

ЭКСТРУЗИВНЫЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ НА ВУЛКАНЕ БЕЗЫМЯННОМ В 1965—1974 гг. И ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Введение. Извержение вулкана Безымянного, начавшееся в 1955 г., продолжается до настоящего времени и имеет очень важное значение в познании, а также решении некоторых теоретических и практических вопросов вулканологии. Так, изучение начального периода, особенно пароксизма 1956 г., и его последствий позволило Г.С. Горшкову и Г.Е. Богоявленской впервые получить достаточно полное представление о характере направленных взрывов, их энергии, природе пирокластических образований и впоследствии более объективно подойти к решению вопроса о генезисе подобных отложений на вулкане Катмаи (Аляска), а также выделить особый тип извержения — безымянский, который полностью повторился в 1964 г. на вулкане Шивелуч [4, 5, 7—10, 17].

Последующее изучение извержений и петрологических особенностей продуктов позволило высказать предположение о месте и условиях кристаллизации андезитового расплава, а также механизме поступления его на поверхность [1, 9, 11, 12]. Изучение связей вулканических и сейсмических явлений позволило выработать критерии и предсказать начало некоторых извержений на вулкане Безымянном [6, 18, 20]. Кроме того, характер извержений вулкана показан в работах [2, 3, 13—16].

В данной работе детально описываются динамика извержений, строение и особенности формирования купола Нового в 1965—1974 гг. и показывается геологический эффект за весь период активности вулкана.

Строение и характер деятельности купола Нового во второй половине 1965 года. После довольно сильного извержения, наблюдавшегося в марте—апреле 1965 г. [11], вулкан Безымянный почти год находился в сравнительно спокойном состоянии, что позволило неоднократно посетить склоны и вершину купола "Нового" и изучать его строение.

В июле—августе 1965 г. он имел сравнительно правильную форму с несколько усеченной к западу вершиной. Высота купола в среднем достигала 530 м, диаметр основания — 1250 м, диаметр вершины — 650 м, объем — 0,52 км³. Склоны его на 1/2, а в отдельных местах на 2/3 были покрыты обломочным чехлом значительной мощности (рис. 1). Экструзивная часть купола нарушениями различной ориентации была разбита на несколько жестких блоков, которые располагались на различной высоте по отношению друг к другу. Восточный блок несколько выпячивался в северо-восточном направлении, южный и юго-западный в виде небольших секторов, ограниченных радиальными разломами, примерно на 20—30 м возвышались над восточным, а западная и северо-западная, наиболее подробные части купола, были опущены на амплитуду до 50 м по отношению к остальным блокам. Поверхность экструзивной части купола была представлена брекчированными породами и трещиноватыми обелисками различной величины, из которых одни были выжаты в процессе из-

вержения, другие образовались в результате разрушения уже застывших пород.

На вершине пространство между обелисками и брекчированными блоками было покрыто прослоем вулканического песка и пепла мощностью от 0,5 до 1,5 м и, возможно, больше. В западной ее части отмечался эксплозивный кратер диаметром 100 м и глубиной до 50 м. Плоскость вершины пересекали многочисленные зияющие трещины. Ширина их достигала 0,5—2,0 м, глубина — 1,5—3,5 м и больше. Центральная часть вершины рассеклась рвом, ориентированным в северо-восточном направлении. Ширина его достигала 5—10 м, глубина — 1,5—3,0 м. Из полости рва шло активное выделение газов.

В целом основные нарушения, разбивающие тело купола, на поверхности склонов были представлены трещинными зонами сложного строения. Чаще всего они имели форму клина с расширением в вершинной части купола. В образовании их значительную роль играло внедрение андезитов, особенно в момент наиболее активного состояния вулкана в марте 1965 г. Так, на южном склоне купола трещинная зона северо-западного простирания в виде корытообразного понижения прослеживалась вплоть до вершины купола. Ширина ее в нижней части достигала 30—40 м, в верхней — 100—120 м. Высота бортов, ограничивающих зону, менялась от 5 до 15 м. В стенках их наблюдались прослои монолитных андезитов и обломочного чехла мощностью от 1 до 5 м. В момент наблюдения дно зоны было засыпано обломочным материалом.

Примерно с середины склона купола (Н = 2400 м) центральная часть понижения прорезалась серией небольших лавовых гребней, которые ближе к вершине объединялись в один более мощный, и последний сливался с лавовой "короной", представленной брекчированными породами. По обеим сторонам гребня наблюдались глубокие ложбины, которые в пределах вершины переходили в зияющие трещины. На продолжении этого нарушения располагается и эксплозивный кратер. Такого же типа зона, но менее ярко выраженная, прослеживалась северо-восточнее вышеописанной. В центре нарушения на всем его простирании прослеживался слабо выраженный лавовый гребень, который в верхней части сливался с лавовой "короной", а в нижней заканчивался свежевыжатым лавовым куполом, высотой до 30 м и диаметром основания — 70 м. В средней части склонов и на вершине купола породы были раскалены до красноватого свечения. Из полостей трещин наблюдалось активное выделение газов. Зона субширотного простирания, пересекающая северо-восточную и северную части, была представлена грабенообразным понижением шириной до 3 м в нижних и до 50 м в средних частях склонов. Ориентируясь в субширотном направлении, оно как бы ограничивало активную часть купола с северо-востока. Нарушение имело ступенчатое строение и глубина его менялась от 3 до 10—15 м. На высоте примерно 2600 м над уровнем моря на пересечении вышеописанной зоны с нарушением субмеридионального простирания наблюдалась серия свежевыжатых обелисков высотой до 50 м. Одни из них в своей верхней части были разрушены до брекчированных пород, другие имели иглообразную форму с довольно широким основанием (рис. 2).



Рис. 1. Купол Новый вулкана Безымянного в июле 1965 г. Фото И.Т. Кирсанова

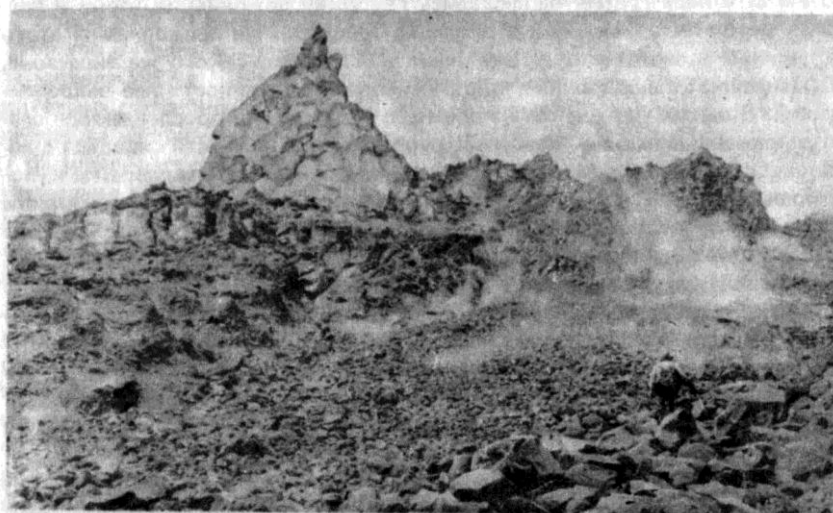


Рис. 2. Северо-восточное нарушение со свежавыжатым обелиском и лавовым потоком. Фото И.Т. Кирсанова

Общим для обелисков являлся их наклон в северо-западном направлении под углом $45-60^\circ$. У подножия самого крупного, нижнего обелиска отмечался лавовый поток мощностью от 3 до 5 м, который сплошным покровом прослеживался по склону, примерно до высоты 2000 м над уровнем моря. Кроме того, на участке развития обелисков, а также в центральной части нарушения ниже по склону наблюдались дайкообразные тела протяженностью от 6 до 12 м и мощностью от 1,5 до 4 м. Приурочивались они обычно к сочленению ступеней грабенообразного понижения. Наиболее мощная дайка (до 4 м) занимала центральную часть нарушения и в момент наблюдения в значительной степени была засыпана обломочным материалом. Многие дайки, по-видимому, имели небольшие лавовые потоки, которые в целом не выходили за пределы нарушения и к моменту наблюдения были разрушены.

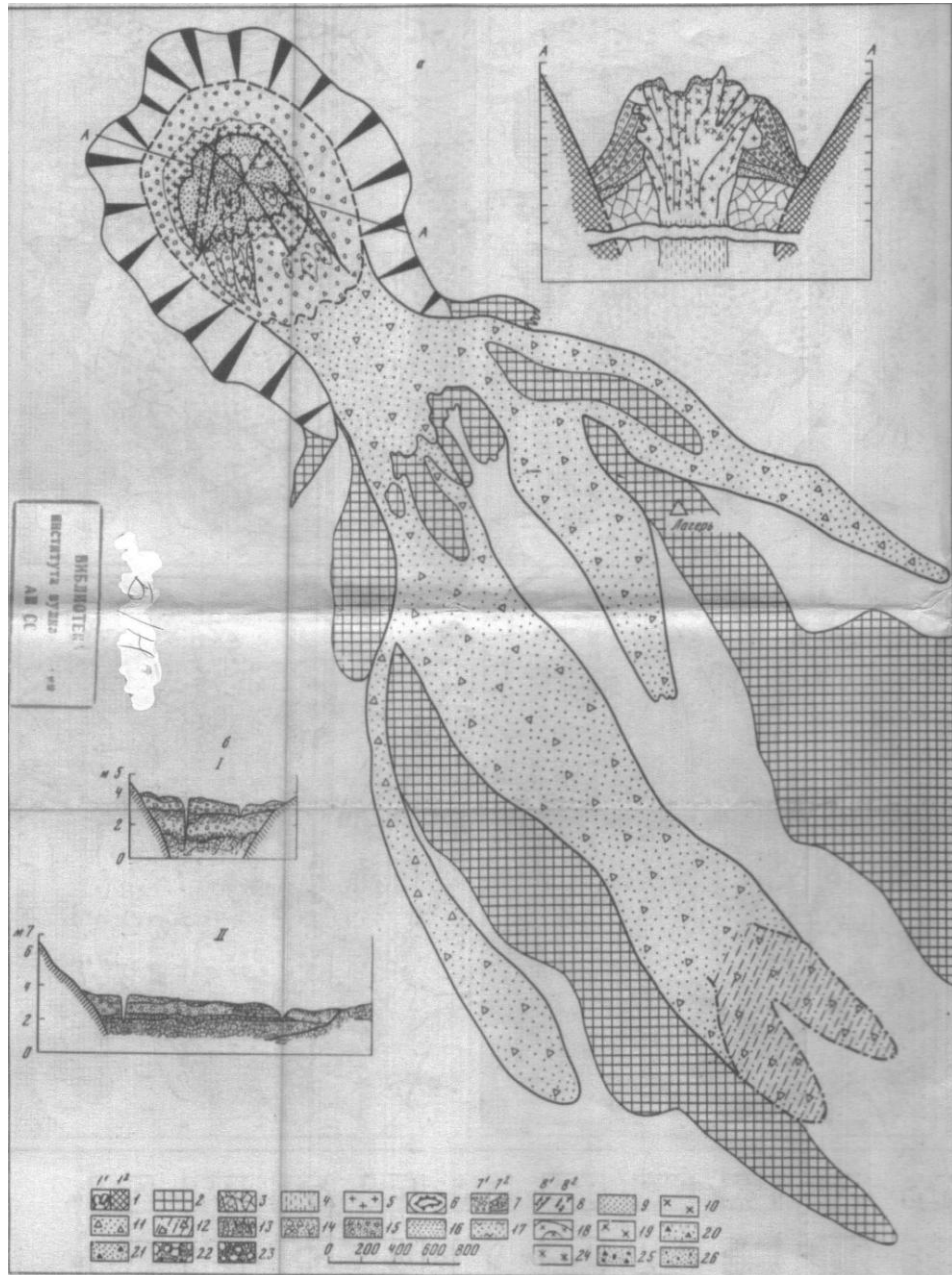
Схема строения купола Нового показана на рис. 3. В дальнейшем она будет служить основой для изучения изменений купола в результате извержений и подсчета геологического эффекта (рис. 3, 6, 8 см. вкл.).

В момент изучения купола в 1965 г. деятельность его выражалась в неравномерной эмиссии газов, выходы которых приурочивались к вершинной, привершинной частям и трещинным зонам, пересекающим склоны купола. Кроме того, в этот же период на куполе Новом изредка (1-4 толчка за 6-10 часов пребывания на куполе) отмечались землетрясения небольшой силы и слабое дрожание. На склонах его наблюдались довольно частые обвалы с каменными лавинами различной мощности, опускающиеся иногда до самого подножия. Последние факты свидетельствовали о продолжении экструзивного процесса и его последствий (проседание жестких блоков, разрушение купола, в том числе и за счет остывания внедрившихся андезитов).

С середины августа значительно усилилась сейсмическая активность купола: появились плотные рои землетрясений. Последние, по-видимому, указывали на подготовку нового извержения. В сентябре-октябре значительно усилилась эмиссия газов в вершинной части купола. Изредка наблюдались эксплозии с выбросом пепла на небольшую высоту.

Экструзивное извержение купола Нового в 1966-1968 гг. С начала 1966 года извержение купола Нового на вулкане Безымянном заметно активизировалось. При облете вулкана в марте в западной, наиболее разрушенной части купола, на месте эксплозивного кратера было отмечено выжимание новой порции лавы. Выжимающийся блок андезитов в своей нижней части был монолитным, имел сглаженную поверхность, в верхней — расщелился вертикальными трещинами и в виде веера слегка наклонялся к северо-западу. Ю.М. Дубик, посетивший вулкан в апреле этого же года, внедрение этой порции лавы отнес к экструзии жесткого блока на куполе Новом и дал название ему Чинь-Чинь.

В последующее время экструзией была захвачена почти вся западная и южная часть вершины. Выжимающийся блок пород сплошным монолитом возвышался над остальной частью купола. В июле-августе 1966 г. вершина блока была разрушена и завалена крупными глыбами пород. В восточной и юго-западной частях его обломочный чехол прорезался мощными обелисками высотой в 75 и 120 м. Общая площадь верхней



К ст. И.Т. Кирсанова

Рис. 3. Схема строения экзтрузии купола Нового (а), распространение и принципиальная схема строения пирокластических потоков на вулкане Безымянном в 1965 г. (б)

1 — стенки кратера, образовавшегося после пароксизма 1956 г. 1¹ — на плане, 1² — в разрезе; 2 — древние породы хребтов, ограничивающих распространение пирокластических потоков в окрестностях вулкана; 3 — прижерповые брекчии андезитов в верхней части канала и на дне кратера; 4 — лавы андезитов в канале вулкана; 5 — лавы андезитов, выжатые до 1965 г.; 6 — границы вершины купола; 7 — обломочный чехол, покрывающий склоны купола; 7¹ — на плане, 7² — в разрезе; 8 — вулканотектонические зоны (8¹) и разломы; 8² — установленные, 8³ — предполагаемые; 9 — обломочный материал, покрывающий вершину купола в 1965 г.; 10 — лавы андезитов выжатые в 1965 г.; 11 — обломочный материал пирокластических потоков, образовавшихся в 1965 г.; 12 — обломочный материал грязевых потоков, образовавшихся в 1965 г.; 13 — прослой крупных обломков (5–30 см в диаметре), слагающие нижние части отдельных порций пирокластических потоков; 14–15 — крупные и средних размеров (5–1 см в диаметре) обломки в песчано-пепловом материале, слагающем основную часть пирокластических потоков; 16 — прослой песчаного материала; 17 — прослой перемытого песчано-глинистого материала, залегающего в верхней части потоков; 18 — пластичные лавы андезитов, выжатые в 1967–68 гг.; 19 — “жесткие лавы” андезитов, выжатые в 1969 г.; 20–21 — обломочный материал первой и второй порций пирокластических потоков, образовавшихся в 1969 г. 22 — крупные, слегка окатанные обломки с более мелким заполнителем, слагающие нижние части пирокластических потоков 1969 г.; 23 — средние окатанные обломки в песчано-пепловом материале, составляющем основную часть пирокластических потоков 1969 г.; 24 — лавы андезитов, выжатые в 1973 г.; 25–26 — обломочный материал первой и второй порций пирокластических потоков, образовавшихся в 1973 г.

I — разрез пирокластического потока в устьевой части; II — разрез пирокластического потока в средней части; III — разрез пирокластического потока во фронтальной части

части блока составляла примерно $0,1 \text{ км}^2$. В момент наблюдения глыбы и обелиски были нагреты до $500\text{--}600^\circ\text{C}$, но уже находились в твердом состоянии. Отдельные глыбы имели сглаженную поверхность с характерными штрихами, что указывало на пластичное состояние лавы в момент внедрения.

В 1967 г. экструзия лав андезитов сместилась в центральную и северную части купола Нового и приобрела явно пластичный характер (рис. 4). Экструзивный блок Чинь-Чинь, по-видимому, в значительной степени был вовлечен в это мощное внедрение пластичной лавы. Западная и юго-западная его части были разрушены и частично просели по вновь образовавшемуся дугообразному разлому субширотного простирания. На поверхности вершины нарушение было представлено широким рвом, который в виде подковы огибал с юга и юго-востока вновь формирующийся купол. Наиболее отчетливо нарушение прослеживалось на западном склоне купола Нового, где оно было представлено серией вертикальных зияющих трещин, пересекающих тело экструзии до ее основания и, по-видимому, глубже. Вновь внедряющаяся экструзия Наутилус выжималась под углом $30\text{--}45^\circ$ на северо-восток, была несколько вытянута в этом же направлении и имела асимметричное строение.

Северные и западные склоны ее были крутыми, осыпными и служили постоянным источником каменных лавин, спускающихся в атрио основного кратера. Южные склоны и сама вершина были сравнительно пологими. Представлены монолитными породами со сглаженной поверхностью, разбитой сложной сетью поперечных и продольных трещин остывания. В нижней части висячего бока экструзии поперечные трещины были сравнительно ровными и прослеживались через всю его поверхность. Выше, в результате давления снизу в момент выжимания лавы на поверхность они приобретали скорлуповатый, а иногда и чешуйчатый характер. В целом же серия параллельных трещин, фиксирующихся на поверхности купола, отражала последовательное внедрение отдельных порций пластичной лавы. В момент наблюдения (август—сентябрь 1967 г.) всего насчитывалось около 15 таких порций, с мощностью от 0,5 до 8,0 м. Размеры основания купола Наутилус в этот же период достигали $450 \times 600 \text{ м}$ и высота — $75\text{--}80 \text{ м}$. Если принять сечение канала в 400 м, то объем каждой порции составлял примерно от 100 тысяч до 1,5 млн м^3 . Общий же объем выжатого купола в описываемый период достигал $\sim 0,05 \text{ км}^3$.

В конце 1967 и начале 1968 г. извержение вулкана Бзымянного еще более активизировалось, что выразилось в значительном увеличении сейсмической активности и появлении новых центров вулканической деятельности уже на вершине купола Наутилус. При облете вулкана в марте 1968 г. было отмечено, что наряду с общей экструзией купола, в северной и северо-восточной частях его появились два новых центра. Восточный был представлен пологим вздутием небольшого купола, западный — взрывной воронкой диаметром до 50 м с хорошо различимой лавовой пробкой в центре и взрывными отложениями на ее кромках и склонах (рис. 5). Здесь же на склонах купола Нового наблюдались свежие осыпи и следы каменных лавин, которые спускались в атрио кратера. Интересно отметить, что на том же снимке в северо-западном атрио кратера обнару-

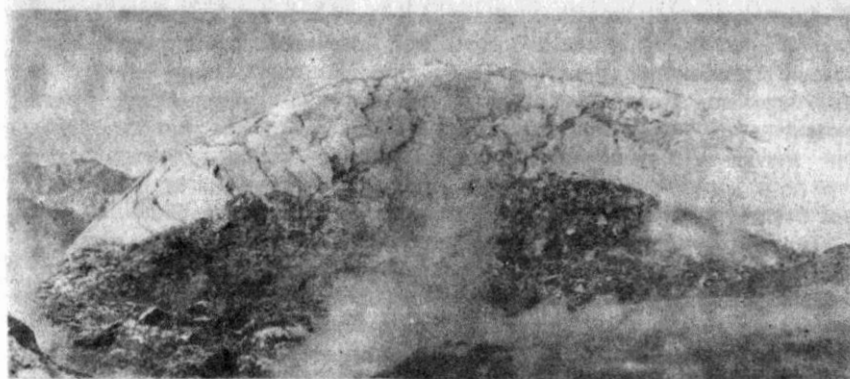


Рис. 4. Купол Наутилус в июле 1967 г. Фото В. Козева

жен небольшой шлаковый конус, который расположен на продолжении основного нарушения, пересекающего внутрикратерную экструзию на две половины.

К июлю—августу 1968 г. внедрение пластичной лавы андезитов, по-видимому, сосредоточилось в центральной части вершины купола Нового, в результате чего нарушения, пересекающие вершину его, приняли форму радиальных разломов. Западные и юго-западные секторы их значительно расширились. Кроме проседания, наметилось сползание остатков экструзивного блока Чинь-Чинь и юго-восточной части купола Нового. В момент наблюдения амплитуда смещения их достигала примерно $70\text{--}80 \text{ м}$. В южной и юго-западной частях купола Нового открылись новые радиальные

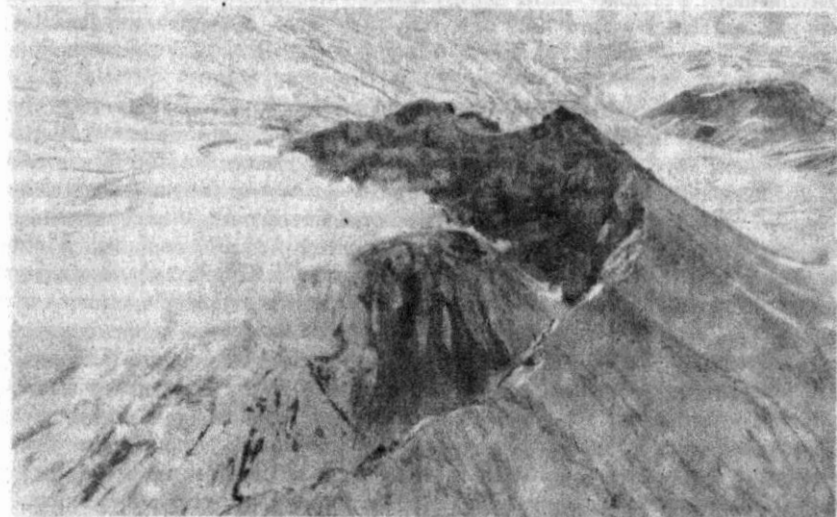


Рис. 5. Купол Наутилус с взрывной воронкой и лавовым вздутием на вершине. Март 1968 г. Фото И.Т. Кирсанова

трещины, по которым также стало наблюдаться опускание новых жестких блоков. Восточный сектор субширотного простираения стал превращаться в грабенообразное понижение. Проседанию на амплитуду от 8 до 25 м здесь подверглись крупные блоки измененных пород и свежие андезиты лавовой "короны" в привершинной части. В целом купол Наутилус значительно увеличился в размерах и занял всю северо-западную, северную и центральную части вершины основной внутрикратерной экстрезии. Высота его достигала 120—150 м, диаметр основания — 600 м.

Вершина купола была неровной и предстала лавами, обелисками и развалами глыб различного размера. Северные, северо-восточные и северо-западные склоны были крутыми, южные (висячий бок купола) — сравнительно пологими (45—50°), с гладкой поверхностью, разбитой продольными и поперечными трещинами, количество которых увеличилось по направлению к вершине. В нижней части купола на сглаженной поверхности наблюдались свежие светлые полосы шириной от 10 до 50 см, прослеживающиеся параллельно рельефу вершины купола Нового. Выше такие же полосы шириной от 5 до 150 см были загрязнены вулканической пылью и просматривались только с близкого расстояния. По границам этих полос наблюдалось заложение поперечных трещин, которые с ростом купола постепенно деформировались, приобретали скорлуповатую и чешуйчатую отдельность. В сочетании с продольными они впоследствии разрушали верхнюю и боковые части экстрезии на отдельные глыбы. Наличие полос различной ширины наглядно показывает неравномерность роста купола и, по-видимому, тесную связь экстрезии пластичной лавы с вулканическим дрожанием. Непосредственно наблюдать динамику этих явлений с определением количественных характеристик и четкой увязкой не удалось в связи с труднодоступностью купола. Судя по характеру сейсмической деятельности, в стадии чисто экстрезивного извержения вулкан продолжал находиться до марта 1969 г. Купол Наутилус значительно увеличил свои размеры и занял большую половину вершины внутрикратерной экстрезии.

Эксплозивно-экстрезивное извержение купола Нового в 1969—1974 гг. С марта 1969 г. сейсмический режим извержения заметно изменился. На ст. "Апахончич" стало регистрироваться большое количество землетрясений. Вулканическое дрожание приобрело четкий непрерывно-спазматический характер. Довольно часто стали отмечаться слабые exploзивные взрывы, которые приурочивались к юго-восточной части вершины купола Нового. При облете вулкана в конце апреля было обнаружено, что активный центр извержения переместился в жесткую южную и юго-восточную части купола Нового и характер его принял несколько иную форму. На сравнительно ровной площадке вершины, в прошлом служившей пунктом наблюдения за ростом экстрезии, а также в верхней части юго-восточного желоба стали открываться многочисленные зияющие трещины, появились довольно широкие провалы, к которым приурочивались активные фумаролы. Наиболее интенсивное выделение газов отмечалось в местах проседания измененных пород. Фумарольная деятельность этого периода перемежалась с редкими газовыми взрывами с выбросом очень небольшого количества пепла, распространение которого не вы-

ходило за пределы купола. Взрывы и, по-видимому, землетрясения (до 15 в месяц) вызывали обильные камнепады. Происходило разрушение северо-восточной, уже застывшей части купола Наутилус, а также юго-восточной на куполе Новом. Обломочный материал скапливался на склонах и в атрио кратера, причем из юго-восточного отдельные лавины стали выходить за его пределы.

В июне этого же года купол Наутилус полностью прекратил свой рост. Плоская вершина его превратилась в нагромождение крупных глыб и обелисков и на больших участках покрылась снегом.

Вновь выжимающийся жесткий блок андезитов был приурочен к южной, наиболее раздробленной части купола "Нового" и имел локальный характер. С северо-востока он ограничивался широким, до 50—60 м, нарушением ступенчатого строения. Глубина его в отдельных участках достигала 40 м. Заложение его произошло в зоне измененных пород с температурой 470—500°С. С севера и северо-запада экстрезивный блок ограничивался зияющей трещиной шириной в 20—15 м и глубиной до 50 м. Кроме активного выделения газов, в полости трещины периодически происходили слабые взрывы, которые вызывали довольно сильные обвалы с образованием каменных лавин, спускающихся по юго-восточному желобу.

Экстрезивный блок представлял собой хаотическое нагромождение крупных глыб, нагретых до 500—600°С. В самой верхней части его наблюдались два иглообразных обелиска высотой в 7—10 м. Общая высота его в момент наблюдения достигала 30—40 м, диаметр основания — 70 м. Над вершиной блока отмечалось плотное марево. Сейсмическая активность в этот период проявлялась довольно слабо. Всего было зарегистрировано в мае — 4, в июне — 9 землетрясений и несколько коротких периодов вулканического дрожания спазматического характера. По-видимому, извержение этого времени имело небольшую силу, а частые камнепады вызывались взрывами газов.

В июле—августе, затем в сентябре и особенно октябре извержение вулкана заметно активизировалось и приобрело смешанный exploзивно-эффузивный характер. В юго-восточной части купола "Нового" стали отмечаться взрывы, вначале до 5—8, затем до 15 в сутки. С 8 октября интервал между ними сократился до 1,5 — 3 часов, причем интенсивность их обычно возрастала во второй половине дня. Взрывы сопровождался выбросом небольшого количества пепла, который вместе с газами поднимался на высоту от 300 до 800 м и в зависимости от ветра изредка выпадал за пределами вулкана. Основная часть обломочного материала спускалась по юго-восточному склону в виде пепло-каменных лавин. Скатывание лавин фиксировалось по густой клубящейся пыли светло-бурой окраски. Высота ее над поверхностью в целом не превышала 50—100 м. В отдельных случаях, вероятно, в местах препятствий на пути лавин, наблюдались мощные завихрения пыли, по форме напоминающие эруптивные тучи при вторичных взрывах.

11 октября при облете вулкана отмечено, что вновь формирующаяся экстрезия андезитов заняла почти всю южную и юго-восточную части вершины купола Нового и состояла из двух блоков, разделенных глубоким ровом, который на склоне переходил в юго-восточный желоб. Южный блок

был представлен жесткими монолитами, юго-восточный с поверхности был полностью закрыт хаотическим нагромождением крупных глыб. Высота экструзии в целом уже достигала купола Наутилус. В юго-восточной части купола Нового исчезла лавовая корона, обрамлявшая вершину, и лавовый гребень, разделявший желоб. Последний еще больше расширился и углубился. Вновь выжимающаяся экструзия значительно изменила морфологию вершины купола Нового. В верхней части южного блока хорошо просматривались несколько иглообразных обелисков высотой до 70 м. В подножии обелисков, примерно в центральной части нарушения, разделявшего блоки, в интервале 10–15 мин до 1 час, происходили глухие взрывы с выбросом пепла и каменных лавин, которые спускались с сильным грохотом и прослеживались по клубящейся пепловой взвеси над их поверхностью. Свечение раскаленного материала ни на растущей экструзии, ни в лавинах не наблюдалось.

Обломочный материал каменных лавин, образующихся в результате разрушения купола Нового и экструзии Октябрь, сначала отлагался в виде нескольких продольных и дугообразных валов, затем при более сильных взрывах валы соединялись в общую лавину и попадали в глубокий желоб у подножия купола, образуя единое русло с четко выраженными бортами высотой от 1,0 до 1,5–2,0 м. Борты были сложены отсортированным крупноглыбовым материалом с диаметром обломков до 3 м. В верхней части желоба русло имело ширину 7–8 м, в средней до перегиба в рельефе (район останцов старого вулкана) оно расширялось до 50–70 м.

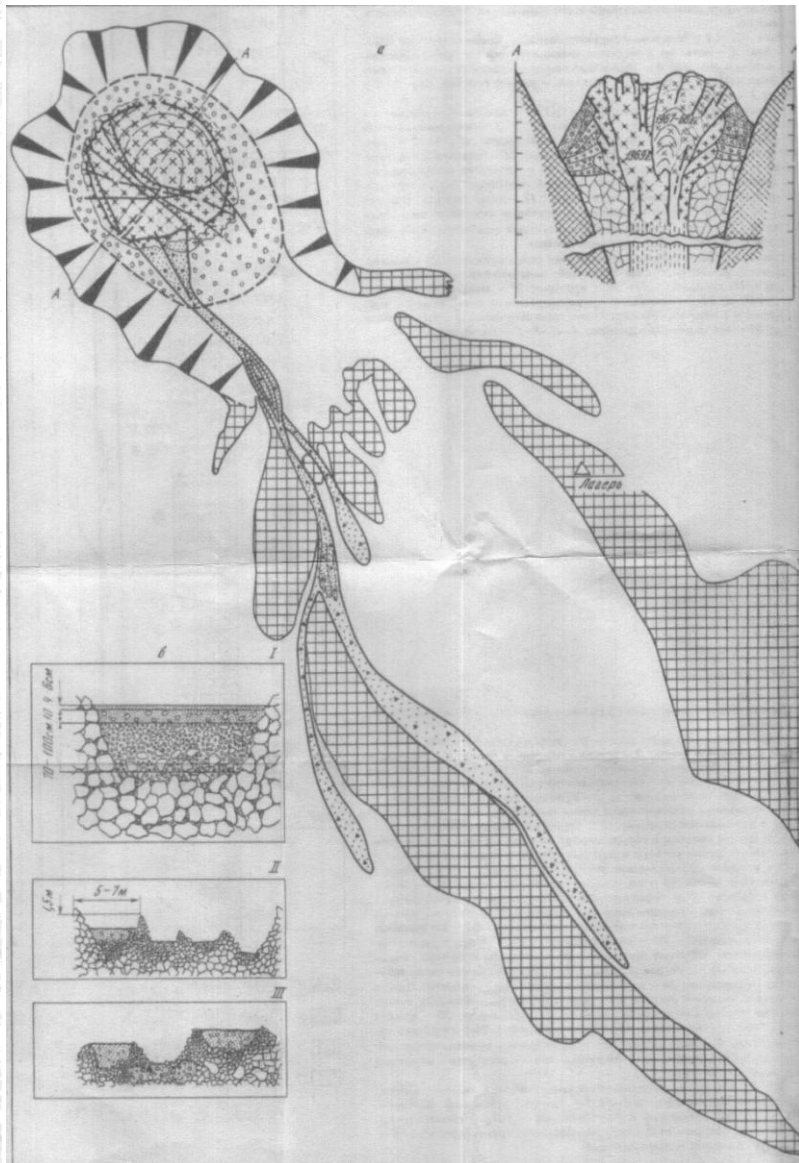
Поток здесь выходил за пределы желоба и на его поверхности отмечалось до 4–5 бортовых валов меньшей высоты, сложенных уже слабосортированными обломками с диаметром от 0,7 до 1,5 м. Валы ограничивали русла второго порядка, причем более старые выглядели в виде стариц, новое, по которому в момент наблюдения шли лавины, имело ширину 5–7 м и прослеживалось до подножия купола Октябрь. У перегиба в рельефе все они сливались в единый поток, который ниже, на сравнительно выровненной поверхности, вновь разделялся на несколько языков, перекрывающих друг друга. Поверхность потока здесь имела более мягкие формы. Мелкие неровности были засыпаны пеплом. В целом же он представлял собой сложное переплетение различных порций более мелкого обломочного материала. Строение потока в различных его частях наглядно показано в разрезах на рис. 6. В момент наблюдения наибольший интерес представляли его русла. Они были сложены в основном вулканическим песком и пеплом, в которых более крупные обломки (до 0,7 метров в поперечнике) находились как бы во взвешенном состоянии.

При малейшем нарушении сплошности потока (провал ноги, падение обломка) материал начинал "течь", причем на ровном месте в виде узкого языка он проходил расстояние в 1,5–2 м, при уклоне поверхности в 2–3° – 3–4 м. При этом вместе с мелкой массой пыли и крупные обломки. В результате этого в руслах отчетливо видны микроволны. Кроме того, поверхность потока осложнена многочисленными (10–15 штук на 1 м²) воронками, образовавшимися, по-видимому, за счет выделившихся газов. Диаметр каждой воронки колебался в пределах от 1 до 5 см.

К ст. И.Т. Кирсанова

Рис. 6. Схема строения экструзии купола Нового, распространение и принципиальная схема строения пирокластических потоков на вулкане Безымянном в 1969 г. Н по выжиманию блока Октябрь

Условные обозначения см. на рис. 3.



Образование таких воронок за счет газов в какой-то степени доказывалось наличием возгонов темно-зеленого и зеленого цвета на поверхности камней, присыпанных пеплом. Последний в одних случаях был весь пропитан возгонами и имел влажное состояние, в других только с поверхности. Таким образом, при наличии значительного количества газов в первые моменты формирования потока обломочную массу его можно отнести к твердой эмульсии, имеющей большую подвижность.

В момент наблюдения в нижней и средней частях по простиранию поток обломочного материала был прогрет на поверхности до 20–25°, на глубине 15–20 см — до 65–70°С. Мощность потока в верхней и средней частях (глубина желоба неизвестна) равнялась примерно 5–6 м. В нижней она менялась от 1,5 до 3,0 м. Общая площадь его составляла 0,085 км², объем — 0,0004 км³.

Наиболее активно извержение проявлялось в ночь с 24 на 25 октября. Примерно в 19 часов вечера до сейсмостанции, расположенной в 10 км от вулкана, донесся сильный грохот взрыва. Над юго-восточной частью вершины купола Нового появилась плотная эруптивная туча, которая поднялась на высоту до 0,8–1,0 км и стала смещаться к востоку, северо-востоку. Склоны купола быстро заволокло пепловой пылью, основная масса которой двигалась в том же направлении. Гул взрывов различной силы слышался почти всю ночь. Утром в районе лагеря было обнаружено большое количество пепла и чувствовался запах сернистых газов. Кроме этого участка, выпадение пепла было отмечено на с/ст "Апахончич", северо-восточном склоне Ключевского вулкана и западных отрогах хребта Кумроч. Общая площадь распространения его составляла примерно 2500 км², объем — 0,01 км³.

При облете вулкана 26–28 октября было отмечено, что в результате ночного пароксизма оказалась вырванной значительная часть вершины и юго-восточного склона купола Нового. Сильно обнажилось подножие экстрезии Октябрь (рис. 6). Обломочный материал узким потоком с небольшими ответвлениями выше перегиба и перехлестом в сторону сопки Зиминной прошел расстояние в 5,5 км (рис. 7). Юго-восточный желоб и подножие купола Нового были совершенно свободны от пирокластического материала. По-видимому, в момент наибольшей активности лавины шли огромной массой, и весь материал, отложенный раньше в этих местах, был снесен в более низкие части склона вулкана.

Эксплозии различного характера, но в целом меньшей силы, по сравнению с октябрьским извержением, наблюдались до конца года. Некоторые из них сопровождалась скатыванием обломочного материала на юго-восточные склоны вулкана, что хорошо было видно с с/ст "Апахончич".

В 1970 г. экстрезия жесткого блока продолжалась. До марта режим извержения имел сравнительно спокойный характер. Сейсмическая станция "Апахончич" периодически регистрировала слабые землетрясения и непрерывно-спазматическое дрожание. В начале марта над вулканом вновь стали отмечаться взрывы газов с пеплом и каменными лавинами на юго-восточном склоне. Высота подъема газов над вершиной менялась от 200 до 700 и изредка до 1000 м. Значительно увеличилось коли-



Рис. 7. Купол Новый вулкана Безымянного после небольшого пароксизма в октябре 1969 г.

В левой части видны обелиски экстрезии Октябрь. Фото А.М. Рожкова

чество и частота землетрясений, и почти совершенно исчезло вулканическое дрожание. В таком режиме вулкан находился до конца месяца. В начале апреля над вулканом наблюдались только газовые струи различной мощности, на с/ст "Апахончич" регистрировалось интенсивное вулканическое дрожание, которое свидетельствовало о продолжении экстрезивного процесса.

Примерно с 10 апреля и до второй половины мая на вулкане вновь наступило затишье. При облете его вершины в конце апреля было отмечено, что экстрезия Октябрь уже заняла всю южную и частично восточную части купола Нового. Восточная ее часть выжималась монолитным блоком, западная представляла собой хаотическое нагромождение крупных глыб и обелисков. Высота блока в целом значительно превышала купол Наутилус и даже борта основного кратера вулкана. На сочленении его с предыдущими порциями андезитов отмечались широкие провалы, из полостей которых наблюдалось интенсивное выделение газов.

Новое кратковременное усиление активности вулкана было отмечено во второй половине мая, а более продолжительная активизация стала проявляться с сентября. Как и в предыдущие периоды, она выражалась взрывами небольшой силы с выбросом пепла и скатыванием раскаленных лавин на склоны купола. К концу года выжимающийся жесткий блок Октябрь приобрел скорлуповатое строение с монолитными иглообразными обелисками в центральной части. Высота блока достигала 150 м, диаметр основания — 300 м.

В 1971–72 гг. экстрезия жесткого блока продолжалась, при этом, как и в прежние годы, наибольшая активность проявлялась в марте–апреле.

В 1971 г. блок Октябрь занял всю восточную, а в 1972 г. — юго-восточную части вершины купола Нового. Вновь выжимающийся блок был представлен светло-серыми, сильно трещиноватыми андезитами и возвышался над остальной частью вершины примерно на 200–250 м. Выдавливание жестких блоков постоянно сопровождалось землетрясениями и скатыванием каменных лавин в восточное подножие купола.

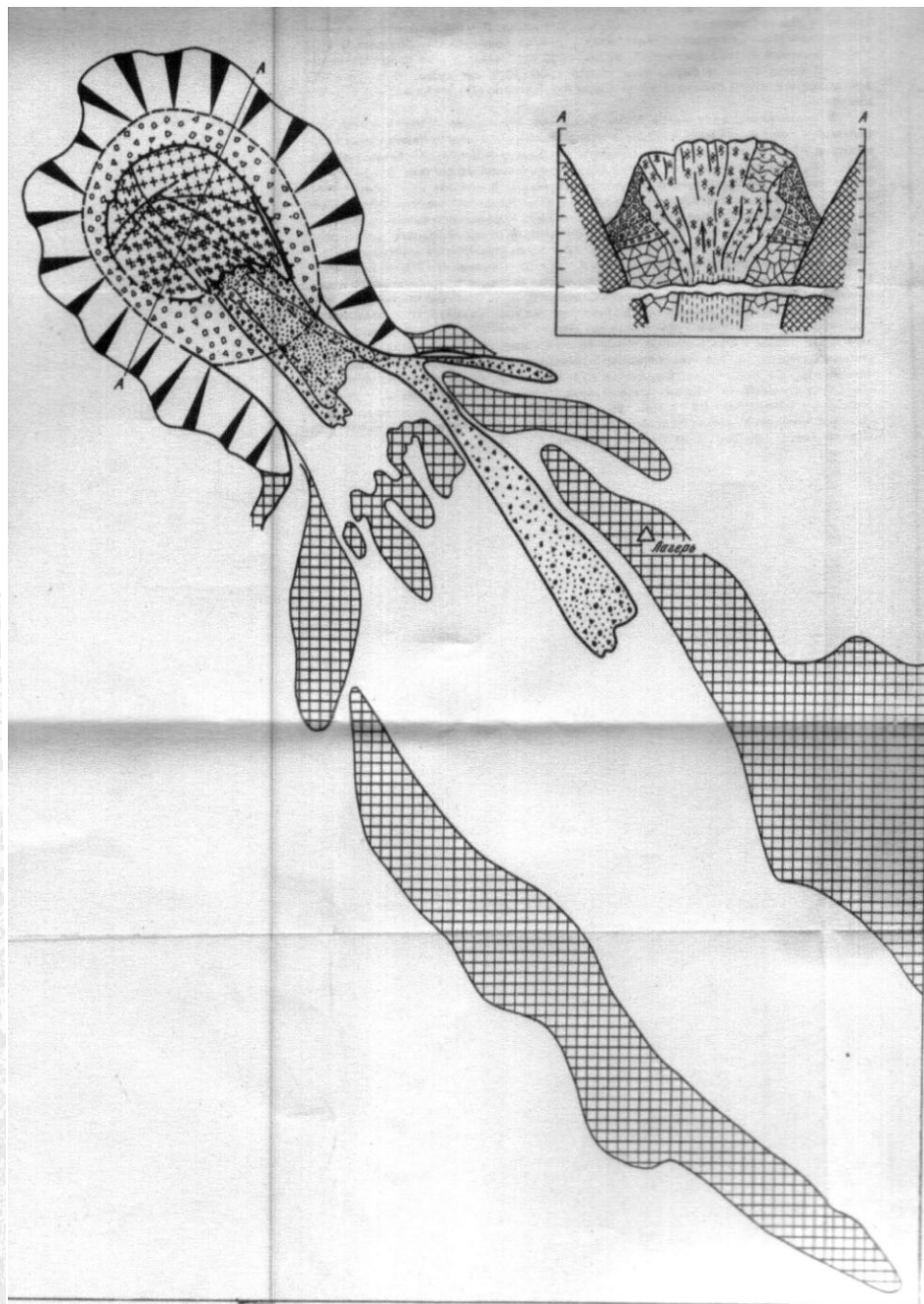
В 1973 г. извержение вулкана значительно активизировалось. В мае купол "Новый" был разбит на 4 жестких блока, при этом западный относился к стабильной части экструзии и был засыпан крупноглыбовым материалом, юго-восточный, центральный и северо-восточный — к активно выжимающимся (рис. 8). Блоки разделялись широкими зонами дробления субмеридиональной и субширотной ориентировок. Наиболее четко эти зоны были выражены в западной и центральной частях купола. К первой из них приурочивалась активная фумарольная деятельность, вторая служила желобом для спуска каменного материала на восточные склоны и подножие купола. Кроме каменных лавин, выжимание жестких блоков андезитов сопровождалось небольшими эксплозиями с образованием пирокластических потоков. Один из них, прижимаясь к северной стенке старого кратера, спустился на расстояние 3,5–4 км. Второй был менее мощным. Покрыв центральную часть восточного склона, он не вышел за пределы кратера (см. рис. 8). При посещении вулкана в июле Г.Е. Богоявленской было отмечено, что строение купола "Нового" осталось прежним. Субмеридиональная зона дробления, ранее четко выраженная в западной части вершины, была почти полностью засыпана глыбами. Наиболее активно выжимался центральный блок. В верхней его части отмечалось постоянное свечение пород и оттуда же шли обильные камнепады и периодически спускались небольшие каменные лавины.

В 1974 г. выжимание центрального блока продолжалось. Высота его над западной частью вершины купола "Нового" достигала 300 м. Общая высота значительно превышала 3100 м над уровнем моря. Юго-восточная часть купола была полностью уничтожена и превращена в осыпь, северо-восточная — осталась в виде небольшой скорлупы. Экструзия жестких блоков продолжалась до 1976 года.

В 1976 г. в центральной части вершины купола "Нового" вновь стала выжиматься пластичная андезитовая лава.

Геологический эффект извержений вулкана Безымянного с 1955 по 1975 г. После 20-летнего периода деятельности в извержениях вулкана Безымянного выделяются три основных этапа и некоторая цикличность в формировании купола Нового.

Первый этап — начало извержения (октябрь 1955 — март 1956 г.). В конце октября сильными взрывами вулканского типа был разрушен западный участок вершины вулкана и образован кратер диаметром до 350 м. В ноябре была разрушена почти вся верхняя часть постройки вулкана. На вершине его образовался кратер, вытянутый в широтном направлении, с диаметром до 1000 м и небольшой глубины. В январе 1956 г. в западной и юго-восточной частях дна кратера активно действовали две газовые бокки, в центральной и восточной — выжималась жесткая экструзия. Кроме того, в восточном борту кратера примерно



К ст. И.Т. Кирсанова

Рис. 8. Схема строения экструзии купола Нового и redistribution лавинных потоков на вулкане Безымянном в 1973 г. Условные обозначения см. на рис. 3.

на 100 м вверх был приподнят и отодвинут к востоку оставшийся блок старого купола. Все это указывало на активную подготовку вулкана к пароксизму. В целом за 5 месяцев извержения, кроме образования кратеров, перемещения отдельных блоков постройки, взрывами было выброшено и рассеяно на значительной площади около $0,5 \text{ км}^3$ вулканического песка и пепла.

Второй этап — пароксизм извержения (30 марта 1956 г.). Мощными взрывами была разрушена значительная часть постройки вулкана, и на его вершине образовался крупный кратер, вытянутый и открытый в восточном направлении. Размеры кратера в верхней части достигали $2,8 \times 1,7 \text{ км}$, в нижней — $1,3 \times 1,1 \text{ км}$, а глубина с запада на восток менялась от 800 до 300 м. Общая высота вулкана уменьшилась с 3085 до 2900 м над уровнем моря. В момент образования кратера направленным взрывом было выброшено около $0,8 \text{ км}^3$ резургентного и $0,2 \text{ км}^3$ ювенильного материала, который покрыл площадь в 500 км^2 . Эруптивная туча, нагруженная пеплом, объемом в $0,4 \text{ км}^3$, поднявшись на 40 км, рассеяла его на очень большой площади. На заключительном этапе пароксизма восточные склоны вулкана были покрыты многочисленными потоками пирокластического материала, объем которого достиг $1,0 \text{ км}^3$. Кроме того, грязевым потоком, прошедшим со склонов вулкана до русла р. Камчатки, вынесено до $0,5 \text{ км}^3$ обломочного материала в виде грязи. Общий объем выброшенного материала в период пароксизма составил около 3 км^3 .

Третий этап — формирование внутрикратерной экструзии купола "Нового" (с марта 1956 г. и до настоящего времени). За этот период в формировании купола "Нового" также наметилась некоторая цикличность с характерными особенностями в каждом цикле.

Первый цикл экструзии купола Нового наблюдался с 1956 по 1965 г. В начальные моменты он характеризовался спокойным выдавливанием жестких блоков андезита, причем вначале в восточном, северо-восточном, затем — южном и западном, северо-западном секторах дна кратера. К 1959—1960 гг. экструзия андезитов заняла почти все дно кратера, приобрела монолитное строение и куполообразную форму. Высота купола к этому времени достигла 470 м, диаметр основания — 900 м и диаметр вершины — 600 м. Выдавливание жестких блоков андезита стало отмечаться по всему сечению канала и постоянно сопровождалось сейсмическими явлениями, а также эксплозиями различной силы и характера. По-видимому, внутрикратерная экструзия купола Нового достигла критических размеров, и рост ее начал компенсироваться извержениями типа Мерапи.

В проявлении наиболее активных стадий извержений появилась некоторая закономерность. Обычно извержения происходили весной, реже — летом и осенью. В эти периоды, наряду с выдавливанием жестких блоков купола, в наиболее подробленных участках вершины отмечались взрывы с выбросом газов и обломочного материала. Эруптивные столбы, иногда тучи, поднимались на высоту от 0,8 до 5—8 км. Пепел и вулканический песок выпадали на площади от 100 до 2500 км^2 . Мощность прослоев пепла достигала 0,1 см. Более крупные обломки, в виде раскаленных каменных лавин и пирокластических потоков скатывались вниз по склонам, постепенно наращивая обломочный чехол купола, а за его пределами

образуя покровы пирокластического материала различной мощности. Такого типа извержения проявились наиболее ярко в апреле 1960 г., марте 1961 г., мае 1962 г., июне 1963 г., июле—сентябре 1964 г., марте 1965 г. Обычно они предварялись и сопровождалась землетрясениями и вулканическим дрожанием, а начинались мощными выбросами пепла, затем сменялись фазой пирокластических потоков и заканчивались ослабевающим скатыванием и раскаленных, и холодных каменных лавин.

Переход в спокойное состояние купола наблюдался в течение 1—2 месяцев, иногда больше. С окончанием извержения постепенно ослабевала и фумарольная деятельность, иногда до полного исчезновения выхода газов. С 1961 г. после каждого извержения стали отмечаться значительные изменения в строении купола. Центральная его часть часто разбивалась на несколько жестких блоков со следами вертикальных и горизонтальных подвижек. На вершине иногда можно было видеть 2—3 лавовые короны с характерными трещинами остывания. В наиболее подробленных участках купола отмечались эксплозивные кратеры и эруптивные рвы различной протяженности. В 1965 г., наряду с жесткими блоками и эксплозивным материалом, на поверхности купола стала появляться менее вязкая пластичная лава андезитов. Этот момент можно считать началом второго цикла в формировании экструзии купола Нового.

Второй цикл в формировании экструзии купола Нового наблюдался с 1965 по 1975 г.

Первые порции пластичной лавы андезитов были выжаты в мартовское извержение 1965 г. Они составляли небольшой объем и были представлены дайкообразными телами, небольшими куполами и лавовыми потоками. Выжимание пластичной лавы происходило через зоны дробления, ограничивающие жесткие блоки, или радиальные разломы, хорошо развитые в теле купола.

В 1966 г. пластичная лава андезитов в виде монолитного блока Чинь-Чинь стала выдавливаться в северо-западной части вершины на месте эксплозивного кратера. В начале года площадь основания блока достигла $0,08 \text{ км}^2$, высота — 75 м. К августу этого же года она заняла почти всю западную и северо-западную части вершины, приобрела форму пологого купола с основанием $0,1 \text{ км}^2$ и высотой — 60 м. По юго-восточным и северо-восточным границам купола стали закладываться зоны растяжения с проседанием отдельных участков вершины до 30—50 м.

В 1967—1968 гг. экструзия Наутилус захватила всю северную, затем центральную части вершины купола Нового, приобрела форму эллипса, вытянутого в широтном направлении. Основание его в 1967 г. достигало $0,2 \text{ км}^2$, высота 120 м, в 1968 г. $0,4 \text{ км}^2$ и 150 м соответственно. В результате внедрения значительной порции лавы произошло довольно сильное дробление и раздвигание купола. По нарушениям субширотного, субмеридионального и северо-восточного простирания купол Новый преобразовался в 3 крупных блока: северный, вновь выжимающийся, Наутилус; восточный, юго-восточный — оставшаяся часть жестких блоков, выжатых в 1965 г. и раньше; западный, юго-западный, который вовлекался в активное проседание. Сюда же был полностью захвачен и блок Чинь-Чинь. К августу 1968 г. амплитуда проседания блока достигла 70—120 м. В

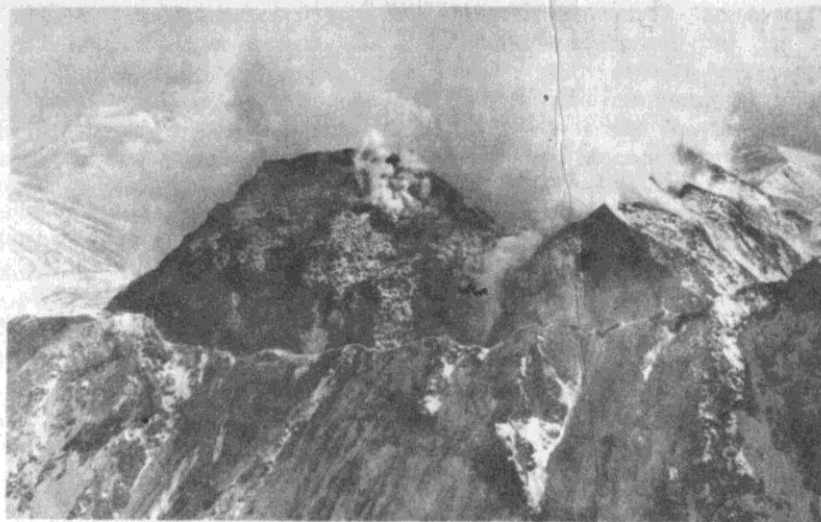


Рис. 9. Вулкано-тектонические нарушения, пересекающие тело купола Нового при внедрении пластичной лавы андезитов

а — начало формирования экструзии Наутилус. Июль 1967 г. На переднем плане хорошо виден характер дробления купола Нового; б — конец формирования экструзии Наутилус. Октябрь 1968 г. В плане хорошо виден характер нарушений, разделяющих тело купола Нового на отдельные блоки

октябре этого же года проседание стало перемещаться в центральную часть вершины. Поверхность восточного, юго-восточного блока подверглась дроблению. В то же время грабенообразные нарушения, отмечавшиеся на склонах, почти полностью исчезли. Все это указывало на активное проявление вулкано-тектонических процессов при формировании внутрикратерной экструзии (рис. 9, а, б).

Внедрение экструзии пластичных лав постоянно сопровождалось землетрясениями и непрерывным вулканическим дрожанием. В 1969 г. активность их значительно увеличилась, причем вулканическое дрожание приобрело спазматический характер. В это же время произошло перемещение центра экструзии в юго-восточную часть купола "Нового", и вновь начали выжиматься жесткие блоки андезитов, сопровождаясь эксплозиями различной силы и характера. Наиболее активное эксплозивно-экструзивное извержение с выбросом пепла и образованием пирокластических потоков наблюдалось в сентябре—октябре 1969 г. В этот период было выжато около $0,1 \text{ км}^3$ жестких блоков андезита и выброшено $0,02 \text{ км}^3$ обломочного материала. С 1970 по 1975 г. извержение Безымянного продолжалось. Экструзия жестких блоков захватила почти всю юго-восточную и восточную части вершины, высота которой увеличилась больше чем на 300 м. Рост купола происходил спокойно и постоянно, сопровождался скатыванием по юго-восточным склонам раскаленных каменных лавин и пирокластических потоков. В результате в этом секторе увеличилась площадь и мощность агломератовой мантии.

Таким образом, почти 20-летний период деятельности вулкана Безымянного характеризовался неравномерным во времени и различным по характеру уровнем активности; экструзивно-эксплозивная деятельность первого десятилетия сменилась спокойным выдавливанием новой порции менее вязкой лавы, которое, в свою очередь, в 1969 г. перешло в выжимание жестких экструзивных блоков, а судя по аэровизуальным наблюдениям, с 1976 г. вновь появилась пластичная лава. Кроме того, в формировании внутрикратерной экструзии вулкана Безымянного в этот период можно отметить следующие основные особенности (таблица).

В первые десять лет, наряду с существованием отдельных наиболее активных центров, происходило неравномерное выжимание жестких блоков, захватывающих все тело купола "Нового". К 1965 г. последний, по видимому, достиг "предельных" размеров ($0,51 \text{ км}^3$), и извержение обрело локальный характер. Начиная с 1966 г. в изверженном материале появились пластичные лавы андезитов, которые стали выдавливаться по ослабленным зонам и разломам уже в жестком теле экструзии. Локальное выжимание пластичных лав, наблюдавшееся до 1968 г., постоянно сопровождалось раздвиганием основного тела купола и наращиванием его агломератовой мантии. По сравнению с 1965 г. диаметр его основания увеличился на 100 м, вершины — на 150 м, высота — на 100 м, объем — на $0,23 \text{ км}^3$.

С 1969 по 1975 г., несмотря на смену характера извержения, локальность поступления материала сохранилась, только центры его сосредоточились в основном в восточной и юго-восточной частях купола. Сложное формирование внутрикратерной экструзии вулкана Безымянного от-

Годы изверже- ний	Диаметр основа- ния купо- ла (усред.) в км	Диаметр верши- ны купо- ла в км	Высота купола в км (усред.)	Объем купола и его прирост в год, км ³	Объем пепла и облом. м-ла в км ³	Объем извер- женного материа- ла, км ³	Масса выжа- тых по- род купо- ла в 10 ⁷ тонн	Масса всего извер- женного материа- ла, 10 ⁷ тонн	Тепло, 10 ³ ккал	Тепло- вая энергия, 10 ²⁴ эрг	Коли- чест- во зем- летря- сений	Энергия земле- трясений, 10 ¹⁵ эрг.	Время вулка- ничес- кого дрожа- ния в час	Энергия вулкани- ческого дрожа- ния, 10 ¹⁵ эрг	Сейсм. энер- гии, 10 ¹⁵ эрг
1956	0,65	0,23	0,32	0,06	—	0,06	13,2	13,2	3,4	1,2	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
1957	0,75	0,35	0,35	$\frac{0,11^*}{0,05}$	—	0,11	24,2	24,2	6,3	2,1	"	"	"	"	"
1958	0,85	0,37	0,40	$\frac{0,15}{0,04}$	0,002	0,152	33,0	33,4	8,7	2,9	"	"	"	"	"
1959	0,88	0,40	0,45	$\frac{0,18}{0,03}$	0,002	0,184	39,6	40,0	10,4	3,5	"	"	"	"	"
1960	0,90	0,60	0,47	$\frac{0,26}{0,08}$	0,002	0,226	57,2	58,4	15,2	5,1	"	"	"	"	"
1961	0,90	0,60	0,48	$\frac{0,27}{0,01}$	0,02	0,296	59,4	64,2	16,7	5,6	"	"	"	"	"
1963	1,10	0,60	0,49	$\frac{0,35}{0,08}$	0,005	0,381	77,0	82,7	21,5	7,3	"	"	"	"	"
1965	1,30	0,65	0,53	$\frac{0,51}{0,16}$	0,03	0,571	112,2	123,3	32,1	10,9	111	4,3	103,5	18,3	22,6
1966	1,33	0,67	0,56	$\frac{0,56}{0,05}$	—	0,621	123,0	134,1	34,9	118	34	0,54	47,5	1,0	1,54
1967	1,35	0,70	0,60	$\frac{0,64}{0,08}$	—	0,701	140,8	151,9	39,5	13,4	134	13,8	252	1,2	15,0
1968	1,40	0,75	0,63	$\frac{0,74}{0,10}$	—	0,801	162,8	173,9	45,2	15,3	162	18,1	1074	13,8	31,9
1969	1,43	0,80	0,65	$\frac{0,80}{0,06}$	0,02	0,881	176,0	190,7	49,6	168	298	9248,6	3158	105,2	9353
1970	1,45	0,82	0,68	$\frac{0,87}{0,07}$	0,005	0,956	191,0	206,6	53,7	18,2	222	52,4	43,6	3,5	55,9
1973	1,45	0,82	0,80	$\frac{1,02}{0,15}$	0,01	1,116	224,4	240,0	62,4	21,1					

* В числителе общий объем купола Нового, в знаменателе — прирост экструзии за год.

Прочерк — пирокластический материал отсутствует; н.д. — нет данных.

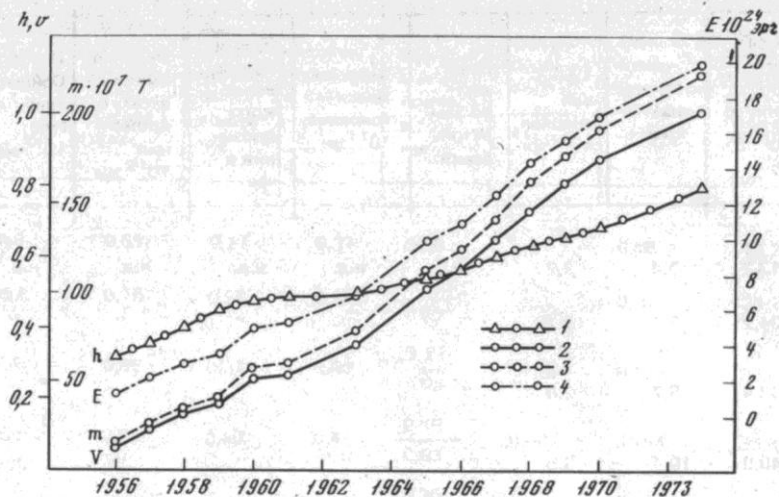


Рис. 10. График роста высоты (h), объема (V), массы (m) и энергии (E) при формировании экструзии купола Нового во времени

ражено на схемах ее строения и разрезах (см. рис. 3,6,8). Объем купола Нового, его высота, масса изверженного материала, тепловая энергия и их годовой прирост до 1973 г. показаны в таблице и на рис. 10. Анализ материала, приведенного на графике, показывает, что несмотря на кажущийся неравномерный рост экструзии, увеличение ее объема и высоты происходило постепенно. К 1973 году эти величины достигли соответственно $1,0 \text{ км}^3$ и 800 м . Средний годовой прирост изверженного материала составлял $0,07 \text{ км}^3$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богоявленская Г.Е., Дубик Ю.М., Кирсанов И.Т.* Кристаллизация андезитов в верхних частях вулканического канала. — В кн.: Вулканизм и глубины Земли. М.: Наука, 1971, 161—162.
2. *Борисова В.Н., Борисов О.Г.* Наблюдения в кратере вулкана Безымянного летом 1960 г. — Бюлл. вулканолог. ст., 1962, № 32, с. 14—19.
3. *Борисов О.Г., Борисова В.Н.* Экструзии и связанные с ними газогидротермальные процессы. Новосибирск: Наука, 1974, с. 3—200.
4. *Горшков Г.С.* Извержение сопки Безымянной. — Бюлл. вулканолог. ст., 1957, № 26, с. 19—72.
5. *Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е.* Сопка Безымянная в 1956—58 гг. — Бюлл. вулканолог. ст., 1961, № 31, с. 17—22.
6. *Горшков Г.С.* О связи вулканических и сейсмических явлений при извержении в Безымянного (1955—56 гг.). — Бюлл. вулканолог. ст., 1961, № 31, с. 32—37.
7. *Горшков Г.С.* К вопросу о классификации некоторых типов взрывных извержений. — В кн.: Вопросы вулканизма. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 31—38.
8. *Горшков Г.С.* Направленные вулканические взрывы. — Геология и геофизика, 1963, № 12.
9. *Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е.* Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения. М.: Наука, 1965, с. 3—170.
10. *Горшков Г.С., Дубик Ю.М.* Направленный взрыв на вулкане Шивелуч. — В кн.: Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969, с. 3—37.
11. *Дубик Ю.М., Меняйлов И.А.* Новый этап эруптивной деятельности вулкана Безымянного. — В кн.: Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969, с. 38—70.
12. *Дубик Ю.М., Вольнец О.Н.* Влияние характера эруптивного процесса на кристаллизацию плагиоклаза. — Бюлл. вулканолог. ст., 1972, № 48.
13. *Кирсанов И.Т., Студеникин Б.Ф., Рожков А.М., Чирков А.М., Кирсанова Т.П., Марков И.А.* Новый этап извержения вулкана Безымянного. — Бюлл. вулканолог. ст., 1971, № 47, с. 8—14.
14. *Кирсанов И.Т., Студеникин Б.Ф.* Динамика экструзивного извержения вулкана Безымянного в 1965—68 гг. — Бюлл. вулканолог. ст., 1971, № 47, с. 15—22.
15. *Мархинин Е.К., Башарина Л.А., Борисов О.Г., Борисова В.Н., Пугач В.Б., Тиммербаева К.М., Токарев П.И.* Изучение состояния вулканов Ключевской группы и в. Шивелуч в 1958—59 гг. — Бюлл. вулканолог. ст., 1961, № 31, с. 3—16.
16. *Мархинин Е.К., Токарев П.И., Пугач В.Б., Дубик Ю.М.* Извержение в Безымянного весной 1961 г. — Бюлл. вулканолог. ст., 1963, № 34.
17. *Пийп Б.И., Мархинин Е.К.* Гигантское извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 года. — Бюлл. вулканолог. ст., 1965, № 39.
18. *Токарев П.И., Борисова В.Н.* Извержение в Безымянного в апреле 1960 г. — Бюлл. вулканолог. ст., 1961, № 31, с. 23—27.
19. *Токарев П.И.* Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М.: Наука, 1966.
20. *Токарев П.И.* Вулканические землетрясения и прогноз извержений. — В кн.: Современный вулканизм, т. 1, М.: Наука, 1966, с. 46—48.