

Е. К. МАРХИНИН, П. И. ТОКАРЕВ, В. Б. ПУГАЧ
**ИЗУЧЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ВУЛКАНОВ КЛЮЧЕВСКОЙ ГРУППЫ
И ВУЛКАНА ШЕВЕЛУЧ В 1961 г.**

Введение

В течение всего 1961 г. наблюдалось непрерывное, но относительно слабое извержение Ключевского вулкана. В центральном кратере происходил рост шлаковых конусов и образование лавового потока. Извержение сопровождалось непрерывным вулканическим дрожанием; периодически возникал подземный гул.

Характер фумарольной деятельности на молодых побочных кратерах Ключевского вулкана за этот период не изменился.

В 1961 г. произошло три извержения вулкана Безымянного: в марте, июне и декабре. В марте оно было наиболее сильным после 1956 г. В периоды между извержениями состояние вулкана Безымянного характеризовалось интенсивной сольфатарной деятельностью на куполе и в кратере. На агломератовом потоке продолжали действовать затухающие фумаролы, возникшие в 1956 г.

Вулкан Плоский Толбачик проявлял постоянную интенсивную фумарольную деятельность.

Состояние вулкана Шевелуч было таким же, как и в прошлые годы.

Постоянные визуальные и сейсмические наблюдения за вулканами велись со станций Апахончич, Ключи и Козыревск. В июле—августе временно работали также сейсмические станции Толбачик (Средне-Камчатская база) и Безымянная (недалеко от кратера вулкана Безымянного). Обследование действующих фумарол осуществлялось, как и в прошлые годы, во время периодических экспедиционных поездок. Летом 1961 г. работа коллектива Вулканологической станции проводилась главным образом на вулкане Безымянном.

В настоящей статье кратко излагаются результаты проведенных работ.

Ключевская сопка

Наблюдение за извержением вулкана. Извержение в центральном кратере Ключевской сопки началось в конце 1960 г. и продолжалось весь 1961 г. Из пос. Ключи и с вулcano-сейсмической станции Апахончич было видно периодически появляющееся над кратером зарево. О происходящем извержении свидетельствовали также временами доносившиеся со стороны кратера гул и грохот. Постоянно и интенсивно выделялся лишь пар и газ, судить по ним о происходивших внутри кратера явлениях не представлялось возможным. Всего кратер Ключевского вулкана в 1961 г. был открыт со стороны Ключей в течение 156 дней. Ниже приведены данные наблюдений по месяцам. Записи вели ст. лаборанты К. Е. Савинова, Ю. М. Дубик, В. А. Аристархов, В. Н. Бушин и Б. С. Сушко.

Январь. Кратер был открыт 7 дней. С 22 по 24 января наблюдалось интенсивное выделение пара и газа из восточной части кратера. В остальные дни — умеренное парение.

Февраль. Кратер был открыт 9 дней. Сильное выделение газов над всем кратером наблюдалось 7, 8 и 18 февраля. В остальные дни — умеренное парение.

Март. Со стороны Апахончича кратер был открыт 22 дня. 1, 2, 3 марта на вулcano-сейсмической станции Апахончич слышался гул, наблюдались умеренные выбросы газа и пара. 8 и 18 марта — выбросы газа и пара, сопровождавшиеся грохотом взрывов. Ночью над кратером было видно яркое зарево и слышен гул. В остальные дни — умеренное парение.

Апрель. Кратер был виден в течение 15 дней. На вулcano-сейсмической станции Апахончич почти постоянно был слышен гул и временами очень сильный грохот взрывов. Большое яркое зарево над кратером было видно 15 апреля. В Ключах в ночь с 25 на 26 апреля был слышен сильный грохот взрывов и наблюдалось зарево. 26 апреля конус вулкана стал черным. Очевидно, ночью произошел выброс пепла.

Май. Кратер был открыт 11 дней. Гул в районе Апахончича слышен систематически. 2, 23 и 30 мая наблюдались выбросы темного цвета. Очень яркое зарево отмечалось ночью 7 и 22 мая. В стереотрубу в это время были видны каскады раскаленных вулканических бомб. Интенсивная фумарольная деятельность постоянна.

Июнь. Кратер открыт 10 дней. Интенсивное зарево из Ключей отмечалось 6, 7, 8 июня. 11 и 17 июня в Ключах каждые несколько минут со стороны вулкана был слышен гул. На станции Апахончич особенно сильный гул был слышен 3 июня ночью. Интенсивные взрывы с выбросами пара и газа наблюдались днем 18 июня.

Июль. Кратер открыт 15 дней. Ночью над кратером постоянно заметно зарево. Днем — интенсивное парение. Выделения обычно серого цвета.

Август. Открыт 16 дней. Так же как и в июле, по ночам над кратером наблюдалось интенсивное зарево. На станции Апахончич часто был слышен сильный грохот взрывов. Днем кратер усиленно парил.

Сентябрь. Открыт 12 дней. 1, 22 и 23 сентября над кратером отмечались периодические выбросы газовых облаков. На станции Апахончич часто был слышен гул. Во второй половине месяца зарева над кратером отмечено не было.

Октябрь. Открыт 18 дней. 3 октября происходили интенсивные периодические выбросы газа и пара. В остальные дни наблюдалось умеренное парение, более интенсивное в восточной части кратера. Зарева над кратером не отмечались. На станции Апахончич периодически был слышен гул.

Ноябрь. Открыт 11 дней. 2, 3, 11, 20 и 29 ноября отмечены выбросы газовых облаков на высоту 300—400 м. 12 ноября ночью наблюдалось слабое зарево.

Декабрь. Открыт 10 дней. Со 2 декабря активность Ключевского вулкана усилилась. 8 ночь на 3 декабря появилось интенсивное зарево высотой до 300 м. Вспышки зарева происходили через каждые 15—20 сек. В стереотрубу после особенно ярких вспышек были видны отдельные падающие раскаленные бомбы. Яркое зарево наблюдалось также 6, 12, 13 и 30 декабря. Днем над кратером интенсивно выделялись пар и газ.

14 августа геологами Ю. М. Дубиком, Е. К. Мархининым, К. В. Прохоровым, геофизиком В. Б. Пугач, фотомастером В. Е. Гиппенрейтором, туристами Ю. И. Тринкунасом и В. П. Васильевым было совершенно восхождение на вершину Ключевской сопки. Наблюдение велось с 17 час. 14 августа до 8 час. 15 августа. Было установлено, что в кратере к этому времени в результате извержения выросли два шлаковых конуса высотой несколько десятков метров. Восточная часть кратера была занята свежим лавовым потоком. В северной находилась небольшая бокка с фонтанирующей лавой.

Из кратеров шлаковых конусов с интервалами в 10—20 сек. выбрасывались струи раскаленных кусков шлака и вулканических бомб. Иногда оба шлаковых конуса действовали одновременно. Выбросы сопровождался звуковыми эффектами. Верхняя часть конуса Ключевской сопки испытывала хорошо ощутимые плавные горизонтальные колебания, связанные, по-видимому, со взрывами в жерле вулкана. Наблюдения позволили ориентировочно оценить высоту полета вулканических бомб в 200—300 м, начальную скорость их вылета в 65—80 м, количество участвовавших во взрывах газов — около 1 % от веса взрывающейся магмы, давление газа в магме перед взрывами в 40—50 атм.

Изучение сейсмической активности. В 1961 г. землетрясений с очагом под Ключевским вулканом не отмечено.

Появившееся в середине октября 1960 г. вулканическое дрожание отмечалось в продолжение всего 1961 г. на всех сейсмостанциях Вулканологической станции.

На временной сейсмостанции (Безымянная), установленной летом 1961 г. в 3 км от вулкана Безымянного и в 10 км от вулкана Ключевского, амплитуда смещения почвы при вулканическом дрожании была в 4—6 раз меньше, чем на сейсмостанции Апахончич, расположенной в 16 км от вулкана Безымянного и в 14 км от вулкана Ключевского. Это указывает на то, что источником вулканического дрожания является вулкан Ключевской и сейсмические волны имеют аномально большое затухание при распространении по направлению к сейсмостанции Безымянной.

В октябре 1961 г. в районе сейсмической станции Апахончич П. И. Токаревым проводились работы по изучению непрерывного вулканического дрожания. При этом было установлено, что сейсмические волны при вулканическом дрожании представляют собою поверхностные волны типа Рэллея и типа Лява и что распространяются они со стороны Ключевского вулкана. В преобладающем большинстве фазовая скорость распространения волн Рэллея равна 1060 м/сек, а волн Лява — 890 м/сек. Период колебаний почти не изменяется и находится в пределах 0,6—0,7 сек.

Изучение газового состава и температурного режима фумарол побочных кратеров. Сопоставление данных по температурно-газовому режиму фумарол побочных кратеров Ключевского вулкана за последние годы показывает, что изменения в режиме затухающих фумарол происходят крайне медленно. Состояние фумарол побочных кратеров в 1961 г. практически оставалось аналогичным их состоянию в 1960 г. По замерам Ю. М. Дубика, температуры фумарол побочных кратеров в начале октября 1961 г. имеют следующие значения: Безымянный — 165—215°; Козей — 84—86°; Левинсона-Лессинга — 76—78°; Заварицкого — 68—75°; Билюкай — 65—70°.

Данные по составу газовых проб и конденсатов паров в 1961 г. повторяют данные 1960 г.

Вулкан Безымянный

Изучение извержений. Систематические наблюдения за состоянием вулкана Безымянного велись с вулкано-сейсмической станции Апахончич. В течение всего года в кратере и на куполе отмечалась интенсивная фумарольная деятельность. В конце марта — начале апреля, июне и декабре происходили извержения вулкана.

В марте — апреле 1961 г. извержение было наиболее сильным со времени его извержения в 1956 г. Усиление активности вулкана Безымянного впервые отмечено 5 марта — интенсивное парение фумарол и небольшие газовые выбросы с западной стороны экстрезивного купола.

Первый большой взрыв, характеризующий начало главного пароксизма, произошел 25 марта в 12 час. 50 мин. по местному времени. Этот взрыв был зафиксирован визуально одновременно на Апахончиче, в Ключах и в Козыревске. Выброс газово-пеплового облака серовато-белого цвета имел форму гриба, высотой 6—7 км. Извержение основной массы пирокластического материала произошло в ночь на 26 марта и утром 26 марта. В это же утро в районе вулкано-сейсмической станции Апахончич отмечались непрерывный грохот извержения, интенсивное выпадение пепла, вспышки молний. Особенно усилилось извержение к 11 час. В это время выбросы происходили почти непрерывно. Высота их достигала 8—9 км. Цвет туч был черным. В Ключах и в Козыревске выпал пепел. Со второй половины дня 26 марта извержение пошло на убыль. Однако еще 4—5 апреля отмечались лавины раскаленных камней, скатывавшиеся с купола. Последние выбросы пепла

наблюдались 17 и 18 апреля. В результате извержения согласно произведенным подсчетам было выброшено $1\,750\,000\text{ т}$ пепла, покрывшего площадь в 7000 км^2 . Растворимая часть в нем составила 5833 т . Выброс большого количества пепла в первой половине дня 26 марта сопровождался, по-видимому, извержением агломератового материала, вызвавшим образование грязевых потоков. По приближенным подсчетам, общая длина этих потоков достигала 30 км , а количество агломерата составляло $450\,000\text{ т}$. Тепловая энергия извержения оценена в $2,2 \cdot 10^{22}\text{ эрг}$, кинетическая в $2,48 \cdot 10 - 1,76 \cdot 10^{21}\text{ эрг}$ (среднее значение 10^{21} эрг), количество газов, участвовавших во взрывах, $1,4-6,6\%$ (среднее значение 4%) от веса взрывающейся магмы, давление газа в магме перед взрывом колебалось в пределах $55-1012\text{ атм}$ (среднее значение 533 атм).

Со второй половины апреля до второй половины июня вулкан находился в состоянии обычной интенсивной фумарольной деятельности. Во второй половине июня произошло небольшое извержение вулкана, наблюдавшееся Г. Е. Богоявленской, Ю. М. Дубиком и А. М. Сапожниковой. 18 июня отмечались периодические небольшие выбросы пепла, сопровождавшиеся гулом, доносившимся до вулcano-сейсмической станции Апахончич. 20 июня произошел сильный пепловый выброс. Пепел выпал в районе станции Апахончич. Со стороны вулкана были слышны взрывы и гул. 23 и 24 июня вечером и ночью с вершины купола часто скатывались раскаленные лавины. 28 июня в 11 час. был отмечен небольшой эруптивный выброс и большая раскаленная лавина скатилась к подножию вулкана.

В течение июля, августа, сентября и октября вулкан находился в состоянии обычной сольфатарной деятельности. С 23 ноября началось новое извержение вулкана и наблюдались то слабые, то более интенсивные пепловые выбросы. Активность вулкана сильно возросла в первых числах декабря. Интенсивность пепловых выбросов увеличилась. С купола стали часто скатываться раскаленные лавины. Судя по свечению, температура их была $900-1000^\circ$. Наибольшее количество пепла выпало в ночь с 5-го на 6 декабря. Общая площадь пеплопадов во время декабрьского извержения составила около 2000 км^2 , вес материала около $200\,000\text{ т}$. В ночь с 9-го на 10 декабря Е. К. Мархинин и экспедиционный рабочий Я. Н. Чуркин поднялись к кратеру вулкана и наблюдали в непосредственной близости образование каменных лавин и связанных с ними пеплово-газовых туч. Извержение вулкана, постепенно ослабевая, закончилось к середине декабря. Во второй половине декабря вулкан проявлял интенсивную сольфатарную деятельность.

Изучение сейсмической активности. Извержению, начавшемуся 25 марта, предшествовала длительная сейсмическая подготовка. Первое землетрясение с очагом под вулканом Безымянным в 1961 г. зарегистрировано 9 февраля. Этот день мы принимаем за начало сейсмической активности мартовского извержения. Частота землетрясений постепенно нарастает, а с 19 марта они повторяются каждый день. 25 марта в 12 час. 50 мин. по местному времени было отмечено сравнительно сильное землетрясение. В этот же момент произошел и первый большой взрыв в кратере вулкана, который нами принимается за начало пароксизмального извержения. В период подготовки извержения было отмечено 27 землетрясений, суммарная плотность энергии которых в районе сейсмостанции Ключи равна 121 эрг/см^2 .

За двое с половиной суток пароксизмального извержения было отмечено 73 землетрясения, суммарная плотность энергии которых равна 292 эрг/см^2 , т. е. около 71 % всей энергии, выделившейся при землетрясениях мартовского цикла. Наибольшая активность вулкана наблюдалась с 23 час. 25 марта до 6 час. 26 марта по местному времени, когда было отмечено 28 землетрясений, на долю которых приходится 51 % всей энергии землетрясений данного цикла извержения вулкана.

После пароксизма извержения частота землетрясений быстро снизилась. Так, за два дня 28 и 29 марта произошло только 7 землетрясений. Затем они совершенно прекратились до конца апреля.

В период, предшествовавший извержению, и в момент извержения было зарегистрировано 107 землетрясений с очагом под вулканом Безымянным, суммарная плотность энергии которых на сейсмостанции Ключи составляет 416 эрг/см^2 .

По характеру записи землетрясения вулкана Безымянного делятся на две группы. К первой группе относятся те, которые предвещают и сопровождают извержение. Они связаны, по-видимому, с продвижением магмы в верхней части жерла вулкана. Землетрясения второй группы отмечаются только во время извержения и связаны, вероятно, со взрывами в кратере вулкана.

Во время небольших извержений вулкана Безымянного в июне и декабре 1961 г. землетрясений отмечено не было.

Землетрясения с очагом под вулканом Безымянным резко отличаются от местных тектонических большими периодами объемных волн, малыми фиктивными скоростями распространения волн и наличием интенсивных поверхностных волн. Все это объясняется, по-видимому, тем, что район северной группы вулканов Камчатки имеет сложное геологическое строение.

В 1961 г. одновременно была организована работа пяти сейсмостанции. Кроме постоянных сейсмостанции Ключи, Козыревск, Апахончич, работали две временные сейсмостанции: одна в пос. Средне-Камчатской базы (в 7 км от Средне-Камчатска), а другая — у кратера вулкана Безымянного, в 3 км на восток от центра вулкана. За все время работы сейсмостанции Безымянной не было отмечено ни одного землетрясения с очагом под вулканом Безымянным, хотя увеличение сейсмографов достигало 3000. Это свидетельствует о полном сейсмическом спокойствии вулкана в период между извержениями, когда движения (роста) купола не происходит.

Два типа извержений вулкана Безымянного. Среди извержений этого вулкана, происшедших после 30 марта 1956 г., можно выделить два типа, хорошими примерами которых являются мартовское и декабрьское извержения этого года.

Первый тип характеризуется следующими особенностями: 1) наличием длительной сейсмической подготовки; 2) наличием четкой кульминации; 3) преобладанием роста купола над его разрушением, сравнительно малым количеством раскаленных каменных лавин с купола; 4) образованием пеплово-газовых туч, связанных со взрывами магмы в жерле и агломератовых потоков; 5) относительной кратковременностью извержения.

Для второго типа специфическим является: 1) отсутствие сейсмической подготовки; 2) отсутствие четкой кульминации; 3) наличие огромного количества раскаленных каменных лавин, характеризующих интенсивное разрушение купола и обнажение раскаленного магматического тела купола на большой площади; 4) образование газово-пепловых туч, связанных с раскаленными лавинами, а не взрывами магмы в жерле вулкана; 5) относительная продолжительность извержения.

Генетически разница между этими двумя типами заключается, вероятно, в том, что мартовские извержения связаны с подъемом новых порций магмы из очага, а декабрьские — с разрушением купола и динамикой газа в его раскаленных частях.

Изучение газового и температурного режима фумарол. Сольфатарная деятельность в кратере и на куполе в 1961 г. была не менее интенсивной, чем в прошлые годы. Температуры некоторых фумарол в кратере во время мартовского извержения превышали 500° (замеры Е. К. Мархинина и Ю. М. Дубика 30 марта). 5—12 август

А. М. Сапожниковой в центральной части кратера в 600—700 м от купола были отобраны 4 пробы газа, взяты конденсаты и возгоны. По определению И. Б. Никитиной, в сухом газе наиболее высокотемпературной фумаролы (250°) содержалось: HCl — 0,13; SO_2 — 0,10; O_2 — 17,60, N — 69,30%, CO , H_2 с CH_4 не обнаружены; содержание влаги 0,7 г/л. Конденсат газа кислый, $\text{pH} = 0,8$; содержание Cl до 5300 мг/л, что при пересчете на свободную соляную кислоту соответствует 5500 мг/л HCl ; SO_4 — следы. Газ фумарол с температурой 200—250° содержал HCl 0,12, SO_2 — 0,10; остальное воздух. Влажность газа 11,7 г/л. Газ фумаролы с температурой 120° содержал HCl 0,03; SO_2 — 0,025%. Остальное воздух. Содержание влаги 6,3 г/л.

pH конденсата 3,0. Cl в конденсате 400, SO_2 — 56 мг/л. В возгонах высокотемпературных фумарол преобладали средние и основные соли хлористого железа.

Состояние затухающих фумарол на агломератовом потоке 1956 г. в 1961 г. по сравнению с прошлым годом существенно не изменилось.

Магнитометрические исследования в районе кратера вулкана. В 1961 г. (летом) продолжалась съемка в кратере вулкана Безымянного с помощью магнитометра М-2. Измерения были проведены в 112 точках. Предварительные результаты съемки сводятся к следующему.

1. Положительная часть аномалии ΔZ в кратере осталась без изменения как по величине, так и по положению изолиний на местности по сравнению с 1960 г.

2. В северо-западной части кратера появилась нулевая изолиния.

3. По сравнению с 1960 г. отрицательная аномалия ($Z_a \sim 500 \gamma$) увеличилась на несколько сот гамм.

Мы считаем, что источником аномалии магнитного поля, как и в прошлом году, является разогретая до температуры более 500° полость на глубине 2—3 км под новым куполом вулкана.

Вулкан Плоский Толбачик

Состояние вулкана Плоский Толбачик в 1961 г. было аналогичным его состоянию в 1960 г. судя по наблюдениям с вулcano-сейсмической станции Апохончич, вулкан в течение всего года проявлял обычную фумарольную деятельность, перемежающуюся с отдельными периодическими интенсивными выбросами пара и газа. 31 августа произошел выброс серого пеплово-газового облака. Пеплово-газовый черный столб высотой несколько сот метров отмечался над кратером также 10 и 27 октября и 1—7 декабря.

В течение всего года никаких сейсмических проявлений вулкана не наблюдалось.

Вулкан Швелуч

Состояние вулкана Швелуч в 1961 г. было таким же, что и в 1960 г. Попытка В. Б. Пугача и А. М. Сапожниковой пройти к фумаролам кратерной вершины и купола Суелич, предпринятая 3—9 сентября, не удалась. Состояние фумарол купола Каран по сравнению с прошлым годом не изменилось. Состав пробы газа, отобранной А. М. Сапожниковой и проанализированной И. Б. Никитиной, следующий: CO_2 — 98,40; O_2 — 0,20; N_2 — 1,22%.

В рассматриваемый период никаких сейсмических проявлений вулкана не отмечено.