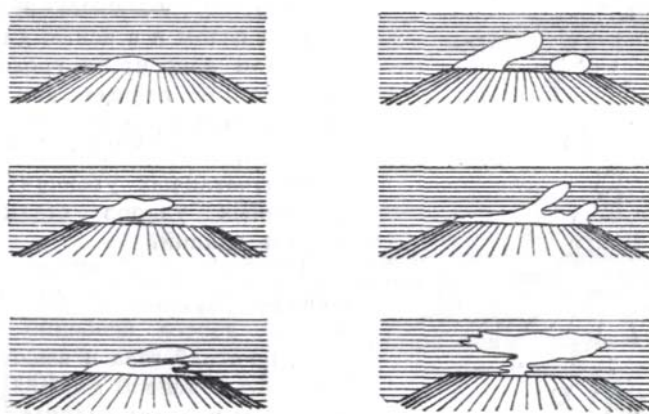
Фаза пепловых эксплозий

9-го, а затем 11 декабря и в течение последующих нескольких ясных дней до 21 декабря картина начальной фазы извержения была однообразной и постоянной. Она заключалась в том, что с наступлением темноты над кратером выступало тусклое огненно-красное зарево, которое, то усилива-

¹ Здесь, и всюду в дальнейшем, указывается поясное время.

ясь, то ослабевая, держалось там всю ночь, тогда как днем из кратера поднимались на высоту 300—800 м компактные серые клубы газа и пепла. На рассвете или во время вечерних сумерек можно было видеть, что заревом охвачено только основание короткого газового столба на высоту не более 200—300 м от кромки кратера.

Тщательные ночные наблюдения за вершиной вулкана показали, что зарево в течение ночи часто и разнообразно меняло свою форму и интенсивность (фиг. 1). Зарево во время этой фазы почти всегда держалось над центральной частью кратера, выступая в форме купола, то крутого — в виде полусферы, то уплощенного, похожего на полоску, едва выступающую над кратером. Часто также наблюдались фигуры зарева в виде наклонных или дугообразных струй, кисти руки, гриба на короткой ножке, конуса



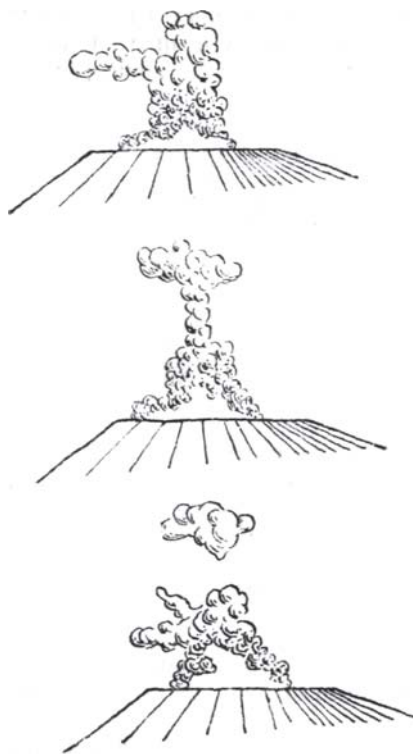
Фиг. 1. Фаза пепловых эксплозий. Формы зарева ночью. 11 декабря 1944 г.

и т. п. Иногда ясно обособлялись два столба, или пучка, как будто исходящих из отдельных пунктов кратера. Наклонные фигуры зарева явно подчинялись господствовавшему на вершине ветру.

Зарево через неправильные интервалы времени, от нескольких секунд до нескольких минут, то ярко накалялось, то столь же медленно тускнело или совершенно исчезало. Период темноты обычно продолжался минуту или две, редко больше. Очень часто зарево одних и тех же очертаний сохранялось длительное время, пульсируя только в яркости. Временами можно было видеть, как яркость волнами переливается снизу вверх. В период темноты, особенно в моменты появления или исчезновения зарева, над кромкой кратера иногда показывалось слабое нежно-голубое свечение, вроде звездного.

Первое время казалось, что зарево вызывается отблеском расплавленной лавы на клубках выступающих из нее газов и паров, как это было, например, на Толбачинской сопке во время извержения в 1940—1941 гг., но дневные наблюдения и внимательный анализ явления показали, что здесь оно было следствием другой причины — раскаленного состояния пепла и песка, выбрасываемых вместе с газом при взрывах. С далекого расстояния густая масса мелких раскаленных частичек лавы, непрерывно выбрасываемых в воздух, создавала эффект устойчивого зарева или пламени; отсюда, между прочим, и то впечатление, которое местное население часто передает словом «горение».

С наступлением рассвета зарево исчезало, и вместо него из кратера выступали компактные серые клубы газа и пепла вида «цветной капусты», которые или сливались друг с другом в отвесный газовый столб, или, при сильном ветре, отдувались вбок в виде мощной густой струи (фиг. 2). Первые клубы газа, выступавшие над кромкой кратера, часто казались шарами, медленно поднимающимися вверх и одновременно расширяющимися. Скорость подъема их до высоты 250 м над кратером была около 5 м в секунду. Серый пеплово-газовый столб взрывов с раздутой или подсеченной



Фиг. 2. Фаза пепловых взрывов. Картина деятельности днем. Утром (на рассвете) или вечером (в сумерки) в основании клубов газа и пепла видно зарево (на рисунке — белое). 15 декабря 1944 г.

Большой частью они падают обратно в кратер, так как высота взлета их не более 200 м, а пункт выброса чаще всего находится в центре кратера.

Днем мощная дымовая масса газа и пепла с поверхностью вида «цветной капусты» четким столбом поднимается уже до высоты 1000—1500 м над кратером. Белоснежное облако, которое венчает его и которое, повидимому, получается за счет крайнего расширения вулканического газа и захвата им влаги из воздуха, доходит до 2000 м высоты. При наличии ветра такие же белые «рыхлые» облака отдуваются от столба взрывов на подветренную сторону, и из них на склоны обильно высыпаются пепел и песок; наветренный контур столба взрывов при этом всегда остается четким и как бы застывшим.

ветром более белой макушкой в описываемый период обычно не поднимался выше 500—800 м.

Спустя несколько дней после начала извержения, с 14 декабря, сперва в пасмурную погоду, когда вулкан был закрыт, а потом и в ясные дни, до с. Ключи стали доноситься грохот и раскаты взрывов. В первые дни звуки были глухие, слабые, едва слышные вне помещений, но потом они усилились и в виде отчетливых ухающих раскатов и одиночных ударов стали слышны и внутри зданий.

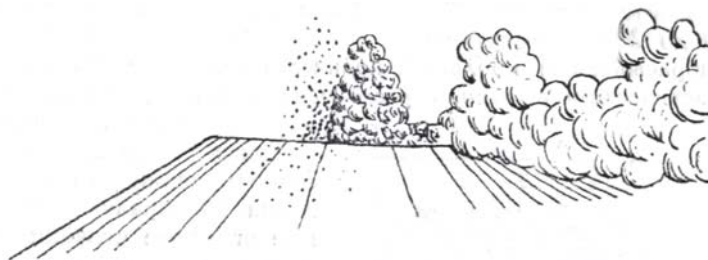
К концу этой фазы деятельность вообще стала более интенсивной. Хотя яркость зарева особенно и не усилилась, но столб газа и высота зарева стали выше — теперь до 1000 м первая и до 500 м вторая; склоны возле кратера стали часто темнеть от оседающего пепла и песка.

Фаза бомбовых взрывов

На этой ступени деятельности характерно появление с 21 по 25 декабря раскаленных вулканических бомб в более мощных, чем раньше, фонтанах взрывов. Зарево по ночам стало более ярким и более широким и высоким. На фоне огненного зарева ясно виден медленный взлет и падение, подобно ярким искрам, вулканических бомб (фиг. 3).

Пеплопады¹ теперь более обильны; конус вулкана на 3/4 высоты стал серым, а местами и совсем черным от выпадающих дождей пепла. К 25 декабря нижняя граница покрытого пеплом пространства четко обозначилась на панораме вулкана в виде полого падающей на восток линии. Пеплом особенно густо посыпаны западные склоны Ключевского и восточные — Средней и Плоских сопок. Впервые в ночь с 24 на 25 декабря пепел тонким налетом пал также на равнину к северо-востоку от вулкана.

Звуки взрывов продолжали оставаться сильными, но они слышны были не все время. Слышимость явно зависит от метеорологических условий — таких, как направление ветра, степень влажности воздуха на разных гори-



Фиг. 3. Фаза бомбовых эксплозий. Обычная картина деятельности в ранние часы утра или в вечерние сумерки, когда одновременно заметны выбросы газа с пеплом и бомб. 21 декабря 1944 г.

зонтах атмосферы, высота нижней границы зоны термальной инверсии, ясная или пасмурная погода и т. п. Чаще всего раскаты взрывов слышатся в пасмурную погоду

Фаза малых пароксизмов

С 26 декабря началась новая, более интенсивная фаза извержения, продолжавшаяся до конца месяца. Эта фаза характеризовалась пароксизмами эксплозивной деятельности, которая теперь стала особенно бурной; но, вместе с тем, прерывистый характер явлений взрывов и более слабая напряженность, чем при последовавшем вскоре главном пароксизме, отличают ее от кульминационной фазы извержения.

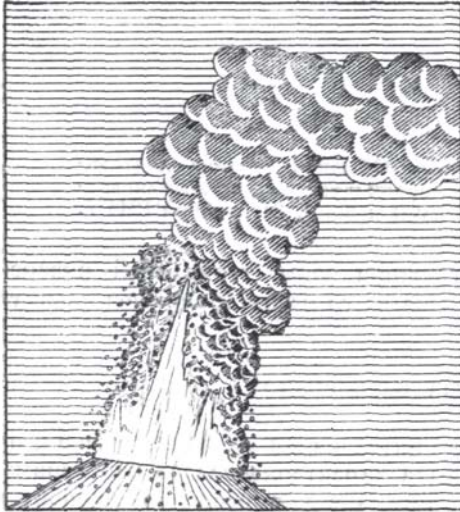
Зарево продолжало освещать пространство над кратером, но высота и ширина его стали еще большими. Теперь эксплозий стали проявляться не только в переливах яркости зарева, а приобрели вид острых и очень ярких клиньев или узких языков, пронизывающих огненный фон на вершине вулкана (фиг. 4). Огненно-яркие клинья взрывов в разгар пароксизма выталкиваются значительно выше освещенного заревом пространства, как бы вонзаются в шевелящиеся над заревом клубы газов и пепла, и там вершины их рассыпаются на фонтаны искр — вулканических бомб, медленно падающих или обратно в кратер, или на внешние склоны вулкана. Зарево бросает кровавый отблеск высоко вверх (иногда до 2—3 км) на вихрящиеся клубы темного пепельно-газового вулканического дыма.

Клинья эксплозий чаще и выше всего (до 1000 м) поднимаются из центра кратера, реже и гораздо ниже — из восточной половины. На крас-

¹ Отсутствие собирательного термина для обозначения смеси пепла, песка и лапилли вынуждает нас иногда вкладывать такой общий смысл в слово «пепел».

ном фоне зарева, достигающего высоты примерно 700 м, свет этих клиньев ярче, и временами они имеют отчетливую оранжевую окраску, свидетельствующую о температурах порядка 1100—1150°. Весьма характерна и направленность этих мощных взрывов, особенно центральных, ствол которых всегда слегка наклонен к западу (градусов на 10—15); восточные клинья более отвесны. Ясно вырисовывающиеся контуры ствола взрывов определенно указывают, что мы имеем дело с током сжатого взрывчатого вещества, вырвавшимся из узкого канала, — с явлением, подобным выстрелу из ружья. Скорость движения масс здесь, однако, не столь велика, как можно было бы ожидать по величественности картины: клинья взрывов на высоту до 1000 м поднимаются в течение 10—30 секунд, т. е. с начальной скоростью только от 60 до 200 м в секунду.

Бомбы, выбрасываемые в большом количестве пароксизмальными эксплозиями, фантастическим огненным роем медленно падают вниз — частью



Фиг. 4. Фаза малых пароксизмов. Ночная картина одного из пароксизмов. 27 декабря 1944 г.

обратно в кратер, частью на внешние склоны конуса. По склонам движущиеся нагромождения их образуют недолговечные огненные струйки, красные пунктирные линии, отдельные светящиеся пятна и полосы, гаснущие через несколько (иногда до 10—15) минут после падения. Временами можно было видеть, как бомбы, падая или катясь по склону, разламывались на отдельные куски и осколки их продолжали некоторое время светиться. Часто они спускались светящимися до 1000 м ниже кратера. Больше всего бомб падало (и вываливалось из периферических нагромождений в кратере) на западный, северо-западный и юго-восточный склоны, где имелись и, повидимому, вновь образовались продольные лоткообразные

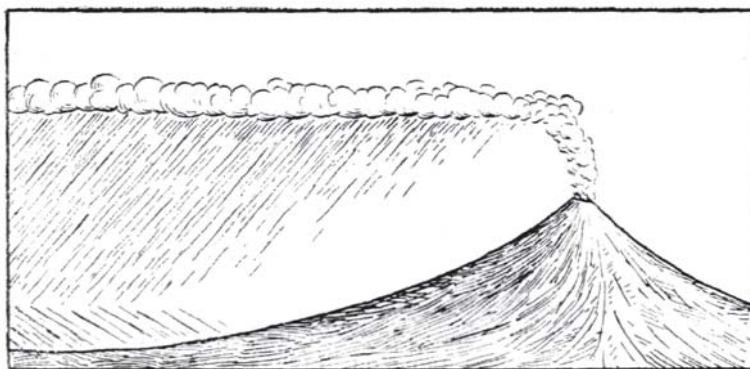
ложбины — постоянные пути скатывающихся при извержениях рыхлых масс. Один из таких путей существовал до извержения на юго-восточном склоне в виде широкого плоскодонного барранкоса, типа «Sciagra» Стромболи; теперь, заполненный движущейся огненной рыхлой массой, он, повидимому, был очень похож именно на «sciagra del Fuoco» Стромболи. Другой такой же барранкос¹, вероятно, закладывался на северо-западном склоне и по нему позже пронеслись грандиозные лавины рыхлого лавового материала, значительно углубившие его.

В отличие от предыдущих фаз деятельности, эксплозии описываемой фазы прерываются более долгими интервалами ослабления или кажущегося

¹ Такие радиальные ложины на склонах действующего вулкана, которые имеют очевидное эруптивно-денудационное происхождение, было бы неправильно называть барранкосами, так как последние являются чисто эрозийными образованиями. Ввиду их сходства с «sciagra del Fuoco» Стромболи их следовало бы называть тоже «sciagra» (шарра).

прекращения действия. Над вершиной тогда видно только зарево, которое иногда рассекается взлетом некоторого количества бомб, или она представляется совершенно темной, выделяющей лишь густую массу газа. В течение шести дней (вернее ночей, когда только и можно видеть световые эффекты взрывов) мы наблюдали моменты пароксизмальных эксплозий продолжительностью от 30 мин до 2 час., или в среднем (из 15 наблюдений) 40 мин., и интервалы ослабления и темноты — от 1 часа до 5 час., или в среднем около 1 часа 30 мин.

Переменяющийся характер этой фазы деятельности, а также общая напряженность активности хорошо были видны и днем. В моменты пароксизмальных эксплозий колонна газов, обычно в виде наклонной линии, в форме буквы «Г», поднималась из всей (или большей части) полости кра-



Фиг. 5. Фаза малых пароксизмов. Дождь пепла к востоку от вулкана. Вечер 27 декабря 1944 г.

тера на высоту — в первые дни — 3 км, а в последующие — до 8 км над кратером. Если в нижних частях ствола еще были заметны серый оттенок и структура «цветной капусты», то выше вся масса клубящихся изверженных газов казалась совершенно белоснежной. В периоды затишья высота столба постепенно снижалась, так что временами толстая общекратерная струя газов, отдуваемая ветром, чуть ли не вплотную прижималась к кратеру.

Несмотря на белый цвет пиний пароксизмальных эксплозий, они, тем не менее, были достаточно насыщены пеплом, ибо в течение этой фазы деятельности стали наблюдаться частые выпадения пепла на окружающие вулкан равнины. Так, тонкий налет пепла выпал в ночь на 26 декабря в районе оз. Гренадерское и с. Харчино; 28-го числа впервые снег в с. Ключи стал серым от осевшего днем тонкого налета пепла, и тогда же был виден пеплопад к востоку от вулкана с характерным рисунком дождя пепла (фиг. 5). 30 декабря пепел снова падал в с. Ключи, причем его выпало около 1 мм. Проверка показала, что пепел, в основном, садился в местности к востоку, северу и северо-западу от вулкана: по направлениям к р. Хапица и к селениям Камаки, Ключи, Совхоз, Кресты и Харчино. Максимальное количество пепла (8—10 мм) выпало в Совхозе в течение одного только дня 31 декабря. Северная сторона Ключевской, от подножья до вершины, к концу этой фазы стала совершенно черной.

Более интенсивными стали и звуки извержения. Хотя они слышались не все время, но когда они доносились до селения, внутри помещений от воздушных сотрясений дрожали дощатые обшивки стен здания и дребезжали оконные стекла и посуда. Особенно часто все это стало ощущаться накануне кульминации — 30 и 31 декабря.

С приближением к максимуму извержения впервые стали ощущаться к толчки землетрясений, явно связанные с деятельностью вулкана. В виде одиночных резких толчков силою около III—IV баллов, сопровождаемых более слабым волнообразным затуханием, продолжительностью в 2—5 сек., они были отмечены в с. Ключи 28 декабря в 4 час. 22 мин. и 31 декабря в 15 час. 23 мин., 16 час. 22 мин. и 18 час. 00 мин.

Главный пароксизм

Накануне кульминационной фазы извержения, 31 декабря, день был пасмурный, сыпал снежок, и вулкан был закрыт. Тем не менее, продолжающаяся деятельность вулкана ясно ощущалась по интенсивным сотрясениям воздуха и участвовавшим толчкам землетрясений. Эти явления и отзвуки извержения, однако, были таковы, что не давали повода предполагать о существенном изменении характера деятельности. Так было до 18 час. вечера. С того момента, хотя погода оставалась той же, шума извержения, до новой фазы деятельности, уже не было слышно. Когда в 3 часа 15 мин. ночи нового года небо стало очищаться от облаков и показалась вершина вулкана, тогда действительно подтвердилось, что извержение находится на убыли: из кратера тянулась на запад, поверх его, темная, без зарева и огненных вспышек взрывов, низкая толстая струя газов.

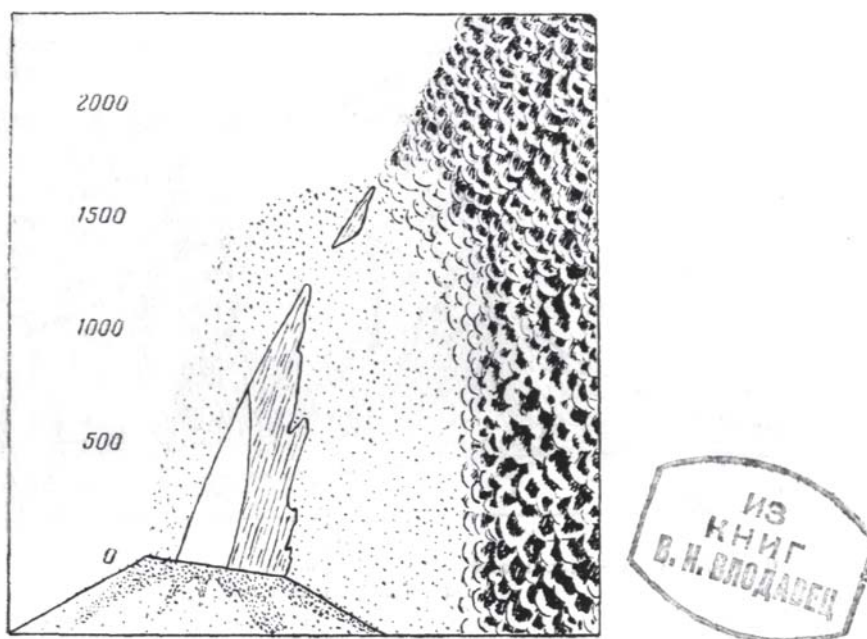
Немного позже стало ясно, что это было временное затишье перед подходом к кратеру главных сил извержения — основных масс газа и лавы. О продвижении их вверх, вероятно, и возвещали за несколько часов до этого частые толчки землетрясений.

В 4 часа. 40 мин. утра нового года над кратером внезапно показалось зарево и, одновременно с огромной массой газов, косо взвился вверх мощный огненный столб эксплозии. Наклоненный (градусов на 20—25) к северо-западу, ярко светящийся острый клин эксплозии — в первые мгновения быстро, а затем более медленно, вместе с рассыпающимися из его вершины потоками огненных бомб, — вознесся через 15 мин. до высоты 1500 м над кратером и принял вид гигантского огненного протуберанца (фиг. 6). Своей искрящейся от фонтанов бомб вершиной он как бы вонзался в огромную массу вихрящихся клубов газа, поднимающуюся таким же наклоненным столбом из полости кратера на высоту до 7000 м над вершиной. Кровавый отблеск кратерного света на нижних частях темных клубов газа был виден до высоты 3000 м над кратером. Всю эту быстро установившуюся и как бы сразу достигнувшую апогея торжественную картину бушующей подземной стихий озаряла своим спокойным светом полная луна.

Внизу, у подошвы вулкана, установилась тихая морозная ночь, но на уровне кратера и выше, повидимому, господствовал сильный ветер, так как косою столб газов и огненный клин эксплозий были резко очерчены с восточной стороны, а на противоположную сторону, к северо-западу, стала оттягиваться мрачная черная завеса газов и пепла и в эту сторону стали сыпаться в наибольшем количестве ярко раскаленные бомбы. В пепловой зоне, когда она немного отошла от кратера, вскоре стали сверкать огромные

молнии, часто рассекавшие тучу в горизонтальном или в полого-наклонном изломанном направлении; некоторые молнии обращали на себя внимание своими волнообразно ветвящимися очертаниями.

Острый «обелиск» эксплозии с восточной стороны был в основании ярким оранжево-желтым и более или менее прямолинейным, а вверх и к западу — более красноватым и более изломанным. Вершина его была индикатором спазм поднимавшихся масс газа и лавы; она то взмывалась вверх, то резко падала вниз, и яркость ее временами пульсировала. Рой медленно вываливавшихся из вершины протуберанца яркокрасных бомб был таким густым, что создавал иллюзию сказочной огненной пурги.



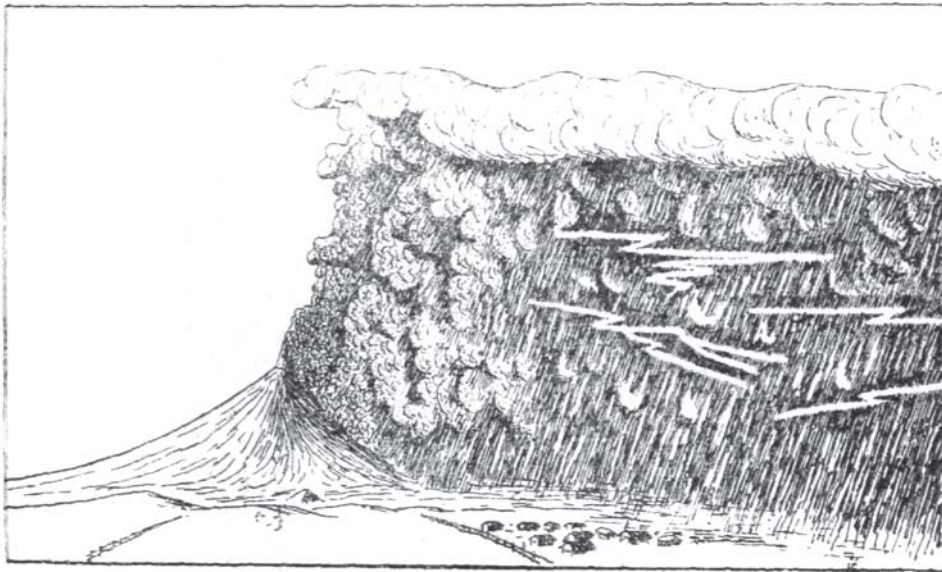
Фиг. 6. Главный пароксизм. Деталь картины извержения в районе кратера в 5 час. 30 мин. утра 1 января 1945 г. Оранжево-желтая часть «обелиска» эксплозии показана белым, а яркокрасная — штриховкой. Цифры — высоты (в м) над кратером.

Бомбы, падавшие на склоны конуса, или скоплялись здесь и кучными нагромождениями скатывались вниз в виде огненно-красных язычков, или падали и скатывались в одиночку, и от этого вся верхняя часть конуса казалась обсыпанной блестками и изборожденной огненными струйками. Ниже всего светящиеся бомбы спускались по западным и северо-западным склонам, где они часто достигали абсолютной высоты 3500—3000 м.

В 8 час. 20 мин., с началом рассвета, картина извержения стала выступать в еще более величественной форме. Теперь столб извержения и огромная черная завеса, оттянутая от него далеко на северо-запад, достигли высоты 10 000 м над кратером или почти 15 000 м над подошвой вулкана (фиг. 7). На фоне гигантских масс и пепла яркокрасный протуберанец взрывов как-то потерялся, уменьшился, и хотя его высота осталась той же.

Бюлл. Вулк. станц. на Камчатке, № 14

но он казался только небольшим красным языком в основании колоссального столба газов. Массы последних до высоты 3000 м над кратером и вправо по склону до вертикали седловины со Средней сопкой выступают мелкими клубами, плотно прижатыми друг к другу, образуя на поверхности завесы типичный рисунок «цветной капусты»; выше же они расширяются, становятся более крупными, более рыхлыми и более белыми. Вершину столба газов и верхнюю границу пепловой завесы венчает плотный слой белоснежных кучевых облаков, побелевших, очевидно, за счет притяжения кислыми газами паров воды из атмосферы и потери пепловых частиц.



Фиг. 7. Главный пароксизм. Картина извержения в 8 час. 30 мин. утра 1 января 1945 г. Вид из с. Ключи.

Простым глазом было видно, как на поверхности тучи со скульптурой «цветной капусты» вихряются и расширяются клубы газа, причем движение их всегда направлено изнутри наружу, вниз и снова внутрь, т. е. они как бы вращаются против часовой стрелки, если смотреть на левую сторону тучи. Дальше на северо-запад от столба извержения и от клубящихся возле него масс газа простерлась мрачная, однообразно-темная стена пеплопада, пронизываемая огромными горизонтальными молниями. Из с. Ключи эта стена казалась совершенно отвесной, но с более удаленных мест (с. Еловка) было видно, что посередине она была втянута внутрь. Позже, когда конус стало заносить пеленой пепла, боковое очертание ее приняло форму буквы S.

Задолго до восхода над горизонтом солнце уже осветило верхушку колоссальной завесы извержения. Первый блик солнечного света сползал с верхушки тучи до кромки кратера в течение 11 минут. Наконец, солнце осветило вулкан, но долго еще яркое огненное зарево вулканических взрывов боролось со светом солнца, пока, в конце концов, оно не погасло в черных клубках извергаемых газов, пепла и бомб.

С 8 час. 30 мин. до 10 час. 00 мин. извержение продолжалось с неослабевающей силой. Поражает мгновенный рост клубов газа, который наблюдается на всех уровнях до высоты почти 7000 м над кратером. Из кратера

отвесно вверх, до высоты 1200—1500 м (со средней скоростью около 60 м/сек), поднимается черный столб газов; на высоте 3000 м столб газов становится серым, а в верхней части тучи он уже совершенно белоснежный. Склоны конуса вниз, до уровня 1000 м от кратера, окутаны как бы белой ватой — парами воды, получившимися в результате падения раскаленного пирокластического материала на снег и лед конуса.

С 10 час. конус стал закрываться пеленой пепла, но вершина вулкана и туча извержения над ней продолжали еще долго оставаться видимыми. С 8 час. 55 мин. не видно стало молний, может быть, оттого, что зона, где они зарождались, скрылась за надвинувшейся по низу пеленой пепла.

Любопытно, что с начального момента деятельности вулкана до 11 час. 30 мин., т. е. в течение почти 7 часов, грохота извержения совершенно не было слышно; ощущались только частые толчки землетрясений, о которых мы скажем ниже. С 11 час. 30 мин. от грохота взрывов сперва слабо, а потом все сильнее и сильнее стали дребезжать оконные стекла и потрескивать стены домов. Так продолжалось весь день, пока происходили эксплозии. Безмолвие начальных часов пароксизма, по-видимому, надо объяснить существованием зон различной плотности в окружающей вулкан атмосфере. Вероятнее всего, звуки отражались от границы зоны термальной инверсии¹ и перебрасывались на более далекие расстояния. Действительно, люди, видевшие извержение этого дня с более удаленных мест, в частности, из района истоков рр. Еловки и Озерной (около 200 км от кратера), сообщили потом, что они слышали очень сильный грохот с начала деятельности, а в середине дня гул взрывов был такой сильный, что лес в ясный безветренный день шумел так, как он шумит в бурю. Появление грохота извержения после 11 час. 30 мин., т. е. в то время, когда конус стал скрываться во мгле пепла, надо объяснить уничтожением зоны термальной инверсии пеплом, выровнявшим температуру и плотность пятикилометровой толщи атмосферы.

Показателем силы извержения является также необыкновенно большое количество землетрясений, ощущавшихся в этот день. В течение 15 часов пароксизма было зарегистрировано 21 землетрясение силою от III до V баллов (по шкале Меркалли-Канкани). Наблюдались они отдельными пачками в определенных моменты периода деятельности. Наиболее слабые землетрясения, силою III балла, устанавливались по легкому покачиванию здания станции, скрипу стен и качанию висячих предметов; толчки силою IV балла ощущались по отчетливому встряхиванию дома и резкому скрипу стен здания. Эти же признаки были еще более резкими при землетрясении силою до V баллов. Все они отличались кратковременностью проявления и формой одиночного толчка (табл. 1).

Эта бурная деятельность продолжалась весь день с неослабевающей силой. Картина извержения была видна до 3 час. дня, пока она не скрылась за пеленою пепла, поднявшейся до зенита и далее продвигавшейся на восток. Во мгле пеплопада, окутавшей с. Ключи, продолжающееся извержение ощущалось по грохоту и воздушным сотрясениям, идущим от кратера, по толчкам землетрясений и по свету молний, которые с 14 час. 24 мин. опять начали сверкать в туче извергаемого пепла. Все эти отзву-

¹Например, по нашим наблюдениям при восхождении на кратерную вершину вулкана Шивелуч 14 января 1945 г., зона термальной инверсии начиналась на высоте 1000—1200 м над уровнем моря. Температура здесь в 8 час. утра была — 20° С, тогда как в с. Камаки (40 км от вулкана и 20 м над уровнем моря) примерно в это же время было — 39°. Небосвод в течение всего дня был безоблачным. Такой же безоблачный день с морозом — 32° был 1 января 1945 г.

ки пароксизма, быстро замирая, прекратились в 20 час. вечера, так что этот час надо считать концом кульминационной деятельности вулкана и началом новой фазы извержения, о которой мы скажем в следующей главе.

Во второй половине дня мы были свидетелями любопытных оптических явлений, связанных с извержением. Так, с 14 час. 03 мин. до 14 час. 18 мин. ясно были видны ослепительно белые сверкающие точки, вылетающие по узким параболическим дугам из восточного контура столба

Таблица 1

Землетрясения, ощущавшиеся 1 января 1945 г. в с. Ключи

№ п/п	Время поясное		Сила землетрясения (в баллах по шкале Меркалли-Канкани)	№ п/п	Время поясное		Сила землетрясения (в баллах по шкале Меркалли-Канкани)
	часы	мин.			часы	мин.	
1	6	20	III	12	14	34	III
2	6	37	»	13	14	39	»
3	7	05	»	14	16	41	V
4	7	21	»	15	18	17	III
5	7	24	»	16	18	38	IV
6	10	54	IV	17	19	11	III
7	14	08	III	18	19	21	»
8	14	13	»	19	19	35	»
9	14	23	»	20	19	36	»
10	14	24	»	21	19	51	»
11	14	30	»				

извержения и медленно падавшие вниз. Несомненно, это были вулканические бомбы, которые в обычных условиях дневного освещения на этом расстоянии (32 км) невозможно заметить, но, освещенные боковым светом солнца, которое в этот момент находилось за изверженной тучей, примерно на вертикали (или немного правее) седловины Ключевская — Плоские сопки, они отчетливо выступали перед нами. Бомбы в этот момент можно было сравнить с частичками пыли в солнечном луче, проникшем сквозь щель в темную комнату, или, иначе говоря, они вырисовывались перед нами как в поле зрения гигантского ультрамикроскопа с тубусом не менее 32 км длиной. Видимая при этом ослепительно-белая окраска, можно предполагать, была обусловлена отражением бокового солнечного света от паров и газов, окутавших белой оболочкой несущуюся в морозном воздухе раскаленную бомбу. Высота вылета бомб из столба извержения была не менее 1500 м над кратером.

Другое явление, тоже, повидимому, обусловленное боковым освещением картины извержения, наблюдалось в 14 час. 55 мин. В это время мы заметили протянувшиеся по синему небу три отчетливо белые (или, быть может, более голубые, чем синий фон неба) пологие дуги, одна из которых как бы соединяла вершины Шивелуча и Ключевской сопки, а две другие, более слабые (одна даже едва заметная), были ей параллельны. Все они располагались к востоку от зенита, под различными углами к последнему: первая — под углом 30—35°, вторая — 20—25° и третья 10—15°. Ширина каждой из них, в угловом измерении, была примерно 0.5—1°, причем первая (самая восточная) казалась шире других, но, может быть, только благодаря большей яркости ее. Эти дуги явно представлялись каким-то оптическим отображением солнцем вершины пепловой завесы извержения.

Молнии, которые после шестичасового перерыва (8 час. 35 мин.— 14 час. 24 мин.) вновь засверкали в пепловой туче, стали проявляться в большем количестве и более крупного размера. Они часто наблюдались одновременно в разных по высоте ярусах тучи. Направление их обычно было горизонтальным или полого-наклонным к кратеру. Часто они давали изломанные или волнообразные ответвления, причем ветвистость их как будто всегда была обращена в сторону от кратера. Отдельные молнии напоминали горизонтальный росчерк подписи с коротким острием, направленным отвесно вниз, но далеко не достигающим до поверхности земли. Вообще не было замечено ни одной молнии, которая бы доходила до земли, т. е. достигала горизонта. Все молнии сверкали к юго-западу от с. Ключи, в самой гуще пеплопада, и чаще всего они наблюдались по азимутам ЮЗ 230—255°, что соответствует расстоянию в 10—25 км от оси вулкана.

С 4 час. дня, после того как пелена закрыла вулкан и тучу извержения, пепел начал понемногу падать и в с. Ключи. Сперва он ложился на поверхность снега в виде редкой, незаметной пыли, но к полночи стал падать концентрированнее. На следующий день во мгле продолжающегося пеплопада ландшафт казался каким-то диким, неприятно пустынным. Вместо привычного белого снегового покрова глаз встречал серую монотонную поверхность, на которой какими-то странными растениями выступали мохнатые, густо осыпанные пеплом деревья. Свет солнца не пробивал эту пепловую мглу, и ясный морозный зимний день, даже в полдень, был похож на вечерние сумерки. К вечеру 2 января восточный ветер погнал было пепловую пелену на запад, но тут же вновь переменявший направление ветер принес ее обратно. В таком состоянии атмосфера была и утром 3 января, пока днем восточный ветер окончательно не оттеснил пелены пепла на запад. После этого пепла в с. Ключи больше не падало.

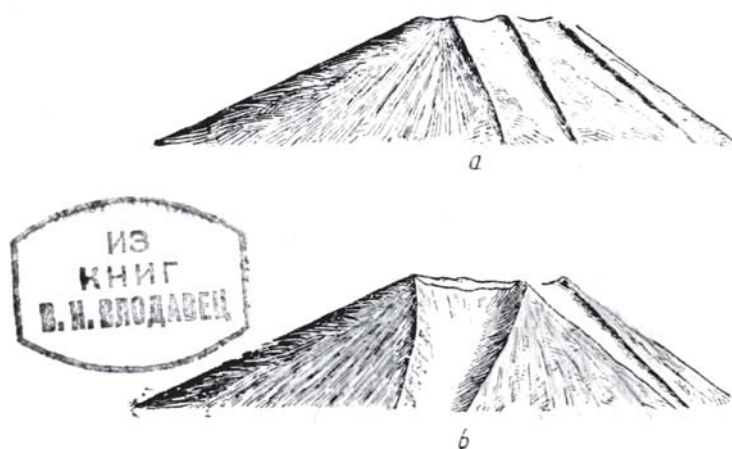
Колоссальное количество пепла, выброшенное в атмосферу пароксизмальным извержением 1 января 1945 г., ветры носили взад и вперед по территории Камчатки до 5 января, пока он весь не выпал на огромном пространстве полуострова. Из ответов метеорологических станций, присланных на наш запрос, выяснилось, что пепловая туча, в основном, двигалась на северо-запад, к Охотскому побережью Камчатки, а выпавшие в других местах полуострова незначительные количества пепла были принесены сюда воздушными течениями. Больше всего пепла (относительно других удаленных пунктов) выпало на западном побережье полуострова: от с. Кохтана на севере до пунктов несколько южнее Усть-Хайрюзова на юге, где в ряде мест была затруднена езда на собаках. На восточном побережье тонкий серый налет пепла на снежной поверхности был повсеместно замечен от Усть-Камчатска до Оссоры (Караги). В столь же незначительном количестве падение пепла было отмечено в верховьях р. Камчатки: в Милькове, в Пущине и на Ганальской тундре. Из селений, расположенных у подошвы вулкана (или невдалеке), больше всего пепла выпало в Козыревском совхозе, где, по измерениям метеорологической станции (начальник Ищенко), утром 4 января после пеплопада его оказалось 28 мм, а вместе с выпавшим 31 декабря — 38 мм. Из-за этого слоя пепла в Усть-Камчатском, Тигильском и Быстринском районах почти на неделю приостановилось движение собачьих нарт.

Основная масса пепла, естественно, выпала из пепловой тучи и отложилась, как мы видели, по направлению примерно северо-запад 315°. Объем его очень грубо, причем с явным преуменьшением, может быть

оценен не менее 0.6 км^3 . Из этого количества около 5% было развеяно ветрами на площади, равной почти $2/3$ поверхности Камчатки.

О величественности минувшего эруптивного пароксизма говорят и другие сообщения, полученные из очень удаленных пунктов полуострова. Так, сообщают, что молнии, сверкавшие в туче, были хорошо видны из Оссоры (450 км от кратера), а грохот извержения слышался в селениях, удаленных по радиусу на 250—300 км от вулкана (Семячик, Ука, Мильково и Тигиль). В Усть-Хайрюзове в этот день ощущались толчки и землетрясения.

В результате пароксизмального извержения большие изменения произошли и на конусе вулкана, в районе кратера. Вследствие того, что



Фиг. 8. Вид вершины Ключевской сопки из окрестностей с. Кресты (на ЮВ 150°) до и после извержения. *a* — в октябре 1944 г.; *b* — в октябре 1945 г.

вся материальная масса извержения выбрасывалась в северо-западном направлении и наиболее тяжелые частицы падали на этот склон конуса, здесь было выдолблено громадное ущелье (барранкос), начинающееся от северо-западного участка дна кратера и спускающееся к седловине примерно до горизонтали 2700 м¹ (фиг. 8 и 16). Падавшие при извержении в верхней части конуса рыхлые массы проносились по барранкосу в виде мощных, быстро следовавших друг за другом раскаленных лавин. Эти лавины непрерывно выпахивали и расширяли барранкос, и в большей степени они, а не падавшие сверху раскаленные шлаки, уничтожили альпийский домик Вулканологической станции, находившийся возле конуса на высоте около 2700 м. В результате этой же, так сказать, эруптивно-денудационной деятельности заметно углубился старый лоткообразный барранкос на западном склоне и значительно изменился и расширился юго-восточный барранкос. Прикратерная часть конуса, которая раньше охватывалась гладкой ледяной мантией (так называемый «воротник»), теперь оказалась заваленной громадными глыбами шлаков и хрупких, рассыпавшихся на обломки бомб.

¹ На месте этого барранкоса до извержения существовала овальная впадина, подобная той, которая видна на фигуре 16. Возможно, что такие впадины являются древними эруптивными барранкосами (шарра), заполненными льдом и лавой.

На седловине с сопкой Средней, начиная с высоты 2700 м вниз до высоты примерно 2000 м, появилось огромное поле мощного отложения горячих лавин, сложенное из тех рыхлых масс, которые скатывались вниз по новому, северо-западному барранкосу. Часть этих отложений оказалась выброшенной на примыкающую поверхность глетчера Эрмана. В первые дни после пароксизма отложение горячих лавин, имитируя действующие «паразитные» кратеры, испускало из отдельных фиксированных отдушин огромные столбы пара и газов, поднимавшиеся на высоту до 600—800 м над поверхностью. Осмотр этой залежи в августе, спустя 7 месяцев после образования ее здесь, показал, что в ранние стадии существования температура ее должна была быть очень высокой. Об этом свидетельствовали многочисленные остатки (корни) смытых фумарольных сублиматов на поверхности и в трещинах лавовых глыб и бомб, а также существовавшие в августе во многих местах залежи струйки пара с температурой до 100° С. Мощность отложения в районе устья барранкоса можно было определить, по ряду косвенных признаков, примерно в 40—00 м, но в момент становления мощность залежи явно была больше, ибо верхушки многих глыб засыпаны материалом лавин. По некоторым данным можно предполагать, что в результате осадки эта залежь, бывшая первоначально более «пушистой», потеряла не меньше 1/3 своей мощности. Состоит залежь из хаотически перемешанного рыхлого материала, начиная от гигантских овальных бомб (размерами до 7 м по длинной оси) и кончая мелкими лапилли, песком и пеплом. На выходе из устья барранкоса отложение лавин осело по многочисленным сбросам, часто параллельным, так что поверхность его местами имеет ступенчатый вид.

Лавины, скатывавшиеся в раскаленном состоянии по поверхности глетчеров и толстому покрову зимнего снега, так же как водворившаяся в зоне глетчеров залежь их, растопили огромные массы снега и льда в районе их действия. Громадный поток талой воды вечером 1 января устремился вниз по сухой р. Сопочной, затем по продолжению ее на равнине — пескам Киргурич — и примерно в 35 км от места зарождения и в 10 км на восток от с. Ключи впал в р. Камчатку. Шум этого потока, похожий на отдаленный гул океанского прибоя, стал отчетливо слышен в с. Ключи вскоре по окончании пароксизмального извержения, причем слышен он был на расстоянии не менее 15 км. Поток продолжал течь, но уже без шума, на таком же расстоянии и весь день 2 января, при морозе —25°. Через одни или двое суток после этого поток замерз: проезжая через пески Киргурич 6 января, мы застали здесь уже только толстые полосы льда.

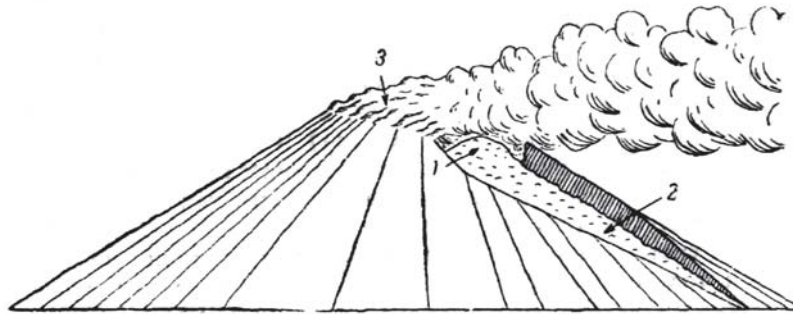
Повидимому, несколько позже спада главной массы талых вод, бывшей, судя по льду и руслу потока, не столь насыщенной пеплом и песком, вниз скатились и типичные кашеобразные грязевые потоки. Языками они расползлись в стороны по лесу у начала равнинной части подошвы вулкана и остановились, не дойдя 2—3 км до зимней дороги в с. Камаки. По словам старожилов, появление при зимних извержениях талых вод и грязевых потоков столь далеко внизу у подошвы вулкана и впадение талых вод, в условиях сурового мороза, в р. Камчатку представляют обстоятельства, выходящие из ряда обычных явлений деятельности Ключевской сопки.

Вообще надо заметить, что это извержение, с его постепенно усиливавшимися фазами, с сжатостью и слитостью проявления последних и, особенно, величием апогея всей деятельности, богатого поразитель-

тельными сопутствующими явлениями, было столь грандиозным и внушительным событием, что старожилы с. Ключи (например, учитель П. Д. Кияниченко, проживший здесь безвыездно с 1908 г., крестьянин В. Штильников, уроженец и постоянный житель селения, 1876 г. рождения, и мн. др.) не смогли вспомнить сходных примеров из прошлого. Во всяком случае, терминальная стадия предшествующего эруптивного цикла 1937—1938 гг., судя по описаниям А. А. Меняйлова и С. И. Набоко (1938—1940), не была такой: представляя ряд разобренных извержений, она была во времени более растянутой и, быть может, вследствие этого по интенсивности менее напряженной.

Убывающая эмиссия газа и истечение лавы

Спустя два дня после пароксизмальной фазы извержения, когда вулкан вновь показался из-под пепловой мглы, в кратере его уже не было заметно взрывчатых явлений. Кратер теперь был полон фумарольных газов,



Фиг. 9. Вершина Ключевской сопки 3 января 1945 г., после главного пароксизма. 1 — холм раскаленной лавы на дне кратера; 2 — льющийся поток лавы; 3 — плотные и очень обильные фумарольные струи.

которые поднимались отсюда плотной белоснежной массой. В широком вырезе оборванного новым барранкосом гребня кратера виднелся черный пологий куполообразный холм, на котором кое-где поблескивала красными точками раскаленная лава. Из этого холма выливалась лава в русло нового барранкоса (фиг. 9). Поток светился тускло-красным светом и был непрерывным в течение многих часов ночных наблюдений. Временами он пульсировал в яркости, и тогда, по перемещению пульсирующих точек, было видно течение потока. Язык потока скрывался в глубине ущелья. Такая картина льющейся лавы наблюдалась до 20 января.

При восхождении на вершину вулкана в августе 1945 г. этого потока обнаружить не удалось. Судя по грандиозности обвалов, происшедших позже в кратере и в барранкосе, поток оказался похороненным в русле ущелья, а исток его — пропаханным до неузнаваемости теми же обвалами.

Громадная фумарольная эксгаляция, заслуживающая названия кратерной эмиссии газа, наблюдалась до конца января 1945 г. В отдельные дни общекратерный белоснежный столб газов поднимался на высоту до 1 км над кратером. Временами было видно слабое зарево, едва выступающее над кромкой кратера, но это мог быть отблеск раскаленной лавы.

II. СТАДИЯ ПОКОЯ

В конце января вулканические явления в терминальном кратере превратились. Фумаролы заметно ослабли и приняли вид, типичный для периода покоя.

Неустойчивое состояние участков стенок кратера и бортов барранкоса после мощных и быстро действовавших разрушительных сил извержения способствовало образованию громадных обвалов, которые время от времени происходили как в полости кратера, так и в верхней части барранкоса. Обвалы были хорошо видны из с. Ключи благодаря грандиозным клубам красновато-бурой пыли, поднимавшимся над местом обвала. Тяжелые, с мелкими кудреватыми витками, эти облака пыли обвалов были весьма похожи на клубы вулканического взрыва, но место, откуда они поднимались, и путь, по которому они проходили, а также розоватый цвет облака ясно указывали на невулканическую их природу.

Такие обвалы, но уже в слабой форме, продолжались в барранкосе еще и в конце августа. Мы были очевидцами этих обвалов при восхождении на вершину вулкана. К концу августа обвалы значительно расширили барранкос, который теперь в истоке имел ширину примерно 400 м и глубину около 200 м; ниже он становился менее широким и более мелким.

III. ЛАТЕРАЛЬНОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ

Начало извержения

19 июня 1945 г. в 15 час. 06 мин. местного времени (VIII пояс) в с. Ключи все ощутили резкий толчок землетрясения силою около V баллов. Этот одиночный толчок был подобен тем, которые ощущались 1 января во время пароксизмального извержения. Вершина Ключевской сопки в момент землетрясения оставалась спокойной.



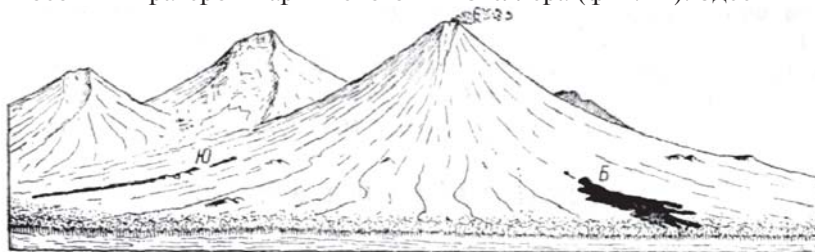
Фиг. 10. Эксплозивная туча Юбилейного прорыва 20 июня в 21 час 15 мин. Вид из с. Ключи.

Был ли этот толчок началом латерального извержения, или он только возвестил поход лавы к поверхности — трудно определить, так как в этот день сильный западный ветер поднимал тучи пыли, которые закрыли горизонт и особенно густо накопились на восточной стороне Ключевского вулкана. В 2 часа ночи 20 июня впервые был замечен высокий и толстый столб газов вулканического взрыва, поднимавшийся выше пыльной пелены бурана далеко внизу на восточной стороне Ключевской сопки. Такая же картина была видна утром того же дня. Вечером 20 июня величественное серое газовое облако с поверхностью вида «цветной капусты»

поднималось до 7 км над уровнем моря стеной, протягивающейся от места извержения далеко на восток (фиг. 10). Звуков взрыва нельзя было услышать из-за шума ураганного ветра. Такая же картина наблюдалась 21 июня, но 22-го утром высота эруптивной тучи уже резко упала. В этот день впервые стали слышны ухающие раскаты извержения. С 23 июня деятельность ослабла; взрывы стали, судя по звукам, прерываться периодами покоя. 24 и 25 июня грохот извержения снова доносился до с. Ключи, но эруптивная туча была уже невысокой и не столь плотной, как в первые дни. 26 июня мы прибыли на место извержения.

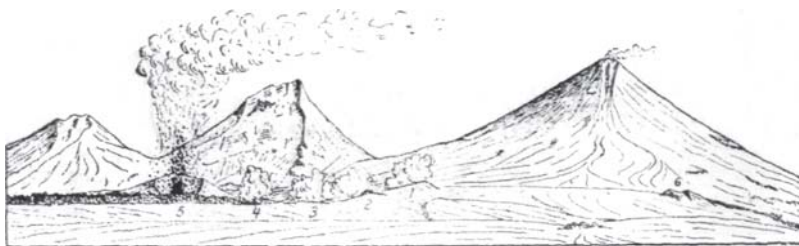
Место извержения

Прорыв новых кратеров произошел на юго-восточной стороне подножья Ключевской сопки, на высоте около 1000 и 1500 м, в районе старых побочных кратеров Карпинского¹ и Стеллера (фиг. 11). Здесь мы



Фиг. 11. Пункты латеральных извержений 1938 и 1945 гг. на панораме Ключевской сопки. Б — Билюкай; Ю — Юбилейный прорыв. Вид с тундры Голубельной (Ключевская на СЗ 290°)

обнаружили уже сформировавшуюся цепочку кратеров, вытянутую по склону на расстоянии до 2 км и направленную к вершине Ключевской



Фиг. 12. Панорама кратеров Юбилейного прорыва; вид от кратера Карпинского. 1 — кратер Обручева; 2 — кратер Левинсон-Лессинга; 3 — кратер Комарова; 4 — кратер Крашенинникова; 5 — кратер Заварицкого; 6 — кратер Стеллера. На заднем плане вулканы (слева направо): Безымянный, Камень и Ключевской. 3 июля 1945 г.

сопки по азимуту 320°. В верхней части прорыва расположились четыре продолговатых взрывных кратера, состоящих каждый из нескольких воронок взрыва, а самый нижний, пятый, кратер, с большим насыпным

¹ Карта вулканов и побочных кратеров Ключевской группы имеется в работе В. И. Влодавца (1940).

конусом, был источником льющейся с большим напором лавы (фиг. 12).

Всю группу вновь прорванных кратеров мы назвали Юбилейной в честь только что состоявшегося 220-летнего юбилея Академии Наук СССР, а отдельным кратерам прорыва дали имена академиков, работавших на Камчатке или своей деятельностью способствовавших изучению природы полуострова.

Фаза лавового извержения

По приезде мы застали в действии только нижний, лавовый кратер. Остальные, эксплозивные кратеры уже не проявляли активности: из них спокойно поднимались только густые белые клубы фумарольного газа.

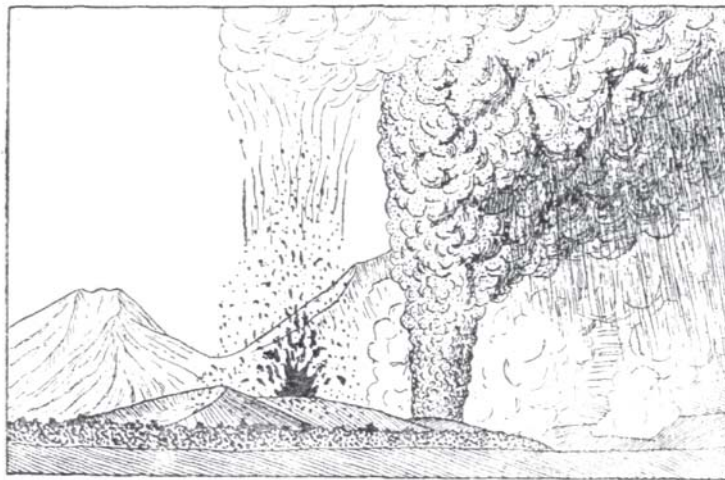
Лавовый кратер, который мы назвали в честь академика А. Н. Заварицкого кратером Заварицкого, проявлял очень бурную деятельность. Из него почти непрерывно выбрасывался на высоту до 100—300 м величественный лавовый фонтан и одновременно происходило обильное истечение лавы. Место действия — дно обрывающегося на юго-восток низкого пологого конуса — было заполнено светящейся лавой, уровень которой, в зависимости от интенсивности напора, то повышался, то понижался. Отсюда, через мгновенные интервалы, стремительно вылетали вверх один или несколько огромных «комков» жидкой лавы, которые постепенно, по мере взлета, рассыпались на множество более мелких хлопьев причудливых очертаний. Продолжая подыматься, хлопья лавы темнели (днем) и становились более вязкими, но пластичности окончательно не теряли: находясь в падении, они все еще пластично разрывались или мягко, под влиянием собственной тяжести, изгибались. Очень характерным было отсутствие вращательного движения среди частиц лавового фонтана. При падении комки лавы были уже почти твердыми, так что часто раскалывались, но более крупные хлопья сохраняли все же пластичность, что было видно по их легкому сплющиванию при ударе о конус. Июньским днем вся эта картина лавового фонтана светила ярким огненно-красным светом, ночью же яркожелтый (гуммигутовый) цвет лавы создавал иллюзию брызжущего золотом фонтана. Температура лавы при взбросе была, таким образом, не ниже 1200°, при падении же, судя по вишнево-красной (ночью) окраске упавших хлопьев лавы, снижалась до 850—900°.

Шум, который сопровождал выброс лавы, издали был похож на шум, происходящий при дутье гигантскими мехами; вблизи же ясно ощущался глухой звук всплеска очень тяжелой жидкости. Были и другие звуки, которые, сливаясь все вместе, производили, в общем, однообразный, слегка пульсирующий гулкий рокот.

Одновременно с лавой выбрасывался вверх и газ. В массе фонтана и несколько выше он был желтоватым и прозрачным, как желатин. Еще выше он становился непрозрачно-белым, как кучевое атмосферное облако, и в таком виде он венчал дымовой столб, стоящий над кратером. Из этого газового облака непрерывно сыпался мелкий пепел (фиг. 13).

По периферии жидкой лавовой массы, в кратере, по соседству с пунктами лавовых фонтанов, которых иногда было по два, иногда даже по три одновременно действующих, периодически возникали и долго на одном месте сохранялись своеобразные отдушины газа и пепла, которые, на первый взгляд, напоминали горящие водородные фумаролы. Они имели вид выдуваемых с силой толстых столбов пламени красновато-фиолетового цвета высотой 2—3 м, из вершин которых поднималась очень густая масса пепла, казавшаяся дымом сильно коптящего пламени.

Помимо газа, взлетавшего вверх вместе с фонтаном лавы, периодически действовали и другие самостоятельные источники газа. В этих случаях газ всегда был сильно насыщен пеплом, и поэтому масса его поднималась тяжелой серой тучей, имевшей характерную поверхность типа «цветной капусты». Выходов этой газовой-пепловой массы было несколько. Один из них, постоянный, располагался на северном склоне лавового конуса; другие временами возникали на месте лавовых бокк на дне кратера, реже — на внешнем склоне конуса. Очень редко, за время наших наблюдений только три раза, действовал кратер Крашенинникова — ближайший к кратеру Заварицкого взрывчатый кратер. Столбы газа и пепла



Фиг. 13. Одновременная деятельность лавовой и газовой бокки 27 июня в 14 час. 20 мин. Левый конус, только что отмерший, начал разваливаться и перемещаться вниз по потоку.

нередко поднимались на высоту до 1—1.5 км. Между деятельностью газовой-пепловой бокки и лавовых фонтанов по интенсивности и по времени иногда обнаруживалась связь, но часто те и другие действовали вразброд. Выбросы газов и пепла обычно прерывались значительными паузами: от нескольких минут до нескольких часов. После большой паузы всегда следовал особенно сильный выброс газа, «о не всегда вслед за этим или одновременно начиналась интенсивная работа лавового фонтана. Шум газовой эксплозии был отличен от звуков, издававшихся лавовым фонтаном: он был более гудящим и оглушительным.

По мере развития извержения менялись форма и местоположение насыпного лавового конуса. Так, на второй день наших наблюдений, 27 июня, вследствие возникновения новой лавовой бокки на внешнем склоне конуса и замирания старого фонтана на дне кратера, начал создаваться новый вал кратера вокруг новой бокки. Масса вновь извергнутой лавы начала давить на старый конус, который, имея, вероятно, неостывшую пластичную основу, начал расползаться и медленно перемещаться вниз по поверхности лавового потока (фиг. 13). Это явление, вероятно, началось еще до нашего прибытия, ибо на потоке уже имелись огромные бокки, представлявшие остатки старого конуса.

Извержение прекратилось 7 июля. До этого, еще с 30 июня, стали наблюдаться перерывы в деятельности лавовых фонтанов и общее ослабление их. Первое время перерывы были небольшие — от нескольких секунд до минуты, и в таком случае каждый раз вслед за паузой происходил сильный взрыв лавы, эхо которого долго гремело в горах, и снова начинал работать фонтан. 4 июля интервалы покоя в деятельности фонтанов, которые еще более ослабли, были от получаса до часа, но не всегда теперь за паузой следовал сильный взрыв и бурная деятельность фонтана.

В период затишья бокки лавовых фонтанов и газо-пепловых масс производили своеобразный ритмичный шум, напоминающий звуки работающего инжектора паровой машины. Под такие звуки, постепенно ослабевающие, которые к тому же часто прерывались паузами, под слабые всплески фонтана и последний тяжелый взрыв газа и пепла на высоту до 1 км, имевший место утром 6 июля, окончательно прекратилось извержение) в ночь на 7 июля.

Еще до конца извержения, с 5 июля, но в большей степени после окончания, стали происходить обвалы на крутых внутренних стенах кратера, поднимавшие клубы буровой пыли и обнажавшие внутренние раскаленные участки в теле конуса. Эти обвалы наблюдались до 14 июля. Одновременно с окончанием эруптивной деятельности стали доноситься глухие звуки со стороны кратеров прорыва, похожие на гул подземного оседания. На дне кратеров эти звуки можно было слышать до конца сентября.

Лавовые продукты, которые доставлялись эксплозивной деятельностью кратера Заварицкого, были в преобладающей массе обломками и глыбами шлаков базальтового состава и в подчиненном количестве — пеплом и песком. Шлаки были самых неправильных очертаний; они были именно теми хлопьями лавы, которые выбрасывались фонтанами и которые создали конус вокруг кратера. Среди них типичные вулканические бомбы попадались очень редко; обычно это были лепешкообразные бомбы из литоидно-вязкой лавы, выкинутые, повидимому, из газовых бокк, и небольшие округлые или лентообразно изогнутые бомбы с поверхностью, близкой к типу «хлебной корки». Поперечник их редко достигал 1 м. Из ксенолитов часто можно было встретить небольшие обломки литоидных андезитов, базальтов, порфиритов и песчано-глинистых пород.

Окрестности кратера Заварицкого указывали на более бурную деятельность в первые дни извержения. В радиусе примерно до 700 м местность была покрыта сплошным слоем, от 20 до 40 см, мелких, очень хрупких шлаков, перемешанных с вулканическим песком. Этот материал был выброшен, повидимому, в момент прорыва лавы на поверхность. Среди поля шлаков кое-где виднелись небольшие воронки, до 1—2 м в поперечнике, образованные бомбами, упавшими после отложения шлаков. Сами бомбы представляли неправильные комки или небольшие глыбы шлаков и вязких лав. Один из таких взрывов, с выбросом подобных бомб на расстояние до 800 м от кратера, внезапно разразился 4 июля и едва не уничтожил нас, наблюдавших за деятельностью кратера метрах в 400 от него. Только что упавшие ярко раскаленные (в трещинах) бомбы и воронки, образованные ими, из которых поднимались клубы пара, были такими же, как уже существовавшие на поле шлаков. Вообще надо заметить, что бомбопад ранних стадий извержения был здесь очень небольшим или захватил только узкую, менее 300 м в радиусе, зону вокруг

пункта прорыва, которая теперь скрыта под лавовым потоком. В этом отличие, например от Толбачинского 1941 г. побочного кратера, где зона бомбопада доходила до 1 км в радиусе кратера и самый бомбопад был более интенсивным.

Формирование лавового потока

Одновременно с деятельностью лавового фонтана происходило излияние большой массы жидкой лавы. Лава выступала и в форме спокойного стока, и в виде всплесков через край бокки, и путем обрушения в поток мягких хлопьев из лавового фонтана. В день нашего приезда движущийся поток лавы был уже длиной около $1\frac{1}{2}$ км, при ширине около 600 м.

Поток спускался вниз по полого падающему песчано-каменистому тальвегу сухой реки Голубельной, несколько южнее побочных кратеров Карпинского и Пещерного. Справа его ограничивал один из старых лавовых потоков, язык которого лежал примерно на горизонтали основания кратера Карпинского.

Издали поток выступает в виде мрачной каменной насыпи с очень крутыми боками и хаотической глыбовой поверхностью. Особенно хаотической поверхность была в краевых частях потока, где, кроме взбурившейся массы самой движущейся лавы, кое-где виднелись огромные красноватые агломератового строения пики и утесы, представляющие руины ранних валов лавовых фонтанов. Краевые части были наиболее высокими — до 12 м над основанием потока; они занимали примерно половину ширины потока, тогда как средняя часть, являвшаяся фарватером, была на 3—4 м ниже краев и казалась более ровной.

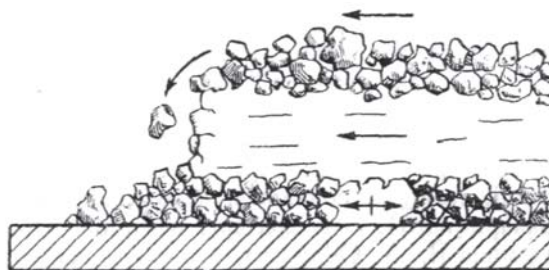
Общий тон потока был темный, и только местами, оживляя его, поблескивали раскаленные докрасна участки. Больше всего раскаленных мест было в фронтальной части, где ярко светящаяся лава виднелась в многочисленных вертикальных расщелинах и выступала иногда сплошной полосой в обрывах срединного пласта потока. Здесь можно было наблюдать механизм движения лавы.

Масса лавы двигалась настолько медленно, что глаз не улавливал непосредственно перемещения фронта потока. Движение устанавливалось только по непрерывным обвалам глыб и грохоту их, а также по изменению положения языка за значительный промежуток времени. Верхняя бровка потока все время находилась в неустойчивом состоянии, потому что сюда то и дело подходила поверхностная россыпь свободных и уже застывших глыб и обломков лавы, прикрывавшая текущую лаву. С бровки этой россыпи непрерывно скатывались вниз обломки и большие глыбы, и сюда же падали ярко раскаленные, но большей частью уже твердые глыбы лавы из напиряющего срединного пласта потока, которые или скатывались под влиянием собственной тяжести, медленно отделившись от раскаленного пластичного субстрата, или отламывались в результате удара падавших сверху темных глыб поверхностной россыпи. Пластичная, тягучая масса срединной части потока хотя и медленно, но неизменно наваливалась или натекала на образующуюся россыпь у подошвы языка лавы, оставляя ее неподвижной. Вследствие этого зона россыпи у подошвы потока всегда была ничтожно узкой, а откос потока крутым. Таким образом, в вертикальном разрезе потока все время поддерживалось трехъярусное строение: верхняя и нижняя поверхности — из остывших разобщенных глыб лавы, мощностью каждая от 1.5 до 2.5 м, и срединная часть — из сплошной све-

тящейся тягучей лавы, мощностью около 3 м. Движение лавы происходило так, что она текла как бы по своей верхней поверхности (фиг. 14).

Скорость движения потока в фронтальной части во время существования лавовых фонтанов установилась около 250—300 м в сутки. На шестые сутки после конца извержения поток продолжал двигаться со скоростью 70 м в сутки, а перед окончательным застыванием, на 9-е сутки после извержения, суточная скорость была уже только 10 м. Со скоростью от 20 до 40 м в сутки двигались боковые части потока, но это происходило только на участке, отстоящем на 500—700 м от языка! потока.

Измерения температуры лавы производились нами многократно, при помощи оптического пирометра, с расстояния в 4—5 м от измеряемого участка на движущемся потоке. Максимальная температура лавы в 1100°



Фиг. 14. Строение лавового потока и схема движения его.

была найдена в вертикальных трещинах срединного пласта потока в его фронтальной части, где ясно было видно тягучее состояние ярко раскаленной лавы. Наблюдая температуру в участках, где происходило оттягивание отваливающихся твердых глыб от пластичной срединной части потока, можно было установить, что нижняя граница тягучести лавы колебалась в пределах 980—1040°. Ниже 980° лавы, несмотря на то, что была раскаленной, оказывалась совершенно твердой, ибо в момент ее падения при такой температуре от глыб иногда откалывались и отлетали твердые обломки. Через 2—3 секунды на обнаженной поверхности светящейся лавы температура падала на 70—100°, а через несколько минут доходила уже до 700—750°. На поверхности краевых частей потока, где скорость была небольшой, температуры выше 900° мы не встречали.

В первые дни наших наблюдений за извержением, до 2 июля, когда в кратере продолжали бурно действовать лавовые фонтаны, поток на расстоянии до 2 км от истока обладал способностью давать взрывы. Там и здесь на этом расстоянии в фарватере эпизодически, на высоту до 50—100 м, выбрасывались кучные столбы красновато-бурых газов и пепла (пыли) вида «цветной капусты» и одновременно летели вверх темные и раскаленные до тусклокрасного цвета обломки лавы. На месте взрыва оставались низкие и пологие холмики, которые, однако, по мере движения потока, быстро распадались. Особенной правильности в появлении и сосредоточении их в каком-либо одном пункте потока не наблюдалось, так что естественно считать их производными бурной фонтанирующей деятельности в кратере, когда исток лавы загроужался падавшими в огромном количестве сверху хлопьями лавы, привносившими воздух в массу льющегося раскаленного вещества. Позднее появление взрывов вдали от кратера

скорее всего можно объяснять процессом медленной концентрации поглощенного и в дальнейшем нагретого воздуха в один или несколько крупных газовых пузырей.

Поток, когда окончательно прекратилось движение, имел, по грубой оценке, длину около 5.5 км, ширину около 600 м и мощность в среднем 10 м, что дает объем его примерно в 33 млн. м³.

Лава по макроскопическим особенностям весьма похожа на лаву современных извержений Ключевской сопки. Это такая же темная базальтовая порода, как и последняя, с характерной обильной эвпорфировой вкрапленностью мелких кристалликов белого плагиоклаза и с более крупными и редкими порфиrowыми индивидами оливина и клинопироксена.

Эксплозивные кратеры

Эти образования, существенно газовые по происхождению, создались и были деятельными, судя по огромным вулканическим тучам, в первые два дня извержения, так как утром 22 июня высота тучи над местом прорыва уже резко упала.

На протяжении около 2 км по линии СЗ 320° расположились четыре продолговатых кратера, из которых верхние три почти сливаются друг с другом, а четвертый, стоящий подальше, находится у подошвы лавового конуса (кратера Заварицкого). Эти кратеры нами были названы: первый сверху именем академика В. А. Обручева, второй — академика Ф. Ю. Левинсон-Лессинга, третий — академика В. Л. Комарова и четвертый — академика С. П. Крашенинникова (фиг. 15).

Общими особенностями для каждого кратера являются: их удлиненно-яйцевидная, в плане, форма, острым концом направленная вниз по склону; наличие в каждом кратере нескольких воронок взрыва, уменьшающихся сверху вниз (по склону), и индивидуальные насыпные валы, вытянутые вдоль линии прорыва, которых почти нет в местах соединения кратеров и у нижних окончаний их.

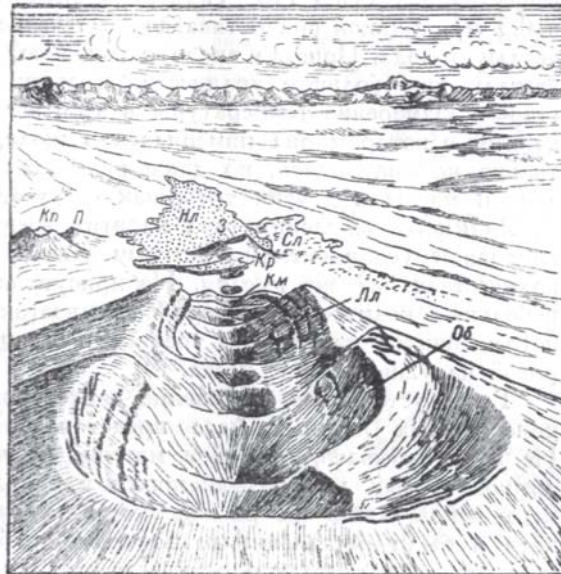
Так, кратер Обручева, длиной около 300 м и шириной в верхней части 130 м, состоит из четырех воронок взрыва, из которых верхняя (по склону) имеет глубину около 70 м и поперечник 130 м, а нижняя — глубину только 10 м и в поперечнике 20 м. Кратер Левинсон-Лессинга начинается глубиной около 80 м и заканчивается мелкими воронками глубиной не более 5—7 м; воронок взрыва здесь 7; кратер наиболее широк в средней части, около 120 м, но диаметры и глубины воронок взрыва опять уменьшаются по мере падения общего склона. Кратер Комарова уже не имеет отвесных внутренних стенок; они круто падающие, осыпные; глубина воронки в верхней части 60 м, в нижней — 15 м; поперечник в верхней части около 200 м, в нижней — 30 м; всех воронок 5. Кратер Крашенинникова меньше всех по размерам. От кратера Комарова он отстоит в 220 м, поперечник его в верхней и средней частях около 80 м, длина — 160 м, стенки кратера также осыпные и круто падающие; воронок взрыва 4.

Стенки кратеров Обручева и Левинсон-Лессинга в верхних (по падению) половинах представляют отвесные обрывы, в которых видно наслоение горизонтальных полос кирпично-красных обломочных масс. В нижних половинах, где воронки взрыва мелкие и неширокие, стенки кратеров выстилаются, и здесь они представляют круто падающие осыпи из серых обломков и глыб, подобные наружным склонам окаймляющих насыпных

¹Материалы топографической съемки еще не обработаны.

валов. На северо-западной стенке кратера Обручева видно несколько наружных пластов из красных агломератовых масс, падающих внутрь кратера в виде языков или своеобразных кластически-лавовых оплывин. Такая же кластически-лавовая оплывина, но темносерого цвета, имеется на западной осыпной стороне кратера Комарова. На генезисе этих образований мы остановимся ниже.

Насыпные валы, окаймляющие стенки кратеров, имеющие высоту около 50—70 м, состоят из лавового щебня, обломков, глыб, реже, цельных бомб, выброшенных в результате взрывов. Такой же обломочный материал разбросан в ближайшей окрестности кратеров, на расстоянии не более 500 м. Вблизи подножья насыпных валов встречаются в значительном количестве овалы бомбы из плотной стекловатой лавы, размеры которых иногда достигают 8 м по длинной оси. Такие же бомбы кое-где лежат на дне мелких воронок взрыва внутри кратеров. Поверхность бомб неправильно оплывшая и хаотически потрескавшаяся.



Фиг. 15. Вид кратеров Юбилейного прорыва сверху вниз. *Об* — кратер Обручева (толстые линии на гребнях — раскаленные трещины); *Лл* — кратер Левинсон-Лессинга; *Км* — кратер Комарова; *Кр* — кратер Крашенинникова; *З* — кратер Заварицкого; *Кл* — кратер Карпинского; *П* — кратер Пещерный; *Нл* — поток новой лавы; *Сл* — поток старой лавы. Вдали хребет Кумроч и вулкан Шиш. 18 июля 1945 г.

Эксплозивный материал состоит из частиц новой лавы и большого количества обломков старых лав. Новая лава эксплозивных кратеров, встречающаяся исключительно в раздробленном состоянии и в виде бомб, характеризуется своим темным цветом, плотностью и при ударе отличается от более раскристаллизованной серой, более глухо звенящей эффузивной лавы кратера Заварицкого. Среди старого лавового материала распространены обычные серые базальтовые породы Ключевского вулкана, различных оттенков, с эвпорфировыми структурами. Очень характерно отсутствие среди выброшенного материала крупнопорфировых плагиоклазовых базальтов¹ и осадочных пород фундамента Ключевского вулкана.

Явление вторичного нагрева и рефузии

В ряде мест на гребне насыпного вала кратера Обручева нами были обнаружены протяженные трещины, субпараллельно или, большей частью, косо секущие гребень. Эти трещины, длиной до 30 м и шириной 30—50 см,

¹ Точнее — лав основного состава, так как в группе этих пород, помимо базальтов, встречаются андезиты и андезито-базальты (Влодавец, 1940).

оказались весьма интересными тем, что в них, на глубине от 0.5 до 1.5 м, в ряде мест наблюдался раскаленный докрасна рыхлый материал выбросав. Это не была связная масса светящейся лавы, а была именно раскаленная щебенка, отдельные частицы которой светились, как угольки в жаровне (фиг. 15).

Впервые это явление было замечено 18 июля, т. е. спустя почти месяц после эксплозивной фазы извержения. Температура раскаленного рыхлого вещества оказалась 790° (измерено оптическим пирометром с расстояния в 0.5 м), и такой она оставалась в течение нескольких дней, пока мы не уехали отсюда. Приехав вновь в сентябре, мы на этом месте 21 сентября застали уже большее количество трещин, среди которых сохранились и старые. Измерение температуры в этой же трещине и примерно в том же пункте, в котором она измерялась в июле, показало, что температура не только не понизилась, но даже возросла до 840° С. Температура раскаленной массы в других трещинах была от 730 до 840° С.

Видимого выделения газа из этих трещин не замечалось, и, судя по ощущавшемуся временами резкому запаху, газ здесь, хотя и в небольших количествах, всё же имелся. На присутствие газа указывало, кроме того, небольшое количество минеральных возгонов, кое-где (далеко не всюду) встречавшихся на стенках трещин и в цементированной ими сантиметровой наружной корке песка.

Такое устойчивое, в течение длительного времени, раскаленное состояние рыхлых лавовых масс представляет факт выдающегося интереса. Не надо забывать, что этот материал почти наполовину состоит из обломков старых лав, находившихся в кровле эксплозивного очага, в силу чего исключалась их раскаленность, а частички свежей лавы, которые хотя и были раскаленными во время выброса, должны были с момента извержения значительно остыть в связи с рассеянностью их в массе более холодных обломков старых лав. К такому выводу мы неизбежно приходим и на основании наших наблюдений над хлопьями шлаков, падавшими из лавовых фонтанов кратера Заварицкого, и над оттягивавшимися от пластичной срединной зоны лавового потока глыбами лавы, которые весьма быстро теряли свою высокую температуру и зачастую в момент падения были уже темными. Таким образом, нормально, казалось бы, должен был идти процесс постепенного остывания лавового нагромождения. Если мы наблюдаем противоположную тенденцию или, во всяком случае, такое состояние, что лава устойчиво остается светящейся в течение нескольких месяцев после извержения, то необходимо предполагать наличие в этой массе какого-то химического процесса, который в состоянии поддерживать высокую температуру отложения на одном уровне.

Суть этого процесса мы можем представить себе, если всмотримся в особенности лавового нагромождения. Внешние склоны кратерной насыпи, как мы уже говорили, представляют круто падающую подвижную осыпь серого каменного вещества, тогда как отвесные внутренние стенки, оборванные взрывами и постэруптивными обвалами, сложены из полуспекшихся аггломератовых масс яркого красного цвета. Несомненно, последние представляют обнажения внутренних, ранее закрытых частей нагромождения эксплозивного материала. Это различие окрасок, а также связности материала внутри насыпи и на внешнем покрове не может быть результатом сортировки вещества при эксплозиях, ибо вся эта обломочная масса во время взрывов имела нормальную для литоидных лав серую или темносерую окраску, что доказывается цветом частиц, лежащих на внешнем склоне насыпи или раскиданных по местности далеко в сто-

роне от кратера. Следует заметить, что подобная красная окраска лавовых частиц, повидимому, вообще не образуется при выбросах свежей (ювенильной) лавы, так как мы не наблюдали ее среди выброшенных лавовыми фонтанами частиц при извержении кратера Заварицкого и не видели ее на внешнем склоне такого же латерального кратера Толбачинского вулкана, действовавшего в 1941 г., тогда как во внутренних обрывах стенок кратера в том и другом случае она уже имелась. Необходимо допустить, что для перехода нормальной окраски лавы в красную требуется большой отрезок времени, чем промежуток между вылетом лавы из кратера и падением на грунт; иначе говоря, отсюда вытекает, что красная окраска лав всегда представляет явление постэруптивного порядка.

Красная окраска лав, как теперь хорошо установлено исследованиями многих авторов, объясняется присутствием в лаве больших количеств окисных соединений железа, гораздо больших, чем в лавах нормально серого цвета из того же потока. Приобретение лавой красной окраски представляет результат перехода (окисления) закисных соединений железа в окисные в различных минералах лав, причем этот переход сопровождается частичным или полным разрушением минералов, содержащих закись железа, и в зависимости от степени окисления получается красная окраска той или иной яркости.

Несомненно, явление раскаленного рыхлого лавового вещества в кратере Обручева и устойчивость этого явления надо связывать с процессом окисления лавы и приобретением ею красной окраски. Мы представляем себе этот процесс в таком виде. Сразу же при падении на землю груды раскаленных лавовых частиц сюда начинает засасываться холодный наружный воздух, кислород которого, воздействуя на горячий пористый лавовый материал, тотчас начинает окислять закись железа в минералах лавы и этой реакцией вызывает какой-то подъем температуры. По мере возрастания мощности нагромождения масштаб и интенсивность процесса увеличиваются, так что подъем температуры в результате этой экзотермической реакции достигает очень значительных размеров.

Для возникновения этого процесса, несомненно, требуется какая-то начальная достаточно высокая температура, ибо если такой процесс, судя по красным агглютинативным массам, всегда имеет место в эмбриональных шлаковых конусах, то он не происходит (или только в особых случаях незначительно проявляется) в менее горячих и менее мощных отложениях лавин раскаленного рыхлого материала, получающихся в результате извержений высоких вулканов.

Сохранению достаточной температуры в случаях, подобных нашему, благоприятствует то, что взрывные продукты отлагаются по соседству с пунктом извержения и довольно быстро накапливаются в мощное отложение. Состав и физическое состояние взрывных частиц, повидимому, не существенны для возникновения процесса, ибо в нашем примере 1) большая часть пирокластики представлена старой лавой из кровли над пунктом эруптивного прорыва, 2) этот материал был и остался твердым при выбросах и, возможно, не был даже раскаленным, 3) свежая лава, судя по форме и сложению бомб, была вязко-пластичной, так что температура ее, вероятно, имела значение, близкое к значению температуры внутренней части лавового потока, т. е. была не свыше 1100°. Частицы свежей лавы, спорадически вкрапленные в массу более холодных обломков старых лав, вероятно, и были теми зародышами, от которых, вследствие сразу же начавшегося подтекания под основание насыпи атмо-

сферного воздуха, начался процесс окисления и нагревания, охвативший через месяц всю 50—70-метровую толщу взрывного вала.

Этот процесс может продолжаться очень долго. Поучительными примерами являются побочные кратеры Туйла и Билюкай. Извержение Туйлы происходило и закончилось 13 лет назад, но, несмотря на это, взрывная насыпь его (но не кратер) остается горячей и до сегодняшнего дня; в сентябре 1945 г. мы обнаружили здесь, возле гребня конуса, ряд трещин, из которых выходили слабые струйки газов и водяных паров, имевшие температуру в одном случае 109°, в другом 243°.¹ Более сильную фумарольную деятельность имел кратер Билюкай, который бездействует с начала 1939 г. В сентябре 1945 г. максимальная температура одной из продолжающих возгонять нашатырь фумарол на вершине этого конуса была 287°. Довольно большие клубы фумарольного газа поднимались также из соседнего с Билюкаем кратера Тиранус.

В ранние стадии описываемого процесса окисления и саморазогревания шлаковых конусов температура, вероятно, может достигать такого значения, что происходит не только агглютинация рыхлого вещества, но появляется и способность его к перемещению или истечению. Мы думаем, что только этим можно объяснить существование на северо-западной внутренней стенке кратера Обручева и западной стенке кратера Комарова загадочных, согласно падающих со склона пластов агглютината. Действительно, форма их, в виде широких оплывин с параболическим очертанием в плане или же узких вытянутых потоков, мощностью до 1,5—2 м. и «приклеенность» их на склонах, крутизна которых достигает до 40—45°, — свойства, присущие только вязко двигавшейся связной массе. Осмотр оплывины в кратере Комарова, спустя три месяца после извержения, показал, что она продолжает быть еще сильно нагретой: щебенка, выбитая из нее, была столь горячей, что ее невозможно было удержать в руке. Повидимому, такими же горячими являются оплывины на стенках кратера Обручева, но они были недоступны для непосредственного осмотра. Выделения газа или присутствия раскаленных трещин в оплывинах мы здесь не заметили, но существование их не исключено. В факте таких агглютинативных потоков мы имеем явление, которое может быть названо «рефузией».

Воочию обнаруженный в кратере Обручева процесс постэруптивного разогрева рыхлой лавовой массы по ряду косвенных признаков имеет место и в других взрывных кратерах Юбилейного прорыва. Главными из этих признаков являются: осязаемый жар на гребнях всех кратеров без заметного газоотделения и существование, судя по обрывам внутренних стенок, красных аггломератов под плащом серой пирокластики.

Трещины, в которых видна раскаленная лава, имеются во многих местах и на лавовом потоке. И здесь обращает на себя внимание устойчивость раскаленного состояния лавы в течение нескольких месяцев после излияния, — обстоятельство, которое идет вразрез с наблюдавшимися нами случаями быстрого остывания до несветящегося состояния как отдельных глыб лавы, так и больших участков ее на движущемся фронте потока. Так, например, лава в одной из трещин возле подошвы конуса Заварицкого имела 16 июля температуру 820°, а два месяца спустя, 16 сентября, — 710°. Надо заметить, что и здесь раскаленной была не сама монолитная масса лавы, а щебенка шлаков, обрушившаяся с краев в выклини-

¹ На глубине температура, несомненно, выше

вающееся пространство трещины, так что понижение температуры на 110° могло быть вызвано неполным разогреванием недавно обрушившихся в трещину шлаков. Повидимому, и здесь мы имеем явление постэруптивного нагрева, очаг которого находится в рыхлой аггломератовой массе под срединным монолитом потока. Надо полагать, что это так, ибо аггломератовые основания морфологически целых¹ лавовых потоков глыбового типа, судя по нашему опыту, на многочисленных вулканах Камчатки всегда являются гематизированными и, соответственно этому, окрашенными в кирпично-красный цвет. Жар окислительного процесса, поднимаясь через трещины в потоке к поверхности, разогревает на пути, вдоль трещины, остывающую массу лавы, которая поэтому оказывается раскаленной до красна до самой поверхности потока и в таком состоянии держится длительное время. Огромное влияние этот процесс оказывает, безусловно, и на термальный режим и материальный состав фумарол, которые, как правило, группируются в местах подобных трещин.

Фумаролы

При осмотре поля фумарольной деятельности нас, прежде всего, поразило резкое различие между фумаролами лавового потока, с их обильными возгонами нашатыря, и фумаролами взрывчатых кратеров, возгонявших преимущественно сульфаты и элементарную серу. Дальнейший осмотр выявил еще ряд типов, отличных друг от друга качественным составом газов и возгонов, температурным режимом и территориальной обособленностью. Все эти типы ясно подчинялись различиям в составе и сложении лавовых сооружений, зависели от положения относительно линии прорыва и, безусловно, многим были обязаны явлениям постэруптивного окисления лавы.

На основании этих особенностей можно дать следующую предварительную генетическую классификацию фумарол Юбилейного прорыва (табл. 2).

Фумаролы типа I расположены на северо-западном внешнем склоне и гребне насыпного вала кратера Обручева, т. е. на оси прорыва, и подразделяются на две группы. Первая расположена на внешнем склоне вала. Газы с резким удушающим запахом, повидимому HCl и HF, и пары воды выбиваются из-под обломков и глыб. Возгоны бурой, желтой и белой окраски образуют влажные покровы из скорлуповых пустотелых частичек около устьев фумарол и в нишах под обломками. Частью возгоны присутствуют в виде сухих корок и наростов, легких и пористых, как пемза. Повидимому, здесь преобладает смесь хлоридов и сульфатов. Температура фумарол от 180 до 260° .

Другая группа фумарол этого типа приурочена к открытым раскаленным трещинам на гребне кратера. Газоотделение из них, видимое на-глаз, небольшое, может быть, за счет меньшего количества паров воды. Судя по резкому запаху, газ здесь тоже хлористо-водородный и, вероятно, тоже с примесью серосодержащих газов, так как в стороне от трещин, под обломками, встречаются иголки самородной серы. Возгонов мало, но они очень интересны и разнообразны. На стенках трещины, в зоне температуры 500 — 550° , в виде обособленных кучек в небольшом количестве был

¹ В лавовых потоках, входящих в толщу наслоенных масс тела вулкана или платообразований, красная окраска аггломератов часто отсутствует; она явно исчезает под влиянием диагенетических изменений.

Таблица 2

Классификация фумарол Юбилейного прорыва

	С участием процесса окисления лавы	Без участия процесса окисления лавы
На линии прорыва	<p>I. Фумаролы на валах взрывных кратеров</p> <p>II. Фумаролы на конусе свежих лав</p> <p>III. Фумаролы на лавовом потоке</p>	IV. Фумаролы на дне взрывных кратеров
Вне линии прорыва	<p>V. Фумаролы на лавовом потоке</p> <p>VI. Фумаролы на валах взрывных кратеров</p>	VII. Временное газоотделение крупных вулканических бомб и наслоненных взрывных обломков

найден медово-желтый тонкопластинчатый негигроскопичный минерал, который оказался весьма любопытным еще тем, что, будучи извлечен из трещины, мгновенно менял окраску на нежнобирюзовую. Там же, но не в сочетании с первым, а ближе к поверхности, в зоне температуры 400—450°, встречались агрегаты взаимно-проникающих масс нескольких минералов: 1) темного травяно-зеленого тонкопластинчатого, 2) белого пушистого в агрегате шарообразных телец, по форме напоминающего кисть винограда, и под этими двумя — нежные рыхлые массы мелких кристаллов, 3) темнокрасного просвечивающего призматического минерала, 4) углисто-черного непрозрачного таблитчатого и 5) темнубурого нежноволокнистого. Все минералы, по видимому, — галоидные соединения металлов. Температура раскаленных лавовых обломков 840°, а газа на уровне краев трещины — 320°.

Фумаролы типа II, тоже лежащие на оси прорыва, находятся на внешнем склоне конуса Заварицкого. Так как газы проходят через толщу свежих лав, то инкрустация здесь иного облика. Очень характерны господствующие канареечно-желтые и киноварно-красные инкрустации в виде корочек и шишковатых наростов на шлаках; наряду с ними, но в меньших количествах, встречаются и самородная сера и белый пушистый нашатырь. Судя по резкому запаху, газ и здесь существенно хлористо-водородный, а присутствие серы среди возгонов указывает и на примесь сульфатных газов. Температура фумарол до 264°.

Фумаролы типа III расположены между конусом Заварицкого и кратером Крашенинникова, на поверхности короткого истока лавы, вытекшей в последних стадиях извержения. В стенках раскаленной трещины с температурой 780° на дне, несколько ближе к поверхности, в зоне температуры 500°, опять встречается, но уже в большем количестве, медово-желтый кристаллический возгон, меняющий окраску по охлаждению на нежнобирюзовую. Вне трещины, но, по видимому, на скрытой раскаленной массе,

встречается ряд других возгонов: 1) белый мучнистый, 2) лимонно-желтый, как в фумаролах типа II, 3) киноварно-красный, 4) кофейно-бурый пенистый, как пемза, 5) такой же, но бледнокремового цвета, 6) и 7) снова, но в небольших количествах, нашатырь и сера. Газ опять с резким запахом хлористого водорода. Температура на поверхности, вне раскаленной трещины — до 350—400°.

Фумаролы типа IV отличаются от вышеперечисленных своим отчетливым сольфатарным обликом. Они встречаются исключительно во внутренних пространствах эксплозивных кратеров. Газ резко пахнет сероводородом и двуокисью серы; среди сублиматов характерны сера и сульфаты. Форма инкрустации: тонкие пленки в виде лепесточков, оборочек, бахромок белого, желтого и зеленоватого цветов; они стелются узорами по поверхности песчаной почвы и обломкам лав. По внешнему виду и условиям образования напоминают пиккерингит, галотрихит, алуноген и вольтаит кратера Авачинской сопки, исследованные академиком А. Н. Заварицким. Сера, в виде пушистых агрегатов из тонких длинных игл, заполняет устья некоторых фумарол или накапливается под обломками лав. Температура газа в устьях фумарол — от 85 до 290°.

На границе лавового потока и кратера Крашенинникова были встречены фумаролы, переходные от III к IV типу. Здесь, помимо преобладающих сульфатов и серы, ближе к отверстиям фумарол отлагались в небольших количествах нашатырь и киноварно-красный возгон, — минералы, типичные для фумарол лавового потока. Здесь же в устьях фумарольных скважин, где температура газа доходила до 310°, а также под поверхностными обломками в полости скважин, отлагались сублиматы в виде налетов на обломках и накипей, изгарин и сталактитов в пустотах; окраска их ржаво-бурая, кирпично-красная, бледножелтая и темносиняя (молибден?).

Фумаролы V типа раскиданы по поверхности лавового потока, в стороне от линии прорыва. Они характеризуются своими возгонами и внешними особенностями газа, удивительно постоянными на всей огромной площади лавового поля. Преобладающим и очень характерным сублиматом является нашатырь в виде шестоватых или сотовидных агрегатов снежно-белых, яично-желтых, оранжевых, а в нижнем течении лавового потока, где лава вступила в зону ольховых кустарников, и грязносерых от битума. В полостях скважин он иногда образует друзы мелких стеклянноподобных кристаллов.

Кроме нашатыря характерны: киноварно-красный возгон в виде корок с шестоватой структурой, находящихся под отложением нашатыря или в ассоциации с ним, и лимонно-желтый сублимат в виде тонкого мучнистого налета и наростов на глыбах лавы. Фумарольный газ отличается своим чуть голубоватым оттенком, ясным запахом нашатыря и присутствием заметных количеств паров воды. Температура газа в местах возгона — от 80 до 240°.

Наблюдая поток в его движении, можно было заметить, что фумаролы возникали на нем не сразу, а спустя 3—4 суток после остановки; первые фумаролы, естественно, обособлялись в краевой части потока, а на фарватере их не было до тех пор, пока он окончательно не остановился. Фумаролы сразу же стали возгонять нашатырь и пылевидный лимонно-желтый сублимат. В распределении фумарол интересно то, что они сосредоточены только в отдельных пунктах лавового поля и их, вообще говоря, немного. Нельзя было не обратить внимание на их частую связь с трещинами, в которых устойчиво и долго светилась раскаленная лава.

Фумаролы VI типа связаны с раскаленными трещинами продольных гребней кратера Обручева. Раскаленные трещины восточного гребня почти совершенно лишены возгонов; на западном же гребне они отлагаются в незначительном количестве в виде мучнистых белых и желтых налетов и, кое-где, игольчатой серы. Химически активные газы, судя по резкому запаху, хотя и выделяются здесь, но в очень малом количестве; характерно также отсутствие паров воды. Температура раскаленной массы в трещине, как мы указывали, была 840° .

Наконец, небольшое временное газовыделение, которое мы относим к VII типу фумарольной деятельности, происходило в течение месяца после извержения из трещины в отдельных крупных вулканических бомбах и из тонких наслоений рыхлого материала выбросов внизу на склонах и у подножья насыпных валов эксплозивных кратеров. Бомбы и парящие участки слегка пахли сольфатарными газами; они были еще теплыми, а в трещинах даже горячими, и возле них под защитой навесов в трещинках и под нижними плоскостями обломков были видны тонкие пленки сульфатных возгонов. Так как источник питания здесь был ограничен, то газовыделение через три месяца после извержения совершенно прекратилось.

Явление окисления лавы и вызываемое им постэруптивное нагревание отложений лавовых масс дает возможность по-новому поставить вопрос о происхождении составных частей фумарольных газов и об очаге питания их. Действительно, если до сих пор всякая фумарола рассматривалась как источник только первичного газового вещества лавы, то теперь, кроме этих первичных газов, в струе фумарол необходимо учитывать закономерное присутствие как газов атмосферы, так и продуктов реакции их с коренными газами.

Следовательно, в свете этого нового факта, фумарольная струя в общем случае должна слагаться из четырех родов газов: 1) свободных, легко выделяющихся из лавы по мере ее остывания, 2) оклюдированных, остающихся в лаве даже при достаточно высокой температуре, 3) получившихся в результате реакции с газами атмосферы и 4) собственно атмосферных газов. Рассмотрим каждую из этих групп на примерах наших фумарол.

1. Газы, легко выделяющиеся из лавы по мере ее остывания или в течение того времени, пока лавы сохраняет свою высокую температуру, очевидно, слагают все первые фазы фумарольной деятельности после конца извержения, а впоследствии устойчиво сохраняются только в полостях кратеров, т. е. над пунктами, где на глубине имеется очаг остывающей или находящейся непрерывно-долго в нагретом состоянии магмы. Эти свободные вулканические газы, в смеси с другими, несомненно, присутствуют во всех типах наших фумарол, но в наиболее чистом виде они обнаруживаются в фумаролах на дне кратеров и в недолговечных испарениях отдельных лавовых частиц и маломощных отложений их (типы IV и VII). Примеси газов другого происхождения здесь трудно предполагать, так как ниже дна кратера в вертикальном трубчатом канале, где вверх идет ток свободных газов, отсутствуют благоприятные условия для притока воздуха и, следовательно, окисления нагретых масс лавы; не могут появиться они в типе VII фумарол. Состав этих газов, судя по типам IV и VII наших фумарол, существенно аква-сольфатарный, а возгонами являются сульфаты и сера. Такой же состав, судя по нашему опыту и данным других исследователей, характерен для фумарол многих, если не всех, терминальных кратеров стратовулканов Камчатки (например, Авачин-

ского, Жупановского, Узона, Кизимена, Толбачинского, Шивелуча и, по-видимому, Ключевского).

2. Судя по многочисленным анализам горных пород, оклюдированные газы, содержащиеся в этих породах, обнаруживают довольно постоянный состав из водорода, окислов углерода и подчиненных количеств сероводорода и азота. В свежих, только что извергнутых лавах к этим газам, мы полагаем, присоединяется еще ряд компонентов, особенно таких, как галоидно-водородные газы, остаток которых может оставаться в лаве после возгона их вместе с газами первой группы и сохраниться спустя долгое время после остывания лавы. Если тотчас после извержения начнется процесс окисления лавы, то эти остаточные оклюдированные галоидно-водородные газы будут вновь возгоняться, частью в чистом виде и частью в форме сублиматов и продуктов реакции с газами атмосферы.

3. В результате высокой температуры, весьма вероятно доходящей до 1000°C , которая развивается в рыхлой лавовой массе вследствие процесса окисления, несомненно, будут происходить реакции между нагретыми составными частями воздуха, свободными вулканическими газами, оклюдированными газами и нелетучим материалом лавы. Очевидно, здесь могут иметь место многие реакции, о которых до анализа газов и возгонов мы пока ничего сказать не можем, но одна реакция, совершающаяся в большом масштабе, весьма характерна своим постоянством и своим проявлением на обширной площади. Это — реакция образования нашатыря. Возгон его очень характерен тем, что он встречается только на поверхности потока и конуса шлаков свежих лав, и его нет, в силу каких-то особенностей, среди возгонов на гребнях взрывных кратеров, сложенных существенно из обломков древних лав, хотя ион аммония здесь может быть в комбинации с фтором или в сложном галоидном соединении. Азот нашатыря (и аналогов), вероятно, является азотом воздуха, который, нагреваясь, вступает в реакцию с водородом и хлористым водородом и, таким образом, подобно способу Габера в технике, непрерывно синтезируется в виде хлористого аммония.

4. Поступающий в пористую массу лавы объем воздуха, надо думать, превосходит то количество, которое вступает в реакцию с лавой и с выделяющимися из нее газами. Поэтому избыток воздуха вместе с продуктами реакции обязательно должен войти в газовую струю фумаролы, причем кислород и азот, в зависимости от степени участия их в реакциях, могут находиться в отношениях, отличных от нормальной пропорции их в воздухе. По этой же причине в составе фумарольных струй должны присутствовать и благородные газы; поскольку они не участвуют в реакциях, надо ожидать, что количественное отношение их к азоту или кислороду будет более высоким, чем в нормальном составе воздуха.

Путь подъема лавы и форма инъекции

Эксплозивные кратеры, вытянутые цепочкой почти на 2 км по склону и образованные каждый из серии постепенно уменьшающихся по размерам воронок взрывов, из которых верхняя в каждом кратере — самая большая, показывают: 1) что взрывная фаза латерального извержения происходила сериями убывающих по силе взрывов, перемещавшихся вниз по склону, и 2) что эруптивная масса, в силу этого, подходила к поверхности субгоризонтально или, скорее всего, способом межпластовой инъекции. На неглубокий очаг газовых взрывов указывают и взрывные

обломки, главным образом являющиеся теми старыми лавами Ключевской сопки, которые лежат на толще древних трещинных излияний крупно- и гигантопорфировых плагиоклазовых базальтов, не представленных среди продуктов эксплозии.

Состав ксенолитов в лаве, излитой из кратера Заварицкого, дает возможность сделать предположение и о более глубоких путях движения лавы. Судя по тому, что среди ксенолитов нет кристаллических пород и плотных мезозойских или нижнетретичных зеленокаменного облика осадков, а присутствуют только мало измененные песчано-глинистые породы габитуса верхнетретичных свит, необходимо допустить: 1) что канал латерального извержения не имеет прямой связи с вулканическим очагом, ибо существование последнего в области развития третичных отложений, хотя бы значительно опущенных, мало вероятно, и 2) что путь движущейся к поверхности лавы проходил по толще верхнетретичных отложений, т. е. полого-наклонно кверху или, может быть, даже почти субгоризонтально, и поэтому ответвление лавы от центрального канала Ключевской сопки имело место на глубине не столь далеко от уровня подошвы вулкана (вероятно, не глубже 2 км от уровня моря).

Такие соображения о пути движения лавы определяют и форму инъекции. Действительно, последняя, в силу всего сказанного выше, не может быть вертикальной, дайкообразной; она может иметь только пластообразную форму. Из типов пластообразной инъекции в разрезах вулканических конусов наиболее часто повторяется форма, имеющая в вертикальном сечении очертания сравнительно неширокой (до 100—150 м) уплощенной линзы или чечевицы.

Такие инъекции наблюдались академиком А. Н. Заварицким в разрезах соммы Авачинской сопки и нами в бортах барранкосов Б. Удины и Зиминной сопки. Весьма вероятно, что такую форму имеет и наша инъекция. В пространстве ее, повидимому, надо представлять себе в виде более или менее изломанной ленты, то пересекающей плоскости напластования, то совпадающей с ними.

IV. СТАДИЯ КОНЦА ЭРУПТИВНОГО ЦИКЛА

В течение 17 дней латерального извержения вершина Ключевской сопки оставалась в спокойном состоянии. Это можно было видеть по небольшим струйкам фумарол в ясные дни первой недели извержения, и на это же указывало с довольно близкого расстояния безмолвие массива вулкана в последующие туманные и облачные дни.

Такое состояние, нарушаемое только редкими и случайными обвалами в неустойчивых стенках кратера и в истоке нового барранкоса, продолжалось до 28 июля. Этот день был облачным, но временами вершина открывалась между облаками. В один из таких просветов, между 22 и 23 час. вечера, неожиданно обнаружилось, что на вершине, вновь после семимесячного покоя, начались сильные взрывы, выразившиеся в зареве от раскаленного пепла и в фонтанах огненно-красных бомб. В течение этого часа, пока была видна вершина, деятельность напоминала ту, которая в зимнем извержении была названа нами фазой бомбовых эксплозии. Начало и конец ее остались неизвестными. Сопровождающих явлений, вроде гула взрыва, воздушных сотрясений и пеплопада, не было заметно. На следующий день, с 12 час. 15 мин., когда с вулкана сошли облака, вершина была в плотных клубах фумарольного газа, более обильных, чем в предыдущие дни, которые поднимались одни с восточной, другие с запад-

мой стороны кратера. Обращали на себя внимание частые обвалы, поднимавшие плотные курчавые столбы буроватой пыли, резко отличные по цвету от снежно-белых фумарольных облачков; их было около пяти в первые три часа наблюдений; к вечеру они прекратились. Частота их появления, а также форма, в момент зарождения подобная свечке, и скульптура типа «цветной капусты» заставляли подозревать, что причиной появления их были небольшие эксплозии, вероятно, замирающие спазмы вчерашних, происходивших на дне кратера (фиг. 16).



Фиг. 16. Кратер Ключевской сопки 29 июля 1945 г. в 20 час. 00 мин. (сутки после финального извержения). В кратере слабые эксплозии (?) газа и обвалы. Вид из с. Ключи.

До октября, когда мы выехали с Камчатки, подобных язлений больше не повторялось. Описываемый случай, повидимому (не всегда вулкан был доступен наблюдениям), был единственным отзвуком центрального жерла на окончившееся латеральное извержение, и он оказался последним для наблюдавшегося нами эруптивного цикла Ключевской сопки.

ЛИТЕРАТУРА

- Влодавев В. И. Ключевская группа вулканов. Труды Камчатск. вулканолог. ст., вып. 1, 1940, стр. 52.
- Заварицкий А. Н. Вулкан Авача на Камчатке и его состояние летом 1931 г. Труды ЦНИГРИ, вып. 35, 1935.
- Меняйлов А. А. и Набоко С. И. Бюлл. Вулканолог. ст. на Камчатке, № 4, 5, 6, 7, 8, 1938—1940.
- Пийи Б. И. Состояние действующих вулканов Камчатки с июня 1943 г. по ноябрь 1944 г. Бюлл. Вулканолог. ст. на Камчатке, № 13.
- Пийи Б. И. Телеграммы об извержениях Камчатских вулканов. Бюлл. Вулканолог. ст. на Камчатке, № 12, 1946.